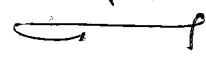


YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Prof. M. Emin
YURCI



Prof. Dr. Müzeyyen
MARŞOĞLU



HADDELENMİŞ ALÜMİNYUM-BAKIR
ALAŞIMLARININ MEKANİK ve KOROZYON
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

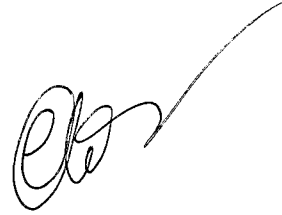
79249

Makine Mühendisi Hakan AKAR

F.B.E. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ayşegül AKDOĞAN



Doç. Dr. Ayşegül AKDOĞAN

İSTANBUL, 1998

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	i
KISALTMA LİSTESİ.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	5
2.1 Arı Alüminyumun Eldesi.....	6
2.2 Alüminyumun Özellikleri.....	7
2.2.1 Fiziksel özellikler.....	7
2.2.2 Kimyasal özellikler.....	11
2.3 Alüminyum Alaşımları.....	13
2.3.1 Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.....	14
2.3.1.1 Döküm alaşımları.....	14
2.3.1.1.1 Isıl işlem uygulanamayan döküm alaşımları.....	15
2.3.1.1.2 Isıl işlem uygulanabilen döküm alaşımları.....	15
2.3.1.1.3 Alüminyum - Silisyum (Al - Si) alaşımları.....	16
2.3.1.1.4 Alüminyum - Magnezyum (Al - Mg) alaşımları.....	17
2.3.1.1.5 Alüminyum - Çinko (Al - Zn) alaşımları.....	17
2.3.1.2 Hadde alaşımları.....	18
2.3.1.2.1 Isıl işlem uygulanamayan hadde alaşımları.....	18
2.3.1.2.2 Isıl işlem uygulanabilen hadde alaşımları.....	18
2.3.1.2.3 Alüminyum - Magnezyum (Al - Mg) alaşımları.....	19
2.3.1.2.4 Alüminyum - Magnezyum - Silisyum alaşımları.....	19
2.3.1.2.5 Alüminyum- Çinko - Magnezyum alaşımları.....	20
2.3.1.2.6 Alüminyum - Manganez alaşımları.....	20
2.4 Alüminyum - Bakır (Al - Cu) alaşımları.....	21
2.4.1 Alüminyum - Bakır alaşımlarının akıcılığı.....	24
2.4.2 Katılaşma aralığı.....	26
2.4.3 Alüminyum - Bakır esaslı döküm alaşımları.....	26
2.4.3.1 Amerikan alaşımı.....	26
2.4.3.2 % 10 - % 13 oranında bakır içeren alaşımlar (piston alaşımları).....	26
2.4.3.3 “Y” alaşımı.....	29
2.4.3.4 RR (Rolls - Royce) alaşımları.....	31
2.4.3.5 Alman alaşımları.....	32
2.5 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri.....	33
2.5.1 Alüminyuma uygulanan ısıl işlemler.....	33
2.5.1.1 Yeniden kristalleşme (rekristalizasyon) tavlama.....	33
2.5.1.2 Çözme tavlama.....	34
2.5.1.3 Sıcak şekillendirme için tavlama.....	34
2.5.2 Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıl işlemler.....	35
2.5.2.1 Homojenizasyon.....	35

2.5.2.2	Tavlama.....	35
2.5.2.3	Gerilim giderme.....	35
2.5.2.4	Çözündürme ısıt işlemleri.....	36
2.5.2.5	Su verme işlemleri.....	37
2.5.2.6	Çökelme sertleşmesi.....	38
2.5.3	Alüminyum - Bakır alaşımlarında çökelme sertleşmesi (yaşlandırma).....	42
2.5.3.1	İkili alaşımların çökelme sertleşmesi.....	42
2.5.3.2	Aşırı doymuş katı çözeltinin yaşlanmasından dolayı oluşan çözülme ürünleri...	44
2.5.3.3	Al - % 4 Cu alaşımının çökelme sertleşmesi.....	46
2.5.3.4	Al - % 4 Cu alaşımının yaşlandırılması esnasında oluşan yapıların şekilleri.....	47
2.5.3.4.1	GP 1 bölgeleri.....	47
2.5.3.4.2	GP 2 bölgeleri (θ'' fazı).....	48
2.5.3.4.3	θ' fazı.....	48
2.5.3.4.4	θ fazı.....	49
2.5.3.4.5	Yapıların korelasyonu ve Al - % 4 Cu alaşımının sertliği.....	50
2.6	Alaşımların Elementlerinin Alüminyum Alaşımlarının Özelliklerine Etkisi.....	51
2.6.1	Bakır.....	51
2.6.2	Silisyum.....	51
2.6.3	Magnezyum.....	52
2.6.4	Manganez.....	52
2.6.5	Çinko.....	53
2.6.6	Titanyum.....	53
2.6.7	Demir.....	54
2.6.8	Nikel.....	54
2.6.9	Kalay.....	54
2.6.10	Kurşun.....	55
2.6.11	Krom.....	55
2.6.12	Bor.....	55
2.6.13	Berilyum.....	56
2.7	Alüminyum Alaşımlarının Standartlarda Gösterilmesi.....	56
2.7.1	Alüminyum Birliğinin sınıflandırması ve standartlarda gösterimi.....	56
2.7.2	ALCOA standardı.....	60
2.7.3	ASTM standardı.....	60
2.7.4	Reynolds standardı.....	61
2.7.5	Fransız standardı.....	61
3.	KOROZYON.....	64
3.1	Korozyon Mekanizmaları.....	64
3.1.1	Elektrokimyasal korozyon.....	65
3.1.2	Kimyasal korozyon.....	66
3.2	Korozyona Etki Eden Faktörler.....	68
3.2.1	Malzemeye bağlı özellikler.....	68
3.2.1.1	Redoks tepkime potansiyelinin kullanımı.....	68
3.2.1.2	Metalurjik faktörler.....	69
3.2.2	Çevresel faktörler.....	70
3.2.2.1	Doğanın kimyası.....	70

3.2.2.2	Çalışma şartları	71
3.3	Korozyon Türleri	72
3.3.1	Üniform korozyon	72
3.3.2	Çukurcuk korozyonu	73
3.3.3	Aralık korozyonu	74
3.3.4	Galvanik korozyon	75
3.3.5	Gerilmeli korozyon çatlaması	77
3.3.6	Tane sınırları korozyonu	78
3.3.7	Seçici korozyon	79
3.3.8	Erozyonlu korozyon	80
3.3.8.1	Sıvı çarpması aşındırması erozyonu	80
3.3.8.2	Sıvı erozyonu	81
3.3.8.3	Lekelenme erozyonu	82
3.3.8.4	Çukurlaşma erozyonu	83
3.3.8.5	Yenilme ile aşınma korozyonu	84
3.4	Korozyona Karşı Alınacak Önlemler	85
3.4.1	Tasarım	86
3.4.2	Uygun malzeme seçimi	92
3.4.2.1	Kaplamalar	92
3.4.2.2	Malzemeye uygulanan işlemler	93
3.4.3	Ortam şartlarının kontrolü	94
3.5	Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Korozyonu	94
3.5.1	Alüminyumun korozyonu	96
3.5.2	Alüminyum alaşımlarının korozyonu	99
3.5.3	Alüminyum - Bakır (Al - Cu) alaşımlarının korozyonu	100
3.5.4	Alüminyum alaşımlarının korozyondan korunması	102
3.5.4.1	Doğal alüminyum oksit tabakası	102
3.5.4.2	Kalın oksit tabakaları	105
3.5.4.2.1	Kimyasal reaksiyonla oksit tabakasının kalınlaştırılması	105
3.5.4.2.2	Anodik oksidasyonla yapay oksit tabakası uygulaması, elokslama	106
3.5.4.3	Renkli anodik kaplamalar	107
3.5.4.3.1	Sülfürik asit eloksalı	107
3.5.4.3.2	Özel elektrolit eloksalı	108
3.5.4.4	İnorganik koruyucu tabakalar	109
3.5.4.5	Organik koruyucu tabakalar	110
3.5.4.6	Metalik koruyucu tabakalar	110
3.6	Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Korozyon Deneyleri	111
3.6.1	Tuz sprey deneyi	112
3.6.2	Alternatif daldırma deneyi	112
3.6.3	Ferrik klorik deneyi	112
3.6.4	ASS deneyi	112
3.6.5	EXCO deneyi	113
4.	DENEYSEL ÇALIŞMA	114
4.1	Alüminyum - Bakır Alaşımlarının Hazırlanması	114
4.1.1	Alüminyum - Bakır alaşımlarının dökümü	114

4.2	Haddeleme İşleminin Uygulanması.....	121
4.3	Çökelme Sertleşmesi İşleminin Uygulanması.....	123
4.4	Korozyon Deneyleri.....	124
4.4.1	Korozyon numunelerinin hazırlanması.....	124
4.4.1.1	Döküm, çökelme sertleşmesi işlemi ve haddeleme işlemi uygulanmış numunelerin yüzeylerinin hazırlanması.....	137
4.4.2	Korozyon ortamlarının ve şartların belirlenmesi.....	137
4.5	Deneyin Yapılışı.....	139
4.6	Metalografik Muayene.....	198
4.7	Mekanik Deneyler.....	205
4.7.1	Brinell Sertlik Deneyi.....	205
4.7.1.1	Brinell sertlik deneyinin yapılışı.....	205
4.7.2	Çekme deneyi.....	213
4.7.2.1	Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması.....	213
4.8	Deney Sonuçlarının İrdelenmesi.....	220
4.8.1	Korozyon deneyi sonuçları.....	220
4.8.1.1	Döküm alaşım numuneleri.....	220
4.8.1.1.1	NaCl çözeltileri.....	220
4.8.1.1.2	Sülfürik asit çözeltileri.....	221
4.8.1.2	Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış deney numuneleri.....	222
4.8.1.2.1	NaCl çözeltileri.....	222
4.8.1.2.2	Sülfürik asit çözeltileri.....	223
4.8.1.3	Haddeleme işlemi uygulanmış numuneler.....	224
4.8.1.3.1	NaCl çözeltileri.....	224
4.8.1.3.2	Sülfürik asit çözeltileri.....	224
4.8.2	Brinell sertlik deneyi sonuçları.....	225
4.8.3	Çekme deneyi sonuçları.....	226
5.	SONUÇLAR.....	227
	KAYNAKLAR.....	229
	EKLER.....	232
Ek 1	Test Sertifikası, Fiziksel Test Sonuçları, Kimyasal Kompozisyon.....	232
Ek 2	Test Sertifikası, Fiziksel Test Sonuçları, Kimyasal Kompozisyon.....	233
Ek 3	Kimyasal Kompozisyon.....	234
	ÖZGEÇMİŞ.....	237

SİMGE LİSTESİ

α	İkili alaşımların faz diyagramında A metaline ait katı ergiyik metal alanı
β	İkili alaşımların faz diyagramında B metaline ait katı ergiyik metal alanı
L	İkili alaşımların faz diyagramında sıvı metal alanı
θ	Çökelme sertleşmesi işleminde dengelenmiş olan faz
θ'	Çökelme sertleşmesi işleminde dislokasyonlar üzerinde oluşan heterojen çekirdeklenme
θ''	Çökelme sertleşmesi işleminde hem tetragonal hem de ana yapı içindeki koharent yapıya sahip olan bölgeler
HV	Vickers Sertlik değeri
BSD	Brinell sertlik değeri
e-	Elektron
ΔG	Redoksta serbest enerji
n	Reaksiyon içinde karışmış olan iyonların sayısı
F	Faraday sabiti
E	Pil veya redoks potansiyeli
AU	Alaşımların alt ucu
ÜU	Alaşımların üst ucu
D	Korozyon numunesinin çapı
d	Korozyon numunesinin üzerindeki delik çapı
r	yarıçap
t	Korozyon numunesinin kalınlığı
a	Korozyon numunesinin genişliği
b	Korozyon numunesinin boyu
S	Korozyon numunesinin yüzey kesit alanı
KH	Korozyon hızı
ΔW	Ağırlık kaybı
T	Zaman
K	Korozyon deneyinde alaşıma bağlı sabit değer
	Yoğunluk
W_0	İlk ağırlık değeri
W_1	İlk temizleme işleminden sonraki ağırlık
W_2	Son tartım değeri
P	Brinell sertlik deneyinde yük değeri
D	Brinell sertlik deneyinde bilya çapı
d	Ölçülen iz çapı
d_1	Ölçülen ilk iz çapı
d_2	Ölçülen ikinci iz çapı
d_{ort}	Ortalama iz çapı
a	Çekme deneyinde numune kalınlığı
b	Çekme deneyinde numune genişliği
B	Numune baş kısmının genişliği
h	Numune baş kısmının uzunluğu
A_0	Numune kesit alanı
L_0	İlk numune uzunluğu
L_v	Daraltılmış kısmın uzunluğu
L_t	Toplam uzunluk

$F_{\max}$	Kopma kuvveti
R_m	Kopma mukavemeti
δ	Yüzde uzama



KISALTIMA LİSTESİ

ASM	American Society of Materials
ASTM	American Society for Testing Materials
RR	Rolls Royce



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tez çalışmamı yönlendiren, ilgi, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Ayşegül AKDOĞAN' a sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

Ayrıca tez çalışmamda her türlü ilgi ve desteğini gördüğüm Metalurji Mühendisliği Bölümü Başkanı sayın hocam Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU'na ve Metalurji Bölümü uzman ve teknisyenlerine teşekkürü bir borç biliyorum.

Her zaman yanımda olan, aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.



ÖZET

Alaşımlama, malzemenin mekanik özelliklerinde iyileştirme sağlarken, olumsuz yönde getirdiği özelliklerle de, üzerinde düşünülmesi ve araştırma yapılması gereken problemler oluşturur. Alüminyum alaşımlarında, bakır ile alaşımlama yapıldığında; bakır ilavesi ile kopma mukavemeti ve sertlik gibi mekanik özelliklerin artmasına karşın, korozyon dayanımında azalma görülmektedir.

% 99,825 saflık derecesine sahip alüminyuma % 99,9999 saflıktaki bakır, sırasıyla; ağırlıkça % 2, % 4, % 6 ve % 8 oranlarında ilave edilerek alaşımlama işlemi yapılmıştır. Alaşımlama işlemi, atmosfere açık ortamda, indüksiyon ocağı içinde, grafit potada ergitilen alüminyumun içine bakır ilavesi ile yapılmış ve alaşımlar, çelikten yapılmış metale kalıplar içine dökülerek elde edilmiştir. Alaşımlara ait kimyasal kompozisyon değerleri optik emisyon spektrometresi ile belirlenmiştir.

Döküm halindeki alaşım çubuklarından bir kısmına, çökelme sertleşmesi işlemi, bir kısmına da % 60 oranında haddeme işlemi uygulanmıştır. Korozyon deneyine tabi tutmak için, döküm halindeki ve çökelme sertleşmesi uygulanmış olan alaşım çubuklarından ortalama kalınlığı 3mm olan silindirik diskler kesilerek numuneler hazırlanmıştır. Haddeme işlemi uygulanmış olan alaşım çubuklarından ise; fiziksel durumlarından dolayı, ortalama kalınlığı 5 mm olan dikdörtgen şeklinde numuneler hazırlanmıştır.

Korozif ortam olarak; %2, % 3,5 ve % 5 lik konsantrasyonlara sahip NaCl çözeltileri, % 2 ve % 3,5 lik konsantrasyonlara sahip H₂SO₄ çözeltileri ve ASTM G 34'e uygun olarak hazırlanmış EXCO çözeltisi kullanılmıştır. Kullanılan deney yöntemi olarak, alternatif daldırma deneyleri ve ağırlık kaybı yöntemi seçilmiş, deney öncesi ve sonrasında tartılan numunelerin ağırlık kayıplarının hesaplanması ile numunelerin korozyon ortamdaki korozyon hızları hesaplanarak, korozyon davranışları incelenmiştir. Elde edilen deney sonuçları grafikler halinde verilmiştir.

Alaşıma ilave edilen bakırın mekanik özelliklere olan etkisini araştırmak amacıyla, standartlara uygun numuneler hazırlanarak Brinell Sertlik Deneyi ve Çekme Deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları grafikler halinde verilmiştir.

Döküm halindeki, çökelme sertleşmesi ve haddeme işlemi uygulanmış alaşımlara ait çubuklardan metalografik inceleme yapmak amacıyla numuneler çıkarılmış ve mikro yapı fotoğrafları ışık mikroskobu ile çekilmiştir. Ayrıca, çözeltilerden çıkarılmış numunelerin yüzey durumlarını gösteren makro fotoğraflar da çekilmiştir.

Deneylerin genel sonucu olarak; alüminyum içine bakır ilavesi mekanik özellikleri arttırmasına karşın korozyon dayanımını düşürdüğü belirlenmiştir. Bu sonuçlar, daha önce yapılmış olan deneylerle benzerlikler göstermektedir. Çalışma, sonuçların ve bulguların değerlendirilmesi ile sonuçlandırılmıştır.

ABSTRACT

Alloying, while improving material's mechanical properties, causes problem on which investigations must be performed because, it introduces negative affects. When aluminum is alloyed with copper, mechanical properties such as; tensile strength and hardness are improved but corrosion resistance is become worsened.

By adding % 99,9999 pure copper into % 99,825 pure aluminum with % 2, % 4, % 6 and % 8 copper weight ratio, respectively alloying process has been achieved. Alloying process has been performed by adding copper into aluminum which is molten in graphite pot in an induction furnace under atmospheric conditions. Alloys were obtained by pouring into steel moulds. Chemical composition analysed with optical emission spectrometer.

For some as - cast alloys rods, precipitation hardening process and for the rest rolling with % 60 reducing ratio were carried out. Samples were prepared by cutting as-cast and precipitated alloy rods for corrosion test. Thus 3 mm thickness cylindrical forms were obtained. In the same way, rolled alloys were cut 5 mm thickness rectangular forms.

% 2, % 3,5 and % 5 concentrated NaCl (Natrium Chloride) solutions, % 2 and % 3,5 concentrated H₂SO₄ (Sulfuric Acid) solutions and according to ASTM G 34 EXCO (Exfoliation Corrosion) solution were used as corrosive media. Alternate immersion tests and weight loss methods were chosen as test procedure. Weight losses were calculated by weighing samples before and after the tests. Thus, corrosion rates of samples were investigated and test results were plotted graphically.

For investigating the affect of added copper on mechanical properties samples were prepared according to standards for Brinell Hardness Test and tensile strength test according to TS 138 EN 10002 - 1 were achieved. Test results were shown on graphics.

Samples were obtained from as-cast, precipitated and rolled alloys for metallographics investigations and micro structure photographs were taken by microscope. Besides, macro photographs were taken from sample surfaces that taken off solutions.

General Conclusion of the tests showed that adding copper into aluminum has become worsened the corrosion resistance, eventhough; it has improved the mechanical properties. These results showed good agreement with previously performed experiments. The study has been completed by evaluation of the results.

1. GİRİŞ

Havacılık, uzay ve otomotiv endüstrisindeki gelişmeler hafif ancak, dayanımlı aynı zamanda korozyon dayanımı yüksek malzemelerin kullanımını gerektirmektedir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kullanılması hafiflik ve özellikle de birim güç başına düşen ağırlık oranınca çok aşağı seviyelerde olması sebebiyle kaçınılmaz bir sonudur. Bu yüzden endüstride kullanımı çok olmaktadır. Alüminyumun standart potansiyel geriliminin hidrojene göre - 1.07 volt olması onun aktif, yani soy metal olmadığını kanıtı olduğu için elektron akışının bulunduğu sıvı ortamlarda anot olarak davranmaktadır. Yüzeyde oluşan 0,7 µm kalınlığındaki Alüminyum Oksit (Al_2O_3) film tabakası genelde alüminyumun depolanması sürecinde oluşmaktadır. Mevcut koşullara bağlı olarak şekilsizdir ve kristal yapıya sahiptir. Alüminyum Oksidin tabaka kalınlığı metalin homojenliğine bağlıdır. Yapı içindeki arıtılamayan metallerin varlığı pasif olan Alüminyum Oksit tabakasının sürekliliğini bozmaktadır.

% 5 Cu (bakır) ilavesi yapılarak oluşturulan Al - %2 Cu alaşımında, yaşlanma sonucunda tane sınırlarına çöken Al_2Cu parçacıkları ve bu parçacıklar etrafında da bakırca fakir bölgeler oluşur. Oyuklanma korozyonu bu kısımlarda kolaylıkla oluşacağından alaşımın ana yapı malzemesi içinde çözünen bakır miktarı ile artmış olan oyuklanma potansiyelinde de düşme görülür. Taneler arası korozyona duyarlılık artar.

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, özellikle alkalilere karşı duyarlılık göstermektedir. Korozyon hızı, baz konsantrasyonu arttıkça değişim göstermektedir. Oksijen, amonyak, NaOH, $Ca(OH)_2$ ve bunun gibi bazlara karşı dayanıksızdırlar (Akdoğan, 1997).

Alüminyum ve alaşımları endüstride en çok kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Pek çok sahada çeliğin yerini almıştır. Değişik kullanma alanlarının mevcudiyeti, korozyon probleminin incelenmesini gerektirmiştir. Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının genel yapı, havacılık ve uzay sektöründe çokça kullanılması nedeniyle özel bir önemi vardır. Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının korozyonu üzerindeki çalışmalar uzun yıllardan beri süregelmektedir. Ancak çok çeşitli korozyon oluşum sebepleri tam olarak

belirlenememiş ve kesin olarak ortaya konulamamıştır. Çünkü alaşımın kompozisyonu, korozyon ortamı, yaşlandırma işlemi ve son işlem, yapı içindeki oluşumların varlığı, çökelmelerin dağılımı, elektrokimyasal kutuplaşma gibi olaylar ve işlemler korozyonun oluşmasına sebebiyet vermektedirler. Bu şartların tüm etkileri ile incelenmesi ve araştırılması sonucunda alüminyum ve alaşımlarının korozyon oluşumunu önleyici tedbirler alınabilmektedir. Böylece, korozyona karşı dayanımlı, alüminyum esaslı alaşım malzemeleri üretim yöntemleri geliştirilebilmektedir.

Alüminyumun tüm genel karakteristik özelliklerini iyileştirmek ve ıslah etmek, alüminyum gibi bir madenin, endüstrinin hemen her alanında daha verimli şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla içine diğer madenleri çeşitli yöntemlerle katarak alaşımla işlemi yapılmaktadır. Alüminyum esaslı alaşımlarda en önemli alaşım elementlerinden birisi ise, bakırdır. Bakır ilavesi ile akıcılık artar ve kendini çekme azalarak döküm işlemi kolaylaşır. Fakat, şunu da dikkatle belirtmek gerekir ki; bakır ihtiva eden alüminyum alaşımları, önemli katılaşma aralığından dolayı sıcakta kolaylıkla çatlayabilmektedir (Yinsel, Alanyalıoğlu ve Doruk, 1988).

Bakır; kopma mukavemeti, elastiklik sınırı ve özellikle sertlik gibi mekanik özellikleri önemli derecede arttırmaktadır. Buna oranla, deformasyon kabiliyeti ve süneklik değeri bakır yüzdesine göre azalma gösterir. Özellikle, iki bileşenli alaşımlar için etkisi fazladır. Ağırlık olarak % 12 ile %15 arasında bakır ihtiva eden alaşımlar son derece kırılgan olmaktadır. Bakır ilavesi ile alaşımların yoğunluğu ihmal edilmeyecek şekilde artar. Fakat Alüminyum - Bakır alaşımlarının en önemli sorunları, nemli yerlerde korozyona karşı olan dayanımlarının düşük olmasından dolayı mukavemetleri azalır.

Nötr çözeltiler ise alüminyuma çok az etki etmektedir. Ancak, çözelti disosiasyonla asidik veya bazik olursa metalik çözünme hızı artar. Bu grupta en kötü etkiyi klorürler yapar. Genelde atmosfere dayanıklı olan alüminyum endüstrideki kükürtdi oksit (SO_2), is ve toza dayanıklıdır. Eğer asit ve bazların etkisinde özel bir durum yok ise tahribat homojen olarak gerçekleşir. Bunun sonucunda oksit tabakasında hemen hemen eşit kalınlıkta azalma olur. İyodür (I^-) ve klorür (Cl^-) iyonu içeren asit çözeltilerinde çukurcuk korozyonu

oluşmaktadır. Bunun nedeni oksit tabakasının tam olarak oluşmaması veya yüzeyin düzgün olmaması, çukurcuklu olmasıdır. Eğer malzeme yeterli kalınlıkta ise oluşan çukurcuk etkili olamaz. Değerlendirme çukurcuk derinliklerinin ölçümü ve frekans dağılımı ile yapılmaktadır.

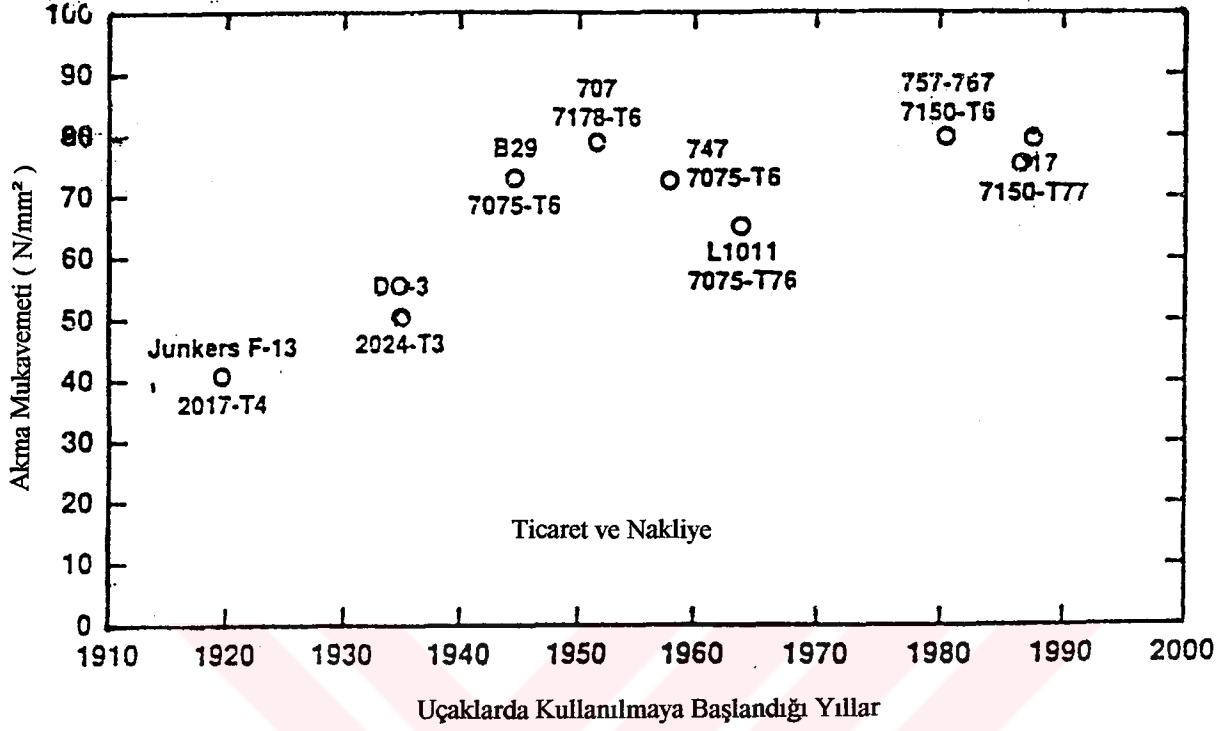
Tane sınırlarının potansiyeli düşük olduğundan seçici korozyon oluşmaktadır.

Çökelme sertleşmesi uygulanabilen Al - Zn - Mg , Al - Mg ve Al - Cu - Mn alaşımlarında gerilme korozyon çatlağı gözlenebilir. Korozyon çatlaması metalde kalıcı iç gerilmenin yönüne ve metal yüzeyine dik olarak yönelmiş olmasına ve tane sınırlarının elektrokimyasal korozyonuna bağlı olarak oluşur. Taneler arası korozyon yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarında görülmektedir. Ticari kalitede ve yüksek saflıktaki alüminyumlarda, % 3' ten daha az Mg içeren Al-Mg alaşımlarında, Al - Mg - Si, Al - Si ve Al - Mn alaşımlarında bu tip korozyon görülmez (Anık, 1960).

Uçak endüstrisindeki gelişmeler, hafif fakat mukavemetli malzemelere olan ihtiyacı da beraberinde getirmiştir. Alüminyum ve alüminyum esaslı alaşımlar, kendine özgü mukavemet değerlerinin ve korozyona karşı dayanımlarının oldukça iyi olması sebebiyle bu alanda oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır. Son zamanlarda, alüminyum alaşımlarının kaynak kabiliyetinin iyileştirilerek özelliklerinin geliştirilmesi ile özellikle uçak sanayisindeki kullanımı oldukça yaygınlaşmış ve artmıştır (Warren ve James, 1989). Uçak kanatlarının üst yapılarında kullanılmak üzere tasarlanmış olan alüminyum alaşımlarının uçaklardaki ilk kullanım yıllarına göre akma mukavemetlerinin değişimi Şekil 1.1'de verilmiştir

İlk olarak alüminyumun hava taşıtlarında kullanılmasında, 2XXX Serisi Al-Cu-Mg alaşımlarından faydalanılmıştır. Junkers F - 13 ve DC - 3 gibi hava taşıtlarında, 1920'li ve 1930'lu yıllarda sırasıyla; akma mukavemetleri 40 - 45 ksi aralığında olan 2017-T4 ve 2024-T3 gibi alaşımlar kullanılmıştır. 1940'lı yıllarda çinko ve magnezyum içeren alüminyum alaşımlarının keşfi ile 2XXX Serisi alaşımların yerine yüksek mukavemet özelliklerine sahip 7XXX Serisi alüminyum alaşımları kullanılmaya başlanmıştır. Bu alaşım serisinden 7075 - T6 alaşımı ilk olarak İkinci Dünya Savaşında B - 29 Bombardıman savaş uçaklarında

savaş uçaklarında kullanılmıştır. Savaş sonrası ticari taşımacılık amacıyla kullanılan hava taşıtlarının geliştirilmesi yüksek mukavemetli kanat alaşımlarını ön plana çıkarmıştır.



Şekil 1.1 Üst Kanat Yapılarında Alaşım / Temper Kronolojisi (Warren ve James, 1989).

Bu sıralarda Boeing 707 serisi uçaklarda, yüksek seviyelerde çinko, magnezyum ve bakır içeren 7178 - T6 alaşımı kullanılmıştır. Fakat yüksek mukavemetli bu alaşımların kırılma tokluğu sorunu ortaya çıkmıştır. Boeing 747 hava taşıtları geliştirildiğinde bu sorun dizayn ve malzeme mühendislerini daha düşük mukavemete sahip 7075-T6 alaşımlarını kullanmaya zorlamıştır. Diğer hava taşıtlarının dizayn mühendisleri 7075-T6 alaşımının sahip olduğu korozyon dayanımını yetersiz görüp, bu alaşımın mukavemetinin düşmesi pahasına korozyon dayanımını arttırmaya çalışmışlardır. Boeing firması, 757 ve 767 uçaklarının geliştirilmesi ile bu uçakların kanat yapılarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulana kadar bu alaşımlar üst kanat yapılarında kullanılmaya devam edilmiştir. Daha önceden birincil olarak kalın kesitli bölgelerde kullanılmak üzere geliştirilmiş olan 7050 alaşımına bileşim ve yaşlandırma uygulamalarının adapte edilmesi ile 7150-T6 ürünü geliştirilmiştir. Böylece, 7178-T6 alaşımına nazaran daha mukavemetli ve yeterli kırılma tokluğuna sahip korozyon dayanımı yüksek bir alaşım geliştirilmiştir.

2. ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum, ilk olarak, 1825 yılında, Alüminyum Klorit'in laboratuvar şartlarında indirgenmesi ile elde edilmiştir. Ancak bununla birlikte, alüminyumun birincil derecede mühendislik malzemesi olarak kullanılmasına II. Dünya Savaşı'na kadar rastlanılmamıştır.

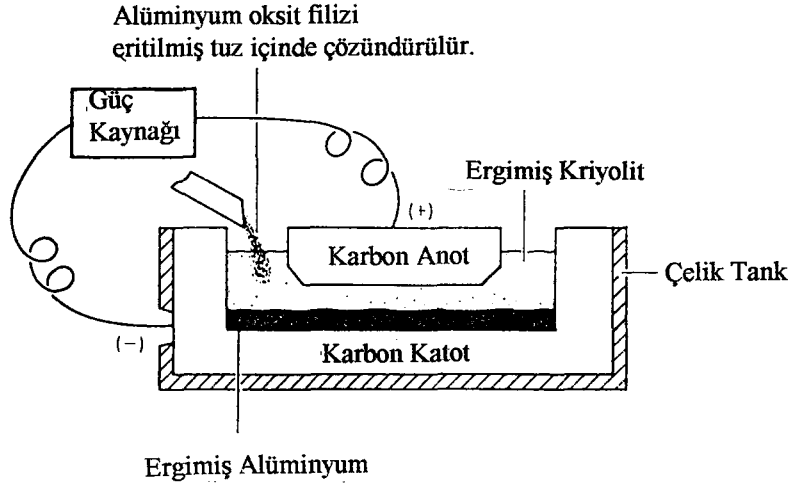
Doğada, çok fazla miktarda ve bileşikler halinde bulunabilen alüminyum, ağırlık olarak yer kabuğunun % 8'ini oluşturmaktadır. Doğada bulunan taş ve mineraller, önemli miktarlarda alüminyum içermektedir. Ama ne yazık ki, doğada metal halinde bulunmayan alüminyum kayaların içinde, silikat ve diğer kompleks bileşikler halinde bulunur. Dünya birincil alüminyum üretiminin % 98'i boksit cevherinden yapılmaktadır. Mevcut koşullarda üretim yılda 120 milyon ton düzeyinde olmaktadır. Buna göre, mevcut kapasitelerle, işletilebilir rezervlerin yaklaşık olarak 240 yıl yeterli olabileceği hesaplanmaktadır (Çınaroğlu, 1997).

Alüminyumun, 1825 yılında keşfedilmesine karşın, 1890'lı ve 1900'lü yılların ilk başlarına kadar, alüminyum bileşiklerin indirgenmesi ile üretilmesinde kullanılan yöntemler hem pahalıydı, hem de pahalı olduğu kadar kompleks kimyasal işlemleri gerektiriyordu. 1886 yılında, Martin Hall, alüminyum oksit filizinden, ergimiş tuz çözeltisi içinde elektroliz yöntemini kullanarak alüminyum elde ettiği için patent almıştır (Budinski, 1989).

1895 yılında, Amerika Birleşik Devletleri'nde ilk alüminyum hatları kullanılmaya başlanmış ve 1897 yılında da Roma'da St. Joachim Kilisesinin çatısı alüminyum ile kaplanmıştır. Burası dünyanın ilk alüminyum çatısı olarak tanınır. Aradan zaman geçmesine rağmen, çatı halen eski sağlam durumunu korumaktadır (Anık, 1960). 1900 yılında ilk kez, taşıt motoru konstrüksiyonunda alüminyum kullanılmıştır. Alüminyumun motor yapımında ilk olarak kullanımı Mercedes-Benz otomobil şirketinin ilk kurucuları olan Gottlieb Daimler ve Carl Benz tarafından olmuştur (Mercedes-Benz AG, 1993). Duralüminin keşfinden sonra, 1906 yılında modern uçak endüstrisinin çalışmaları hız kazanmıştır.

2.1 Arı Alüminyumun Elde Edilmesi

1886 yılında, ilk olarak alüminyum elektroliz yolu ile elde eden ve bu çalışması ile patent alan Martin Hall'e ait kimyasal işlem şeması Şekil 2.1'de verilmektedir.



Şekil 2.1 Alüminyum oksitten alüminyum eldesinde kullanılan sistem (Budinski, 1989).

Bu kimyasal işlemde, tuz eriyiği içinde, Kriyolit olarak tanımlanan sodyum-alüminyum-fluorür bileşiği (Na_3AlF_6) eriyik hale getirilmiş ve alüminyum oksit (Al_2O_3) çözündürülmüştür. Bu durumda, tuz içinde alüminyum iyonları (Al^{3+}) bulunmaktadır. Karbon elektrotlar, tuz banyosu içine daldırılır ve elektrotlar arasındaki elektron akışının başlaması sağlanır. Alüminyum iyonları metalik alüminyum olarak katotta indirgenir ve anotta oksijen oluşur. Tuz banyosunun yaklaşık olarak 953 °C sıcaklığa ulaşması ile birlikte alüminyum katotun ergimesinde şekillenmeye ve alüminyumun yoğunluğu, tuz çözeltisinin yoğunluğundan fazla olduğu için dibinde alüminyum çökelmeye başlar.

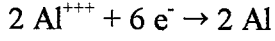
Bu şekilde yapılan alüminyum elde etme yöntemi büyük miktarlarda alüminyumun ucuz olarak elde edilmesine olanak tanımaktadır (Budinski, 1989).

Şekil 2.1'deki kimyasal işlemdeki reaksiyonları kısaca özetlemek mümkündür;

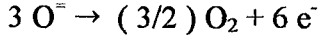
1. Alümina çözünmektedir.



2. Anotta



3. Katotta



2.2 Alüminyumun Özellikleri

Alüminyum; düşük yoğunluğu, iklime dayanıklılığı, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, soğukta şekil değiştirebilme kabiliyeti, yüksek oranda parlaklığa kavuşturulabilmesi gibi üstün özellikleri ile en çok aranan malzemelerdendir. Ayrıca; korozyona dayanıklılığı, döküm kabiliyetinin ve işleme kabiliyetinin çok iyi olması gibi özelliklerinden dolayı makine imalat, metal sanayi, inşaat, gıda, kimya, otomotiv, ulaştırma, elektrik-elektronik, uçak ve uzay sanayisinde çok geniş kullanım alanlarına sahiptir (Güneş, 1987).

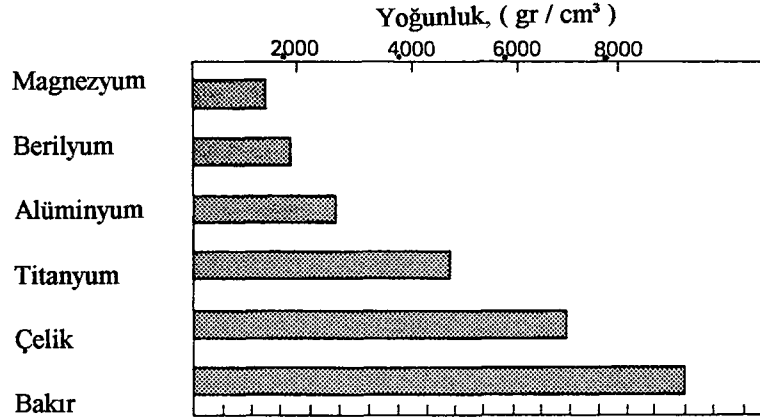
2.2.1 Fiziksel özellikler

Alüminyumu, diğer metallerden ayıran birkaç temel özellik bulunmaktadır. Bunlardan ilki, magnezyum ve berilyum haricindeki tüm mühendislik metallerinden daha hafif olmasıdır. Hem sıvı hem de katı alüminyumun yoğunluğu artan saflık derecesiyle orantılı olarak aşağıya düşer. Aşağıda, tavlanmış katı alüminyumun 20 °C'deki yoğunluk değerleri birkaç saflık derecesi için çizelge halinde verilmiştir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Saflığa bağlı yoğunluk değişimi (6).

Saflık (%)	99,25	99,40	99,75
Yoğunluk (g/cm ³)	2,727	2,706	2,703

Alüminyumun yoğunluğu, yaklaşık olarak $2,770 \text{ g / cm}^3$ 'tür. Yoğunluğunun, diğer metaller ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi Şekil 2.2'de grafik halinde verilmiştir (Budinski, 1989).



Şekil 2.2 Alüminyumun yoğunluğunun, diğer metallerle karşılaştırılması (Budinski, 1989).

Yeni alüminyum üretim tesislerinde özellikle % 99,75 saflık derecesine sahip alüminyum üretilmektedir. Böyle bir saf alüminyumun yoğunluğunun ergime noktası üzerindeki sıcaklıkla bağıntısı Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.2 Alüminyum Yoğunluğunun Sıcaklıkla Değişimi (Sezer, 1984)

Sıcaklık (° C)	Yoğunluk (gr/cm³)
658,7	2,382
700	2,371
800	2,343
900	2,316
950	2,303
1000	2,289
1100	2,262

Alüminyumun ikinci önemli özelliği ise ısı ve elektrik iletkenliğinin çok iyi olmasıdır. Saf bakırın sahip olduğu iletkenlik değerinin % 60'ı değerinde iletkenliği vardır. Daha düşük yoğunluğa sahip olmasından dolayı, birim kütle başına, bakıra oranla daha iyi iletkenliğe sahiptir. Bu yüzden, 10 mm çaplı alüminyum tel, 6 mm çaplı bakır telle hem aynı iletkenliğe sahiptir hem de bir üstünlük olarak daha da hafiftir. Bu kıyaslama, uzun ve yüksek gerilim hatlarının dizayn edilmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır.

Alüminyumun mukavemet özellikleri, alüminyumun saflık derecesine ve imalat yöntemine göre değişim göstermektedir. Bu değişim Çizelge 2.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.3 Mukavemetin saflıkla değişimi (Sezer, 1984).

Özellikler	Döküm Alş.	Hadde Alışmaları	Isıl İşlem G. Alş.
Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	90-120	180-280	70-110
Akma Mukavemeti (N/mm ²)	30-40	160-240	50-80
Uzama (%)	18-25	3-5	30-45
Büzülme (%)	40-55	60-85	80-95
Sertlik (HB)	24-32	45-60	15-25
Elastiklik Modülü (N/mm ²)		60000-70000	

Saf alüminyumun dinamik mukavemeti, statik mukavemetinin yaklaşık olarak 0,4 ile 0,45 katıdır. Soğuk şekil değiştirmiş alüminyum kaynak yapıldığı takdirde, geçiş bölgesinin mukavemeti düşer. Metalsel malzemeler, soğuk şekil değiştirme (soğuk haddeleme veya çekme) ile kazandıkları mukavemeti, tavlama işlemi sonucunda kaybederler. Alüminyum oda sıcaklığında soğuk şekil değiştirdiği takdirde çekme ve akma mukavemeti yükselirken, uzama miktarı ve şekil değiştirme kabiliyetinde azalma meydana gelir.

Alüminyumun fiziksel özellikleri Çizelge 2.4’de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 2.4 Alüminyumun fiziksel özellikleri (Güneş, 1987).

Atom Ağırlığı	27
Atom Numarası	13
Yoğunluk	20 °C
	2,70 gr / cm ³
	700 °C
	2,37 gr / cm ³
Ergime Sıcaklığı (T _{erg})	660 °C
Kaynama Sıcaklığı (T _{kay})	2500 °C
Buharlaştırma Sıcaklığı (T _{buh})	2467 °C
Elektrik Direnci	266 ohm.mm ² / m
Isı İletkenliği	0,52 cal / mol / °C (25 °C)
Elektriksel İletkenlik	% 64,94 (IACS)
Uzama	% 43
Sertlik	19 HB
Isıya Karşı Mukavemet Katsayısı	0,0042
Yansıtma	% 6,7
Manyetik Hassasiyet	75 - 85
Elektrot Potansiyeli	- 1,64 Volt
Yanma Isısı	6990 Kcal / Kg
Kristal Yapısı	KYM , a = 4,049 .°A
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı (T _{RC})	250 - 300 °C
Elastisite Modülü	7,0 X 10 ³ Kg / mm ²
Isıl Genleşme Lineer Katsayısı	24,0 X 10 ⁻⁶ mm / mm .°C

2.2.2 Kimyasal özellikler

Alüminyum, yüksek kimyasal aktifliğe sahip bir elementtir. Oksijen, halojenler, kükürt ve karbon ile bileşiklerinin oluşum enerjisi çok yüksektir. Elektromotor kuvveti gerilimi serisinde en kuvvetli elektronegatif elementlere dahildir. Yani, Hidrojen elektrotuna karşı normal potansiyeli yaklaşık olarak - 1,07 Volttur. Aktif, yani soy olmayan metal olmadığının kanıtı olduğu için anottur. Bazı önemli elementlerin elektrokimyasal gerilim dizisi Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2.5 Elektrokimyasal gerilim dizisi (Akdoğan, 1997).

		Standart Potansiyel (Volt)	
Reaksiyon	Element	(Oksitlenme)	(İndirgenme)
AKTİF	Li	3,05	- 3,05
	Ca	2,87	- 2,87
	Mg	2,37	- 2,37
	Be	1,85	- 1,85
	Al	1,66	- 1,66
	Ti	1,63	- 1,63
	Mn	1,18	- 1,18
	Zn	0,763	- 0,763
	Cr	0,74	- 0,74
	H ₂	0,000	0,,000
	Cu	- 0,337	0,337
	OH	- 0,401	0,401
SOY	Hg	- 0,854	0,854

Alüminyum, depolandığı şartlar altında atmosferik ortama maruz kaldığında oksit tabakası ile kaplanır. Alüminyum oksit (Al₂O₃) olarak isimlendirilen bu tabakanın kalınlığı 0,5 - 0,2 µm civarındadır.

Elektron mikroskobu ile yapılan çalışmalar, bu oksit tabakasının sık ve gözeneksiz olduğunu göstermektedir. Bu tabaka, alüminyumun oksitlenmesini önleyerek iyi bir korozyon dayanımına sahip olmasını sağlar.

Alüminyum, periyodik cetvelde anfoterdir. Asitlere karşı baz, bazlara karşı asit gibi davranır. Özellikle, alkalilere karşı dayanıksızdır. Alüminyum çözüldürmek için Na_2OH - KOH kullanılır. HCl ve HF asitleri en iyi çözücüdür. Sülfürik asit (H_2SO_4), sıcaklıkta alüminyum üzerinde etkilidir. Yüzeyin korozyona uğramasına sebebiyet verir (Güneş, 1987).

Alüminyum, ergime noktası üzerindeki sıcaklıklarda daha hızlı oksitlenir. İnce taneli metal havada ısıtılınca çok kuvvetli yanar. Alüminyum içinde bulunan empüritelerin varlığı oksitlenme eğilimini kuvvetlendirir. Özellikle Al-Mg alaşımları ısıtılırsa, kolayca oksitlenir ve yüzeylerinde gevrek oksit tabakaları meydana gelir.

Görünüşe göre alüminyum, hidrojen ile reaksiyona girmemektedir, fakat hidrojen, alüminyum kolayca çözmektedir. Hidrojenin ergimiş alüminyumda çözünürlüğü $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 'de her bir cm^3 alüminyum için $0,2\text{ cm}^3$ değerine ulaşmaktadır.

Önceki bir ısı işlem veya mekanik işlem, alüminyumun özgül ısısına etki etmektedir. Bu durum, yapının deforme olmasında ve bunun neticesinde kristal kafes enerjisinin değişiminde etkilidir (Sezer, 1984). Çizelge 2.6'da, $0 - 1000\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık diliminde alüminyumun ortalama ve gerçek özgül ısı için bazı değerler verilmiştir.

Çizelge 2.6 Alüminyumun özgül ısısı (Sezer, 1984).

Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)	$0\text{ }^\circ\text{C}$ 'den Belirtilen Isıya kadar ort. özgül ısı	Gerçek Özgül Isı (cal / gr. $^\circ\text{C}$)	Atom Isısı (cal/gr.atom $^\circ\text{C}$)
0		0,2220	5,99
657 (Katı)	0,2473	0,2727	7,36
657 (Sıvı)	0,3904	0,2502	6,75
1000	0,3451	0,2667	7,19

2.3 Alüminyum Alaşımları

Diğer metallerin alüminyuma ilave edilmesi, mukavemet ve sertliğin artmasına olanak tanır. Öyle ki, ticari saflıktaki alüminyumda, çok az miktarlardaki empüritelerin dahi bulunması, alüminyumun mukavemetinin saf alüminyuma oranla % 50'ye kadar arttırmasına sebep olmaktadır.

Alüminyum alaşımlarının üretiminde, en çok kullanılan alaşım elementleri, bakır, silisyum, manganez, magnezyum ve çinkodur. Bu elementler, alaşımlama işleminde, arzu edilen bileşimi elde etmek için, tek tek veya birleşik halde alüminyuma ilave edilirler. Döküm alaşımlarında, alaşımlama elementleri yüksek miktarlarda sık sık kullanıldığı halde, hadde alaşımlarında bu miktarlar nadiren % 10'un üstüne çıkmaktadır. Döküm ve ısıtılmış alüminyum alaşımlarının çekme mukavemeti, bileşimlerine bağlı olarak, ticari alüminyuma kıyasla mukavemetinin iki katına kadar değişir. Soğuk işlem, hadde alaşımlarının çekme mukavemetini daha da yükseltir (Tulgar, 1987).

Alüminyumun düşük yoğunluk, yüksek korozyon dayanımı gibi üstünlükleri nedeniyle makine, taşıt ve yapı endüstrisinde geniş oranda yararlanılması, ancak dayanım özelliklerinin alaşımlama yoluyla iyileştirilmesinden sonra gerçekleşebilmiştir. Dayanımın, çökelme sertleşmesiyle arttırılabileceğinin bulunması da alüminyum alaşımlarının geliştirilmesinde çok büyük rol oynamıştır.

Alaşımlarında, daha belirgin olan *dayanım / yoğunluk oranının* yüksekliği, hafif konstrüksiyonların yapımında, alüminyumun uygun bir malzeme olmasını sağlamaktadır. Örneğin; otomobil, uçak, gemi, vagon yapımları ve ahşap malzemelerin işlenmesinde kullanılan makinelerin yapımları gibi (Rende ve Gülsöz, 1995).

Alaşımlandırma neticesinde, alüminyumun mukavemetindeki yükseliş, diğer özelliklerdeki değişimlerle birlikte meydana gelir. Bu değişimler, farklı alaşımlarda nadiren aynı olur. Çünkü, bir çok alaşım, esas itibariyle, aynı çekme mukavemetine sahip olmalarına rağmen, süneklik, elektrik ve ısı iletkenliği ve işleme kolaylığı bakımından, geniş ölçüde farklı olurlar.

Alaşımlandırmada, hafiflik özelliği genelde fazla önem taşımamaktadır ve bazı hallerde alaşımlar daha da hafif olurlar. Örneğin; % 10 - 13 oranında silisyum içeren alaşımların yoğunluğu, 2,650 gr / cm³ civarındadır (Tulgar, 1987).

2.3.1 Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması

Alaşımları, en genel haliyle, aşağıda belirtilmiş biçimde sınıflandırmak mümkündür.

A. Alaşım elemanlarına göre;

I. Döküm alüminyum alaşımları;

- a.) Metalsel (kokil) kalıba dökülebilen alüminyum alaşımları,
- b.) Kum kalıba dökülebilen alüminyum alaşımları,
- c.) Basınç altında kalıba dökülebilen alüminyum alaşımları.
- d.) Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları,
- e.) Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları

II. Hadde alüminyum alaşımları;

- a.) Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları,
- b.) Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları.

B. Sertleşme durumuna göre;

I. Sertleştirilebilen alüminyum alaşımları,

II. Sertleştirilemeyen alüminyum alaşımları.

C. Kullanma durumuna göre;

I. Pres döküm alaşımları,

II. Piston alaşımları,

III. Otomat alaşımları (Güneş, 1987; Budinski vd., 1989).

2.3.1.1 Döküm alaşımları

Döküm alaşımları başlıca iki kısımda ele alınabilir. Birinci kısımda, ıslah edilen yani, iyileştirilen özellikler, yalnız alaşımlandırma sonucunda elde edilmiştir. İkinci kısımda ise; özelliklerin iyileştirilmesi için ısıtılma işlemleri uygulanmıştır. Döküm alaşımlarında kullanılan alaşımlama elementleri, genellikle; bakır, silisyum, magnezyum,

Çinko ve demirdir. Bu elementlerin, uygun miktarlarda ilave edilmesiyle, alüminyumun mukavemet ve sertlik değerleri iyileştirilebilir. Bununla beraber, süneklik azalır. Alüminyum alaşımlarının dökümü, yalnız kum kalıplarında değil, metalsel kalıplarda da yapılabilir. Metalsel kalıplara dökülerek üretilen alüminyum alaşımların yüzeyleri, kum kalıplardakine oranla, daha düzgündür ve boyutsal toleransları daha azdır. Bunun sonucunda, döküm parçasının işlenmesindeki ve nihai şekillendirilmesinde maliyetlerde önemli ölçülerde tasarruf sağlanmış olur (Tulgar, 1987).

2.3.1.1.1 Isıl işlem uygulanamayan döküm alaşımları

Genellikle, döküldüğü gibi kullanılırlar. Bazıları, döküm gerilimlerini gidermek ve işleme sırasında boyutsal bozulmaları önlemek amacıyla tavlanırlar. Bu alaşımlar akışkanlık, esnemezlik ve dayanım gibi özelliklerinin yüksek olmasından dolayı tercih edilirler. Bu guruba dahil olan alaşımlar; Al - Si, Al - Cu, Al - Zn, Al - Mg'dur. Bazı özel hallerde, ısıl işlem uygulanmadan kullanılırlar.

2.3.1.1.2 Isıl işlem uygulanabilen döküm alaşımları

Bu alaşımlara uygulanan ısıl işlem iki kademededen ibarettir. Birincisi; çözeltiye alma, ikincisi ise; çözeltiye alındıktan sonra, düşük sıcaklıklarda yaşlandırılmasıdır.

Bu alaşımlarda, ısıl işlem sırasında, özellik değişimi, çözünme ve belirli alaşımlama elementlerinin çökmesi yoluyla olur. Çökme işlemi sonunda sertleşebilen alüminyum alaşımları üç ana faz ihtiva eder. Bunlar; çözündürme, su verme ve yaşlandırmadır.

Çözündürme işlemi, ötektik bileşenleri yayındırır ve katı bir çözelti oluşturur. Çözündürme işleminin sıcaklığı mümkün olduğunca pratik olarak, ötektik erime noktasına yakın olmalıdır. Ötektik erime noktasının aşılması, tane sınırlarında bölgesel erimelere dolayısıyla hurda dökümlere yol açar.

Isıl işlemde kullanılan sıcaklıklar, döküm alaşımlarına göre değişmekle birlikte, çözündürme işlemi 427 - 538 °C arasında, yaşlandırma işlemi ise, 149 - 260 °C arasında yapılır. Isıl işlemler, dökümden sonra alaşımın gerilimlerinin giderilmesinde veya kararlı bir yapıya ulaşması amacıyla yapılır (Güneş, 1987).

2.3.1.1.3 Alüminyum - Silisyum (Al - Si) alaşımları

Silisyum içeren alaşımlar, yüksek akışkanlıkları sebebiyle, iyi döküm özelliklerine sahiptirler. Bu iyi özelliklerinden dolayı, dizayn bakımından karmaşık olan parçaların dökümünde kullanılabilirler. Bu alaşımların mukavemetleri, atmosfer etkilerine karşı da yüksek olduğundan, mimari ve dekoratif dökümlerin yapılmasında büyük önem taşırlar. % 5 oranında silisyum içeren bu alaşımlar, daha ziyade dekoratif amaçlar için kullanılırlar. Bu alaşımların çekme mukavemeti ve emniyet gerilmesi, alüminyum - bakır alaşımlarına kıyasla, daha düşük olduğu halde, süneklik ve darbeye karşı mukavemetleri daha yüksektir. % 10 ile % 13 oranlarında silisyum içeren bu alaşımların da geniş kullanım sahası bulunmaktadır.

Alaşım, özel bir döküm tekniği uygulanmadan döküldüğü takdirde gevrek (kırılğan) ve iri kristalli bir yapıya sahip olur. Ancak, küçük miktarlarda (% 0,05 mertebesinde) metalik sodyum veya kalsiyum ilavesi ile, yüksek mukavemetli, sünek ve ince kristalli yapıya sahip dökümler elde edilir. Bu işlem *modifikasyon* olarak isimlendirilir. Yüksek silisyum oranına sahip alüminyum - silisyum döküm alaşımları, içten yanmalı motorlarda, vites kutularında, silindir ve karterlerde ve nikel gibi metallerin ilave edilmesi ile de piston imalinde kullanılır (Tulgar, 1987).

Silisyumun, alüminyum içindeki yüzde erime miktarının sıcaklıkla değişimi Çizelge 2.7'de verilmektedir.

Çizelge 2.7 Silisyum erirliğinin sıcaklıkla değişimi (Üçışık, 1978).

Sıcaklık (°C)	577	550	500	450	400	350	300	250
Si (%)	1,65	1,30	0,80	0,48	0,29	0,17	0,06	0,008

2.3.1.1.4 Alüminyum - Magnezyum (Al - Mg) alaşımları

Bu gruptaki alaşımlar, deniz suyu etkilerine karşı yüksek dayanım gösterirler. Çekme mukavemetleri yüksektir. Süneklik ve işlenebilme özellikleri çok iyidir. Bununla beraber bu alaşımların dökülmesi diğer alaşımlara oranla daha güçtür. Döküm esnasında, oksidasyonu önlemek için, özel bir işlem gerektirmektedir. % 10 oranında magnezyum içeren bir alaşımı, ısıtılma işlemin uygulanmasından sonra bütün alüminyum döküm alaşımlarının içinde çekme mukavemeti, uzama değeri ve darbeye karşı mukavemet değeri bakımından en yüksek özelliğe sahiptir (Tulgar, 1987).

Oda sıcaklığında, magnezyumun alüminyum içindeki erime oranı % 1,4'tür. Alüminyum - Magnezyum alaşımları, Al - Cu alaşımlarında olduğu gibi, ısıtılma işlem uygulanacak alaşımlardan istenen karakteristik bir katı eriyiğe sahiptir (Ecemiş, 1994).

2.3.1.1.5 Alüminyum - Çinko (Al - Zn) alaşımı

Bu alaşımlarda, alüminyum, % 1'den biraz daha düşük miktarlarda ilave edilen çinko ile katı eriyik yaparak, homojen bir alaşım meydana getirir.

Bu alaşımlara, ısıtılma işlem uygulanabilir. Alüminyum - çinko alaşımlarının yapısal sertleşmesi, alaşımı oluşturan her iki metalsel malzemenin de çok saf olması durumunda gerçekleşir. Sertleşme kabiliyeti, yaklaşık olarak 450 °C olan bir su verme sıcaklığında maksimumdan geçer.

Bu alaşımda, değişik çinko yüzdelere sahip iki α -fazı arasında bir karışım alanı bulunmaktadır.

2.3.1.2 Hadde alaşımları

Bu alaşımlar, ısı işlemin uygulanması ile değil, soğuk şekillendirme işlemleri ile mukavemet kazananlar ve ısı işleme tabi tutulanlar olmak üzere iki guruba ayrılırlar. İkinci gurup, yani; ısı işleme tabi tutulanlar gurubu, birinci guruba oranla daha fazla sayıda alaşım elementi içermektedir (Tulgar, 1987).

Bu alaşım gurubundaki malzemeler ile çeşitli profiller, teller, boru ve benzeri ürünler ile sac levha ve folyo gibi yassı haddeleme ürünleri üretilmektedir.

2.3.1.2.1 Isıl işlem uygulanamayan hadde alaşımları

Bu gurup alaşımların birincil mukavemet değerleri, Mangan, Magnezyum vs. gibi alaşımlama elementlerinin oluşturduğu sertleşme mekanizmasına bağlıdır. Bu alaşımlar işlenirken sertleştiğinden, soğuk işlemle sertleştirilmeleri olanaklıdır.

2.3.1.2.2 Isıl işlem uygulanabilen hadde alaşımları

Bu gurup alaşımların birincil mukavemeti, içerdiği Bakır, Çinko, Mangan ve Silisyum gibi alaşım elementlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu elementlerin, alüminyum katı eriyiğinde ergimeleri, ısı arttıkça fazlalaştığından, ısı işlem yoluyla sertleştirilmeleri olanaklıdır.

Isıl işlem veya çözüldürme ısı işlemi olarak adlandırılan ilk aşama, bir yüksek ısı işlemidir. Bu işlemi takiben, alaşım malzemesi, su içinde hızlı bir şekilde soğutularak, iç yapısının geçici olarak donması sağlanmaktadır. Soğutulmuş olan bu yapı, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda kararlı değildir. Yarı kararlı bir haldedir. Bu nedenle aşırı doymuş katı çözelti, oda sıcaklığında veya ısıtılmış bir şekilde bekletilerek, zamanla yarı kararlı halden, kararlı hale geçmesi temin edilir. Oda sıcaklığında veya biraz daha yüksek sıcaklıklarda sertliğin, zamana bağlı olarak artmasına *yaşlanma*, bunun gerçekleştirilmesini sağlayan ısı işleme de, *yaşlandırma* ismi verilir (Güneş, 1987).

2.3.1.2.3 Alüminyum - Magnezyum (Al - Mg) alaşımları

Magnezyumun, alüminyuma ilave edilmesi; deniz suyuna korozyonuna karşı yüksek dayanım, çekme ve yorulma mukavemetlerinin iyileştirilmesi de dahil olmak üzere, malzemede alaşımlama ile arzu edilen bir çok özellikleri kazandırır. Alüminyum - Magnezyum alaşımları içinde, en fazla kullanım alanına sahip olan dört alaşım sırasıyla; %2, %3,5, %5 ve %7 oranında magnezyum içeren alaşımlardır. Ayrıca, bu alaşımlar içinde bulundukları belirli yüzde oranlarındaki magnezyumla birlikte az miktarlarda manganez ve krom içerirler.

Çekme mukavemeti değerleri, 150 N / mm² (%2 oranında magnezyum içeren tavlanmış alaşım) 355 N / mm² (%7 magnezyum içeren yumuşak alaşım) arasında değişim göstermektedir. Bu alaşımlar, işleme sırasında, oldukça çabuk sertleşirler. Bu sebepten dolayı, yüksek magnezyum içeren alaşımları sıcak veya soğuk olarak işlemek diğer alaşımlara oranla güçtür.

2.3.1.2.4 Alüminyum - Magnezyum - Silisyum alaşımları

Düralümin tipi alaşımlarla elde edilebilen maksimum mekanik mukavemetin gereksiz olduğu hallerde, ısıl işleme tabi tutulabilen diğer bir alaşım kullanılabilir.

En çok kullanılan bu alaşımlardan ikisi, yaklaşık olarak %0,5 oranında magnezyum ile birlikte nispeten daha büyük miktarda (%0,5 - %1) silisyum içerirler. Bu alaşımlar kararlı olmaları ve eritme ısıl işleme şartlarında çok iyi şekillenebilmeleri ile karakterize edilebilir. Şekillendirme işlemi, su verme işleminden sonra uygulanabilir ve gerekli olan mukavemet değeri, malzemeyi ayrıca 160 °C - 180 °C sıcaklık değerinde çökelme ısıl işlemine tabi tutmak suretiyle elde edilir. Alaşımlar, ilave edilen elementlerin oranı diğer alaşımlardakilere oranla düşük miktarlarda olduğundan, ticari bakımdan saf olan alüminyumun arzu edilen özelliklerinden bir çoğuna sahip olurlar.

Bu alaşımda sertleşme, Mg_2Si metaller arası kimyasal bileşiğinin sıcaklık ile değişen çözünürlüğünden ileri gelmektedir. Al - Mg_2Si bileşikler; alaşımlara; su verme, yaşlanma ve tavlama ısı işlemlerinin uygulanmasını sağlarlar.

Bu alaşımların korozyona karşı göstermiş oldukları dayanım , saf alüminyumunkinden biraz azdır. Çekme mukavemetleri ise, 240 ile 400 N / mm² arasında değişir.

2.3.1.2.5 Alüminyum - Çinko - Magnezyum alaşımları

Bunlar, bütün alüminyum alaşımları içinde, en mukavemetli olanlarıdır. İkinci dünya Savaşı sırasında, hava kuvvetlerinde kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Bileşim bakımından %8'e kadar çinko, %4 magnezyum, %3 bakır ve küçük miktarlarda krom, titan, manganez ve nikel içerirler.

Alüminyum - Çinko - Magnezyum alaşımlarının başlıca özellikleri; oda sıcaklığında ve bir ay gibi bir zaman içinde, doğal olarak yaşlanmanın oluşması ve yaşlanma sonucunda çekme ve akma mukavemetlerinin artması, buna karşılık işlenebilirlik kabiliyetlerinin azalmasıdır. Bu alaşımlarda şekillendirme işlemi , eritme ısı işleminden hemen sonra yapılmalıdır. Bunu, çökeltme ısı işlemi takip eder.

2.3.1.2.6 Alüminyum - Manganez alaşımları

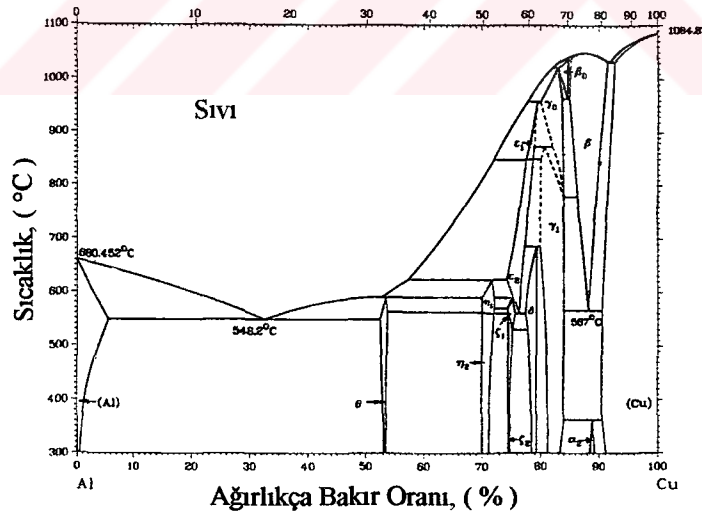
Bu alaşımlar, saf alüminyum ile yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları arasındaki boşluğu doldururlar. Çünkü, %1,5 oranındaki bir manganez ilavesi, mukavemetin önemli miktarda artmasına (90 - 170 N / mm²), fakat sünekliğin ise, az miktarda azalmasına sebebiyet verir. Bu alaşımlar, ticari alüminyum mukavemetinden daha yüksek mukavemete sahip, ancak işleme sırasında sertleşebilen özellikte malzeme kullanım yerlerine uygundur. Örneğin; presleme, bükme ve kaplama işlerinde.

2.4 Alüminyum - Bakır (Al - Cu) Alaşımları

Alüminyumun karakteristik özelliklerini ıslah etmek amacıyla kullanılan önemli ve esaslı alaşımlama elementlerinden birisi de bakırdır.

Bakırın, alaşımlama amacıyla alüminyuma ilave edilmesi ile, akıcılık artar ve çekilme azalarak, döküm kabiliyeti iyileştirilir. Ancak, bu alaşımlarda, önemli katılaşma aralığı bulunduğu için, sıcakta kolaylıkla çatlarlar.

Bakır, kopma mukavemeti, elastiklik sınırı ve özellikle sertlik gibi mekanik özellikleri önemli derecede artırır. Buna karşılık, deformasyon (şekil değiştirme) kabiliyeti ve süneklik, ilave edilen bakır yüzdesine göre, azalma göstermektedir. Özellikle iki bileşenli alaşımlar için etkisi fazladır. % 12 - % 15 oranında bakır içeren alaşım, son derece kırılgan yapıya sahiptir. Bakır ilavesiyle, alaşımların yoğunluğu, ihmal edilmeyecek şekilde artar. Alüminyum - Bakır alaşımının denge diyagramı Şekil 2.3'de verilmektedir.



Şekil 2.3 Alüminyum - Bakır alaşımı denge diyagramı (ASM Handbook Vol 8).

Çizelge 2.8 Bakır çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimi (Çuhadar ve Ersümer, 1955).

Sıcaklık (°C)	Çözünürlük (%)
548	5,65
500	4,10
430	2,00
300	0,74
225	0,50
15	0,30

Yukarıdaki çizelgeden de anlaşılacağı gibi; bakırın, alüminyum içindeki eriyebilme özelliği, sıcaklığın azalmasına bağlı olarak, doğru orantılı olarak azalma göstermektedir. bu özelliğinden dolayı, su verme işlemi neticesinde, yapı sertleşir. % 4 ile % 5'ten fazla miktarda bakır içermeyen alaşımlar için bu olay söz konusudur. Bir homojenizasyon tavlama işleminden sonra, su verme ve menevişleme ısı işlemleri ile mekanik özelliklerdeki esaslı değişimler yapılmış olur.

Özet olarak, ticari Alüminyum - Bakır alaşımlarının esas, (α) katı eriyiğidir ve bu alaşımların bakır yüzdeleri % 4 - % 5 arasındadır. Bunların haricinde, bazı alaşımlarda, (α) katı eriyiği ile, Al_2Cu bileşiğinin ötektiği olan ikinci bir bileşen daha vardır.

Genel itibariyle, hem döküm yöntemiyle elde edilen, hem de işleme yöntemiyle mekanik özelliklerinde istenen özelliklerin elde edilebildiği alüminyum - bakır alaşımları, farklı yüzdelerde magnezyum ve manganez içeren, bakırın başlıca alaşımlandırma elementi olduğu, yüksek mukavemet özelliğine sahip alaşımlardır.

Düralümin, alüminyum alaşımları içinde en iyi bilinenidir. Düralüminin kimyasal bileşimi, % 3,5 - % 4,5 bakır, % 0,5 magnezyum, % 0,5 mangan ve az miktarda demir ve silisyumdan ibarettir. 1906 yılında, Almanya'da keşfedilen alaşımın ismi, ilk kez üretildiği Düren şehrinin adına izafeten verilmiştir. Düralümin, ısı işleme tabi tutulabilecek alaşımlar içinde

keşfedilenlerin ilk olması ve yaşlanma sertleşmesi olayının ortaya çıkmasına ön ayak olması sebebiyle büyük önem kazanmıştır. Böyle bir malzemeden elde edilebilecek sonuçlar Çizelge 2.9’da verilmektedir.

Çizelge 2.9 Düralümin tipi alaşımlarda yaşlanma sertleşmesi (Tulgar, 1987).

	Emniyet Gerilmesi (N / mm ²)	Çekme Mukavemeti (N / mm ²)	Uzama (%)	Sertlik (HB)
Tavllanmış Plaka	155	230	20	60
Isıt İşleme Tabi Tutulmuş ve Yaşlandırılmış	230	390	12 - 15	90 - 100

Düralümin tipi alaşımların özellikle plaka halinde olan tipleri, yüksek mekanik özelliklerine sahip olmalarına rağmen korozyona karşı düşük dirence sahiptirler. Bununla beraber, bu sorun, “Cladding” denen kaplama işlemi ile giderilmiştir.

2.4.1 Alüminyum - Bakır alaşımlarının akıcılığı

Akıcılık, bir madenin veya bir alaşımın, bir kabı doldurabilme kabiliyetidir (Çuhadar ve Ersümer, 1955). Bu akıcılık, belirli şartlarla akıtılan yatay bir spiralın uzunluğu ile tespit edilir. Şekil 2.5’te akıcılığı denenecek olan malzemenin kalıbı gösterilmektedir.

Bastien’in tarifine göre (Çuhadar ve Ersümer, 1955), yapılan bu kalıp genellikle hafif alaşımların akıcılık kabiliyetinin denenmesi amacıyla dizayn edilmiştir.

2.4.2 Katılaşma aralığı

Bu aralık, % 4 - % 5 oranında bakır içeren alaşımlar için çok önemlidir. Çünkü, bu katılaşma aralığı, 100 °C' den fazla olmaktadır. Bu bileşimdeki alaşımlar, sıcakta çatlamaya meyil gösterirler. Bakır yüzdesi arttıkça bu aralıkta azalma meydana gelir.

2.4.3 Alüminyum - Bakır esaslı döküm alaşımları

2.4.3.1 Amerikan alaşımı

Bu alaşımda, yaklaşık olarak, % 8'e kadar bakır bulunmakla beraber, döküm özelliklerini iyileştirmek amacıyla bazen % 2 - % 3 oranında silisyum ilave edilir. Bu alaşım, ısı işleme tabi tutulmadan kullanılır. Böylelikle dökülen parçaların işlenmesi kolaylaşır. Bu alaşımların işlenmesi için, fazla enerji sarf edilmez. Mekanik özellikleri oldukça düşüktür. Bu alaşımların mekanik özellikleri Çizelge 2.10'da gösterilmektedir.

Çizelge 2.10 Amerikan Al - Cu alaşımının mekanik özellikleri (Çuhadar ve Ersümer, 1955).

	Kum Döküm	Kokil Döküm
Çekme Kuvveti (N / mm ²)	120 - 160	140 - 180
Akma Kuvveti (N / mm ²)	60 - 100	80 - 120
Uzama (%)	1 - 4	2 - 3
Sertlik (HB)	50 - 70	60 - 75

2.4.3.2 % 10 - % 13 oranında bakır içeren alaşımlar (piston alaşımları)

Özellikleri nedeniyle, motor pistonlarının yapımında kullanılırlar. % 10 - % 13 oranında bakır içeren bu alaşımlar, su sızdırmazlığının istendiği ve aynı zamanda darbelere maruz kalacak yerlerde kullanılırlar.

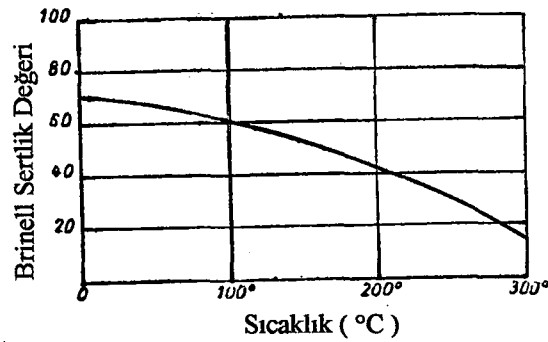
1906'da bu alaşımlarla, ilk patlamalı motor pistonları dökülmüş ve 15 yıl kadar yalnız bu alaşımlar kullanılmıştır. Daha sonra, piston imalatına daha uygun alaşımlar elde edilmiştir.

Bu alaşımların genleşme katsayısı 22×10^{-6} 'dır. Al_2Cu bileşiğinin bulunmasından dolayı sürtünmeye karşı mukavemetleri fazladır. Kaba döküm halindeki mekanik özellikleri, Çizelge 2.11' verilmiştir.

Çizelge 2.11 Alaşımın kaba döküm halindeki mekanik özellikleri (Çuhadar ve Ersümer, 1955).

	Kumda Dökülmüş	Kokilde Dökülmüş
Çekme Kuvveti (N / mm^2)	150 - 180	180 - 200
Akma Kuvveti (N / mm^2)	120 - 130	130 - 150
Uzama (%)	0,5 - 0,1	0,5 - 1
Sertlik (HB)	70 - 80	80 - 90

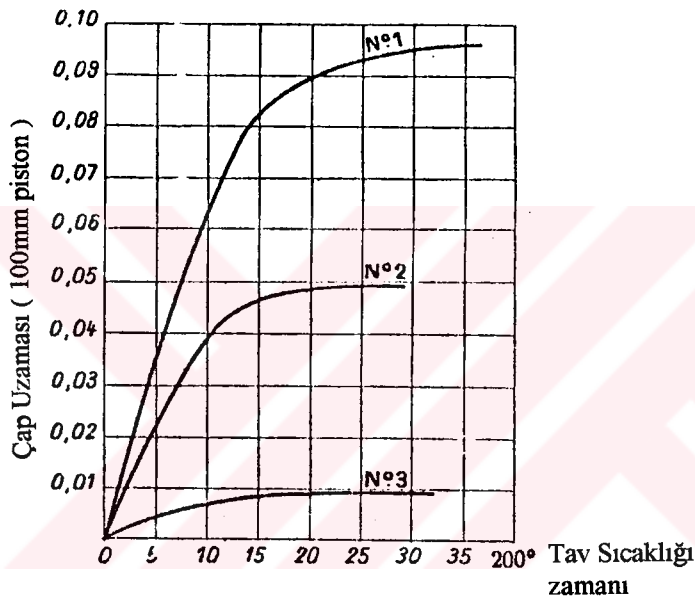
Bu mekanik özellikler, sıcakta da aynı şekilde muhafaza edilmektedir. 1911 yılında yapılan ve aynı zamanda sunulan bir çalışmanın sonuçlarına göre, düşük miktarda bakır içeren alaşımın $250^\circ C$ ' deki çekme kuvvetinin $110 N / mm^2$ olmasına rağmen, % 12 oranında bakır içeren alaşımın çekme mukavemetinin ise, $70 N / mm^2$ olduğu belirtilmiştir. Şekil 2.7'de, %12 oranında bakır içeren alaşımın sertlik değerinin, sıcaklığa bağlı olarak değişimini görebiliriz.



Şekil 2.7 % 12 Bakır içeren alaşımın sıcaklığa bağlı olarak sertlik değişimi (Çuhadar vd., 1955)

Bu alaşımlar, kaba döküm halinde olduğu gibi kullanılırlar. Fakat bu alaşımları, 450-475 °C sıcaklıkta suda sertleştirip, arkadan menevişleme gibi bir ısıtma işlemi tabi tutmak daha doğru olur. Ölçülerinin korunması amacıyla bu ısıtma işlemi, pistonun kullanıldığı zaman, ısınacağı sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda ve uzun zaman tutarak yapmak gerekmektedir. Aksi halde, Al_2Cu bileşiği faaliyete başlar ve genişleme sonucunda yataklarda sarma olayı baş gösterir.

Şekil 2.8' de verilen grafik, üretim sıcaklığı olarak kabul edilen 200 °C' de, uzun zaman tavlanan, 100 mm'lik pistonlardaki çap artmasını göstermektedir.



Şekil 2.8 200 °C'de tavlanan %12 bakırlı pistonların sabit şişmeleri (Çuhadar ve Ersümer, 1955).

% 12 bakır alaşımlı olan bu pistonlar, 475 °C sıcaklıkta, su verdikten sonra aşağıdaki şartlarla menevişleme işlemine tabi tutulmuştur.

- No 1 Eğrisi 200 °C' de 2 saat
- No 2 Eğrisi 250 °C' de 2 saat
- No 3 Eğrisi 300 °C' de 3 saat veya 275 °C' de 5 saat

2.4.3.3 “Y” alaşımı

Bu alaşımın kullanılmasına, Rosenhain ve Archbutt’un National Physical Laboratory’ de yaptıkları araştırmalardan sonra, ilk olarak 1914 - 1918 yıllarında I. Dünya savaşı sıralarında İngiltere’ de başlanmıştır.

Buna “Y” alaşımı adı verilmesine sebep, o zaman etüd edilen alaşımların etiketinde “Y” harfi bulunmasındandır. Kimyasal bileşiminde ise, % 4 Cu, % 2 Ni, % 1,5 Mg bulunmaktadır. Mekanik özellikleri Çizelge2.12’de verilmektedir.

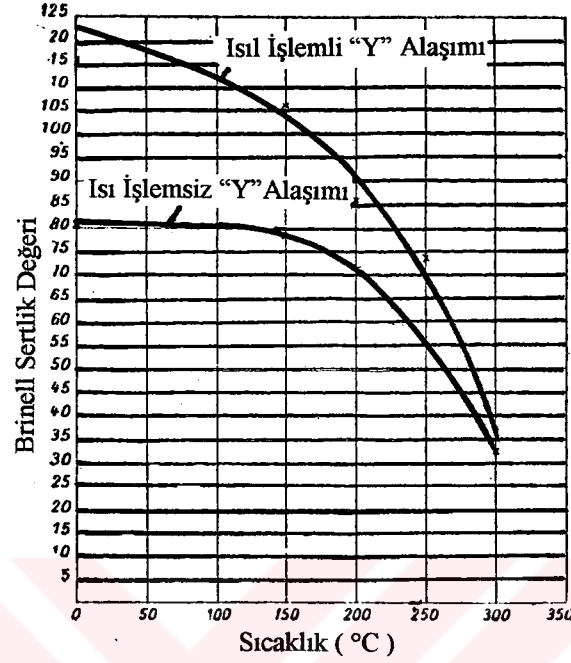
Çizelge 2.12 “Y” alaşımının mekanik özellikleri (Çuhadar ve Ersümer, 1955).

Mekanik Özellikler	Isıl İşlem Görmüş		Isıl İşlem Görmemiş	
	Kum	Kokil	Kum	Kokil
Çekme Kuvveti (N/mm ²)	150 - 190	190 - 230	230 - 270	240 - 300
Akma Kuvveti (N/mm ²)	140 - 180	160 - 180	170 - 190	200 - 230
Uzama (%)	0,3 - 0,6	0,3 - 1,0	0,3 - 1,0	0,5 - 1,0
Sertlik (HB)	80 - 90	90 - 100	85 - 100	95 - 100

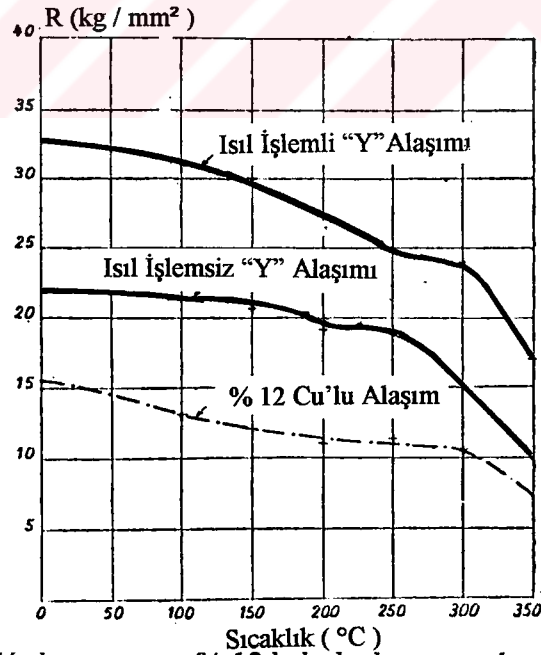
“Y” alaşımının esaslı özelliği, sıcaklığa karşı iyi dayanımının olmasıdır. Bu sebeple, bu alaşım, yüksek sıcaklıklarda çalışan parçalarda, özellikle de motor pistonlarının yapımında kullanılır.

“Y” alaşımı, dövme ve haddeleme işlerine de elverişlidir. Bu alaşım, doğrudan doğruya esas alüminyum ve % 50 bakır ile % 20 nikel içeren alaşımların dökümünden de elde edilebilir. Bu alaşımın kalıplanması ve dökümü çok güçtür. Katılaşma esnasında, alaşımın çekilmesi, çok kuvvetli olduğundan kalıp üzerine ağırlık koymak gerekmektedir. Y alaşımının katılaşma aralığı büyük olduğundan (katılaşma aralığı = 635°C - 545 °C = 90°C) sıcakta kolaylıkla çatlar.

“Y” alaşımlarının sertlik değerinin ve çekme mukavemeti değerinin sıcaklıklara bağlı olarak değişimleri Şekil 2.9 ve Şekil 2.10’da verilmektedir.



Şekil 2.9 Sıcaklığın Y alaşımlarının sertliğine etkisi
(Tavlama süresi : 30 dakika) (Çuhadar vd., 1955).



Şekil 2.10 Sıcaklığın Y alaşımlarının ve % 12 bakırlı alaşımların çekme mukavemetine etkisi
(Tavlama süresi : 30 dakika) (Çuhadar vd., 1955).

2.4.3.4 RR (Rolls - Royce) alaşımları

İngiliz otomobil fabrikası Rolls - Royce'un çıkarmış olduğu alüminyum alaşımıdır. İngiltere'de kullanılır. İki döküm, diğer ikisi işleme alaşımları olmak üzere dört esaslı çeşidi vardır. Alaşımlar, *RR* simgeleri ile ifade edilir ve döküm alaşımları RR53 ile RR55 ile sembolize edilir. RR55 ve RR53 alaşımlarının kimyasal bileşimleri izelge 2.13'de verilmiştir.

Çizelge 2.13 RR alaşımlarının kimyasal kompozisyonu (uhadar vd., 1955).

Kompozisyon (%)	RR55	RR53
Bakır	1,30	2,00
Nikel	1,30	1,25
Magnezyum	0,10	1,60
Demir	1,00	1,40
Titan	0,18	0,10
Silisyum	2,20	1,25

Bu alaşımların mekanik özellikleri ise, izelge 2.14 ve izelge 2.15'te verilmektedir.

Çizelge 2.14 RR50 alaşımının mekanik özellikleri (uhadar vd., 1955).

Mekanik Özellikler	Isıl İşlemli		Isıl İşlemsiz	
	Kum	Kokil	Kum	Kokil
Çekme Kuvveti (N/mm^2)	150 - 180	180 - 200	180 - 200	200 - 225
Akma Kuvveti (N/mm^2)	100 - 130	100 - 130	150 - 180	170 - 220
Uzama (%)	2 - 5	3 - 7	1 - 3	2 - 6
Sertlik (HB)	55 - 65	70 - 75	70	75 - 85

Çizelge 2.15 RR53 alaşımlarının mekanik özellikleri (Çuhadar vd., 1955).

Mekanik Özellikler	Isıl İşlemli		Isıl İşlemsiz	
	Kum	Kokil	Kum	Kokil
Çekme Kuvveti (N/mm ²)	170 - 190	190 - 210	250 - 300	280 - 360
Akma Kuvveti (N/mm ²)	120 - 150	120 - 150	230 - 280	260 - 330
Uzama (%)	1 - 2	0,5 - 2	0 - 0,5	0,3 - 0,6
Sertlik (HB)	70 - 80	75 - 85	125 - 140	130 - 150

2.4.3.5 Alman alaşımları

Bu alaşımlar, Alman Normları DIN 1725' e göre kimyasal kompozisyona göre hazırlanmış alaşımlardır. Bu alaşımların Alman Normlarına göre gösteriminde kullanılan "G" sembolü, alaşımın döküm yolu ile elde edildiğini ifade etmektedir. "G" sembolünden sonra kullanılan "K" sembolü ise, alaşımın kokil kalıba dökülerek imal edildiğini ifade eder.

DIN 1725' e göre dökülen alaşımların mekanik özellikleri Çizelge 2.16' da verilmektedir.

Çizelge 2.16 DIN 1725' e göre kokil kalıba dökülmüş, Al - Cu alaşımlarının mekanik özellikleri (Brunhuber, 1983).

Alaşımların Standardı	İşlem Durumu	Akma Kuvveti (N / mm ²)	Çekme Kuvveti (N / mm ²)	Kopma Uzaması (%)	Sertlik (HB)	Yorulma Dayanımı (50.10 ⁶) ± N/mm ²
GK - AlCu5Si3	İşlenmemiş	130 - 170 (110)	170 - 220 (150)	0,2 - 2 (0,2)	80 - 110 (75)	—
GK - AlCu4Ti ta	Kısmen serleştirilmiş	180 - 220 (170)	320 - 390 (250)	7 - 13 (4)	85 - 110 (80)	9 - 10
GK - AlCu4Ti wa	Isıl işlemle sertleştirilmiş	220 - 270 (200)	330 - 400 (260)	4 - 9 (3)	95 - 110 (90)	9 - 10
GK - AlCu4TiMg ka	Soğuk İşlenmiş	190 - 250 (180)	320 - 400 (250)	8 - 18 (4)	95 - 110 (85)	9 - 10
GK - AlCu4Ti wa	Isıl işlemle sertleştirilmiş	230 - 350 (220)	320 - 420 (260)	3 - 8 (2)	100 - 120 (95)	9 - 10

Çizelge 2.16' da mekanik özellikleri verilmiş olan alaşımların kullanım yerleri ise şunlar olmaktadır.

GK - AlCu5Si3 : Normal genlikli yük altında ve darbeye maruz kalmayacak çalışma koşullarında dizayn edilecek her türlü parçanın, döküm yolu ile üretilerek kullanıldığı alaşımlardır. Özellikle talaşlı işleme çok yatkındırlar.

GK - AlCu4Ti : Bu alaşımlar yüksek mukavemete sahiptirler. Sertleştirilebilir olan bu alaşımların döküm kabiliyeti çok iyidir. Dinamik ve statik yükler altında çalışacak olan parçaların imal edilmesine olanak tanır.

GK - AlCu4TiMg : GK - AlCu4Ti alaşımları gibi, yüksek mukavemete ve yüksek sertlik değerlerine sahiptirler.

2.5 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri

2.5.1 Alüminyuma uygulanan ısı işlemler

2.5.1.1 Yeniden kristalleşme (rekristalizasyon) tavlaması

Alüminyum, çok iyi soğuk şekillendirilebilme kabiliyetine sahip bir metal olup, soğuk şekillendirme işlemi uygulandıktan sonraki mukavemet değeri, başlangıçtaki mukavemet değerine göre iki kat arttırılabilir. *Toparlanma tavlaması*, yani yeni kristal oluşumu gerçekleşmeden dayanım değerinin azaltılması için yapılan tavlama, saflık derecesi % 99,99 olan çok saf alüminyumda, yaklaşık olarak, 120 °C ile 230 °C, saflık derecesi ilkinde oranla biraz daha düşük olan saf alüminyumda ise, 170 °C ile 250 °C arasında uygulanır. Alüminyumun saflık derecesi ne kadar yüksek ise, uygulama sıcaklığı da o kadar düşük olmaktadır. Yukarıda verilen sıcaklık sınırlarının üst değerlerine yakın sıcaklıklarda, çok uzun tavlama süreleri (örneğin; 10 ile 20 saat arasında) uygulanırsa, *yeniden kristalleşme (rekristalizasyon)* gerçekleşir. Ancak, normal olarak; *rekristalizasyon tavlaması* yaklaşık olarak 300 °C ile 380 °C arasında yapılır. Burada da, alüminyumun saflık derecesi

yükseldikçe, daha düşük sıcaklık değerleri seçilir. Bu tavlama ile, en düşük dayanım değerlerine ulaşıldığı için, bu işlem, *yumuşak tavlama* olarak tanımlanır.

Düşük şekillendirme derecesi ve yüksek tavlama sıcaklığı, tavlama işleminde *tane irileşmesi* olayına sebebiyet vermektedir. Alüminyumda kritik şekil değiştirme derecesi, % 10'un altındadır. Fakat, % 10 şekil değiştirme derecesinin özellikle çok uzun tavlama sürelerinde de çok fazla tane irileşmesi görülebilir. Rekristalizasyon başlangıç sıcaklığı sahasına yavaş ısıtma da, % 10'un hemen üzerindeki şekil değiştirmeler de iri tane oluşturabilir.

Soğuk şekillendirme öncesinde, başlangıç yapısının tane büyüklüğü de oldukça önemlidir. Bu nedenlerden dolayı, şekil değiştirme derecesinin en az, % 20 olması gerekmektedir. Eğer, rekristalizasyon tavlaması ile çok ince taneli yapı elde edilmek isteniyorsa, bu durumda, şekil değiştirme derecesinin % 50'den yüksek olması zorunludur.

2.5.1.2 Çözme tavlaması

Çok yüksek kimyasal dayanıma ulaşmak istenen saf alüminyumda da *çözme tavlaması* uygulanır. Başta silisyum olmak üzere, kimyasal dayanımı kötüleştiren empüritelerin uygun bir homojenlikte katı çözelti içerisinde, çözülmesi ve dağıtılması amaçlanır. Bu çözme tavlaması, 450 ,C ile 550 °C sıcaklık değerleri arasında uygulanır. Sıcaklığın yüksek olması sebebiyle, bu esnada en yüksek yumuşama değerlerine de ulaşılmış olur.

2.5.1.3 Sıcak şekillendirme için tavlama

Tavlama işlemi, yaklaşık olarak 400 °C' de yapılmaktadır. En düşük şekillendirme sıcaklığının, rekristalizasyon bandının üzerinde (ısıtmada rekristalizasyonun başlangıcı) olması zorunludur. Empüritelerin çok fazla miktarlarda olduğu saf metallerde (örneğin; Al % 99,5 saflıkta), bu sıcaklık yaklaşık olarak 300 °C' dır (Topbaş, 1993).

2.5.2 Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıt işlemler

2.5.2.1 Homojenizasyon

Homojenizasyon veya *homojenleştirme*, sıcak veya soğuk olarak şekillendirmeye tabi tutulacak döküm parçalarındaki *segregasyonu* azaltmak veya yok etmek amacıyla, uzun periyotlar için yüksek sıcaklıklarda uygulanan bir ısıt işlemdir.

Homojenleştirme işlemi için süre; alaşımın tipine, parçanın şekline ve önceden uygulanmış olan homojenleştirme işlemine bağlı olmaktadır.

2.5.2.2 Tavlama

Dövülmüş metalin tavllanması, metali yeniden kristalleşme sıcaklığına, eğer gerekli ise; tane büyümesini sağlayan yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılmasıyla yapılır.

Tavlama, birinci derecede metal sıcaklığı ve zamanın bir fonksiyonudur. ($\alpha + \beta$) fazına sahip alaşımlar ile çökelme sertleşmesi gösteren bazı alaşımlar dışında, ısıtma ve soğutma hızının tavlama için izafi bir önemi yoktur. Bununla birlikte tavlama için, fırın dizaynı ve atmosferi ile, çalışma parçasının şekli önem taşımaktadır (Smith, 1993).

Birbiri ardına yapılan tavlamlar ile, tane büyüklüğü, istenilen son boyuta gelinceye kadar, kademeli olarak azaltılmalıdır. Bu duruma, son tavlamadan önce yapılan bir, iki tavlama ile ulaşılır.

2.5.2.3 Gerilim giderme

Yeniden kristalleşme sıcaklığının altında üniform olmayan plastik şekil değiştirme boyunca iç gerilime sahip olan bazı alüminyum alaşımlarında, gerilmeli korozyon çatlaması

gerçekleşmektedir. Bütün alüminyum alaşımları, gerilmeli şartlarda, hızla korozyona uğramaya karşı hassastırlar.

Kısa süre uygulanan yüksek gerilme giderme tavlama sıcaklığı, arzu edilen mekanik özellikleri çok az değiştirmesine karşı, uzun süre uygulanan düşük sıcaklık, gerilme giderme ve mekanik özellikler için, en ideal şartları oluşturur. Optimum şartlar uygulandığında, sertlik ve mukavemet değerlerinde azalma meydana gelmez. Genellikle fazla miktarda soğuk şekil değiştirmeye tabi tutulmuş alaşımlarda sertlik ve mukavemet, düşük gerilim giderme sıcaklığı kullanıldığında, az miktarda artar.

Soğuk şekil değiştirmiş parçaların boyutsal tamlığın sağlanması amacıyla bazen, ilave gerilme giderme işlemi kullanılır. Bu işlem, genellikle kaynaklı veya soğuk şekil değiştirmiş parçalardaki gerilmelerin giderilmesi için uygulanır.

2.5.2.4 Çözündürme ısı işlemi

Alüminyum alaşımlarına uygulanan bu ısı işlemin amacı, alüminyumun ana yapısı içindeki sertleştirici eriyen bileşiklerin (Örneğin; $MgAl$, Mg_2Si , $CuAl_2$), en üst düzeydeki konsantrasyonunu elde etmektir. Bu elementlerin eriyebilirlikleri, özellikle ötektik erime noktasının hemen altında olmak üzere, sıcaklıklar çok belirgin bir şekilde artmaktadır. İdeal çözündürme sıcaklığı, ötektik erime sıcaklığına çok yakın olacaktır. Bu sıcaklığa ulaşmada kritik sorunlar vardır. Eğer ötektik sıcaklık aşılsa, tane sınırlarında erime oluşur. Alaşım kırılgan yapıya sahip olur ve mekanik dayanım düşer. Bazı alaşımlama bileşenlerinin ilave edilmesi ile, katılaşma özelliklerinin değişmesi yüzünden, bileşim ötektik sıcaklığın altında eriyebilir. Bu bileşenlerin karmaşık ötektik oluşturabilmesi yüzünden, mekanik özelliklerde de olumsuz etkiler oluşur (Güneş, 1987).

Çözündürme işlemi için gereken süre; dökümün veya malzemenin kalınlığına, alaşıma ve dökümün katılaşma hızına bağlıdır. Bu faktörler, çökelen fazların boyut ve dağılımını belirler. Ağır ve yavaş soğuyan kesitlerde, kaba bileşenler ve büyük hücre boyutları gözlenir. Yayınma yavaş olduğu için, yeterli çözünme zamanı tanınmalıdır. Hızlı soğuyan ve ince

kesitlerde ise bileşenler daha ince yapıya sahip olmaktadır. Bu yüzden, daha az çözünme süresine gerek duyarlar. Genel olarak, kum kalıba dökülerek imal edilmiş alüminyum alaşımlarında, çözündürme zamanı alaşıma bağlı bir şekilde, 12 saat tavsiye edilmektedir. Çözündürme işleminde, döküm parçasının şekli ve büyüklüğünden kaynaklanacak ısı değişimleri hesaba alınmalıdır. Dökümlerin çözündürme işlemleri, özel tedbirler almayı gerektirir.

Alüminyum alaşımlarındaki çözündürme ısı işlemi, dökümle elde edilen alaşım yapısına çok önemli etki etmektedir. Düşük katılaşma hızları, yolluk ve besleyici gibi bazı döküme has konstrüktif dizayn detayları, alaşımda üniform olmayan yapı elde edilmesine etki etmektedir. Bütün alüminyum alaşımları kalıpta, mikro segregasyona maruz kalırlar.

Çözündürme işlemiyle, erime ve yayınma yolu ile, segregasyona uğramış bileşikler, hemen hemen homojen bir katı çözelti oluşturacak bir şekilde, yeniden dağıtırlar. Çözündürme ısı işleminin etkinliği, metalografik çalışmalarla doğrulanabilir. Etkin bir çözündürme ısı işlemi sonucunda eriyen bileşikler ($MgAl$, Mg_2Si , $CuAl_2$) açığa çıkar.

2.5.2.5 Su verme işlemleri

Çözündürme işleminden sonra, genellikle kaynayan suya daldırılarak, dökümlere su verilir. Isıl işlem zincirinde su verme, önemli bir adımdır ve etkin bir su verme işlemi ile, yüksek sıcaklıkta oluşan katı çözelti oluşumları, oda sıcaklığında aynı şekilde kalır. Çözündürme ısı işlemi esnasında oluşan katı çözelti, aniden soğuyarak aşırı doymuş katı çözeltiyi oluşturur. Su verme işleminde kritik faktörler, su verme aralığı ve su verme ortamıdır. Su verme aralığı, fırın kapaklarının açılıp yükün daldırılmasına kadar geçen zaman olup, mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır. 10 - 12 saniyelik süreler arzu edilen su verme aralığıdır. Su verici, hızlı soğuma sağlamak için, yeterli hacim ve ısı kapasitesine sahip olmalıdır. Hızlı su verme işlemi sonucunda, çözündürme işleminin kalıcı olması sağlanacak ve çökelme sertleşmesinin daha etkin yapılabilmesine olanak verecektir. Su verme hızını sınırlayan nedenler; döküm parçalarındaki “*distorsiyon*” ve “*kalıcı gerilmeler*” dir.

Su verme işleminde suyun sıcaklığı, genellikle kaynama noktası civarındadır. Eş olmayan soğuma eğrilmiş veya çatlamış dökümlere sebep olmaktadır.

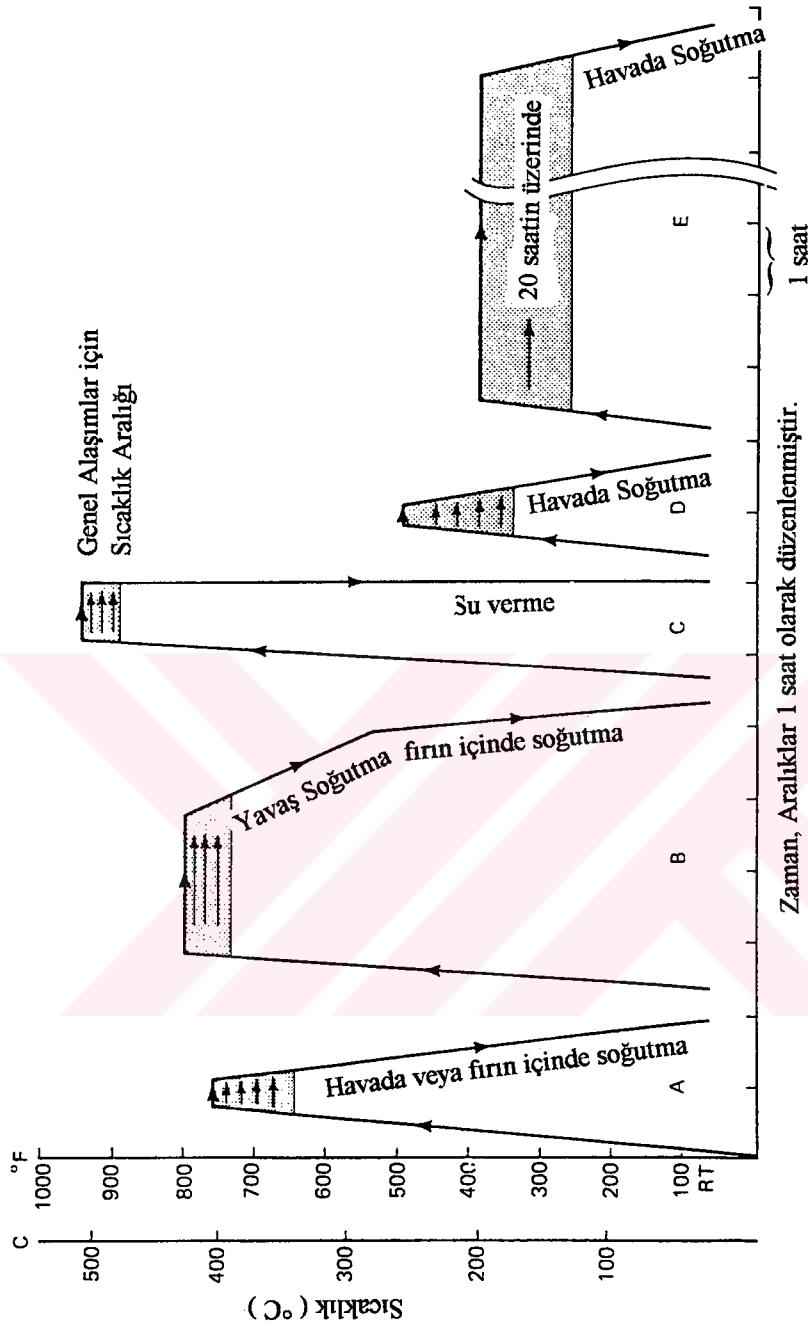
Su verme işleminden sonra oluşan distorsiyonlar, genellikle boyutsal stabiliteyi bozmaktadır. Dayanımı artırma işlemlerinde, kırılmalardan sakınmak için, dayanımı artırma işlemi mümkün olduğu kadar su verme işleminin hemen ardından yapılmalıdır. Bu işlem 24 saat içinde bitirilmelidir.

2.5.2.6 Çökelme sertleşmesi

Çözündürme işlemi, süneklik özelliğini arttırırken, alüminyum alaşımının dayanım özelliğini de arttırmaktadır. Maksimum seviyede mekanik dayanımı geliştirmek için bir yaşlanma işlemi uygulanır. Çözündürme işlemi uygulanmış bir alaşıma oda sıcaklığında su verme işlemi uygulanırsa, alaşım katı çözeltiye doymuş olmaktadır. İkili alaşımlarda uygulanan bu işlem, 2.5.3 kısmında “Al - Cu alaşımlarında çökelme sertleşmesi” başlığı altında daha detaylı olarak ele alınacaktır. Alüminyum alaşımlarına uygulanabilen ısıt işlemleri, tek bir diyagram üzerinde, Şekil 2.11’de görebilmemiz mümkündür.

Şekil 2.11’ de verilen ısıt işlem çevrimlerini şu şekilde açıklamak mümkün olmaktadır;

- A : Soğuk işlem görmüş malzemenin tavlama,
- B : Isıt işlem görmüş yumuşak alaşımların tavlama,
- C : Çözündürme ısıt işlemi,
- D : Gerilim Giderme,
- E : Suni çökelme sertleşmesi (yaşlanma).



Şekil 2.11 Alüminyum alaşımlarının ısı işlemlerinin çevrimleri (Budinski, 1989)

Alüminyum alaşımlarında uygulanan ısı işlem türleri, “Hafif metal ve alaşımlarına uygulanan temper işlemlerinin kısa gösterilişi” adı altında TS 1321’ de standartlaştırılmıştır. Bu standartta verilen gösterilişler ve özet olarak anlamları Çizelge 2.18, Çizelge 2.19 ve Çizelge 2.20’ de verilmektedir.

Çizelge 2.18 TS 1321’e göre, hafif metal alaşımlarına uygulanan ısı işlemlerin gösterilişi
(Topbaş, 1993).

M	İmal edildiği şekilde
F	İşlendiği şekilde
O	Yumuşak tavllanmış
H	Soğuk biçimlendirme ile sertleşmiş
Not	H harfinden sonra daima, temel işlem tipini belirten bir rakam ve soğuk şekillendirmenin son durumunu gösteren ikinci bir harf kullanılır.

Çizelge 2.19 TS 1321’e göre, hafif metal alaşımlarına uygulanan ısı işlemlerin gösterilişi
(Topbaş, 1993).

Temel İşlem Tipleri	
H1	Soğuk biçimlendirme ile sertleştirilmiş
H2	Soğuk biçimlendirme ile sertleştirilmiş ve kısmi tavllanmış
H3	Soğuk biçimlendirme ile sertleştirilmiş ve stabilize edilmiş

Çizelge 2.20 TS 1321'e göre, hafif metal alaşımlarına uygulanan ısıt işlemlerin gösterilişi
(Topbaş, 1993).

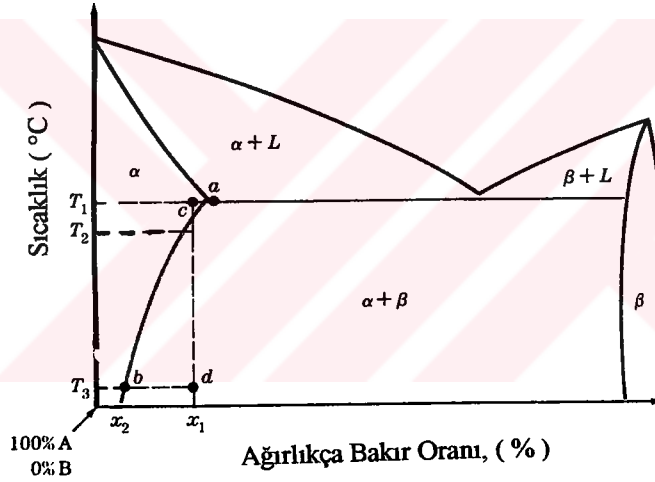
T	M, F, O ve H' dan başka ısıt işlem görmüş (T harfinden sonra daima, işlemlerin belirli sırasını gösteren ikinci bir harf kullanılır.)
TA	Yüksek sıcaklıkta biçimlendirmeden sonra, soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış
TB	Katı çözülme ısıt işlemi uygulanmış ve doğal yaşlandırılmış
TC	Yüksek sıcaklıkta biçimlendirmeden sonra, soğutulmuş, soğuk biçimlendirilmiş, doğal yaşlandırılmış
TD	Katı çözülme ısıt işlemi uygulanmış, soğuk biçimlendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
TE	Yüksek sıcaklıkta biçimlendirmeden sonra, soğutulmuş ve katı çözülme işlemi uygulanmış
TF	Katı çözülme ısıt işlemi ve katı çözülme işlemi uygulanmış
TG	Yüksek sıcaklıkta biçimlendirmeden sonra, soğutulmuş, soğuk biçimlendirilmiş ve katı çözülme işlemi görmüş.
TH	Katı çözülme işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve katı çözülme işlemi uygulanmış
TL	Katı çözülme ve katı çözülme işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş
TM	Çözülme işlemi uygulanmış ve stabilize edilmiştir.

2.5.3 Alüminyum - Bakır alaşımlarında çökelme sertleşmesi (yaşılandırma)

2.5.3.1 İkili alaşımların çökelme sertleşmesi

Çökelme sertleşmesinin asıl amacı, şekil değiştirebilme kabiliyetine sahip metalin ana yapısı içindeki çökelebilecek parçacıkların, sıcak bir ortamda, ısıtılarak uygulayarak yoğun bir şekilde dağılmalarının temin edilmesidir (Smith, 1993). Çökelen parçacıklar, dislokasyona engel olmakta ve bu yüzden, ısıtılarak görmüş olan alaşım sertleşmektedir.

Çökelme sertleşmesi işleminin yapıldığını, Şekil 2.12’de verilmiş olan A ve B metallerinin ikili faz diyagramını referans alarak, açıklamak mümkün olacaktır.



Şekil 2.12 A ve B metalinin ikili faz diyagramı (Smith, 1993).

Bir alaşımda, çökelme sertleşmesi işleminin tam olarak yapılabilmesi için, sıcaklık değerinin azalmasına bağlı olarak, katı çözünürlüğünün de azalması gerçekleşmelidir. Şekil 2.13’te α katı çözeltisinin, a noktasından b noktasına doğru çizilen katılaşma eğrisi boyunca azalması örnek olarak gösterilmektedir.

Şekil 2.12'deki faz diyagramında, alaşımın, x_1 noktasındaki bileşimini dikkate alarak, çökelme sertleşmesini incelemek gerekmektedir. Faz diyagramında bulunan alaşımın x_1 noktasındaki bileşimi, sıcaklığın, T_2 noktasından T_3 noktasına düşmesine karşılık, α katı çözeltisinin çözünürlüğünün de azaldığı gözlemlenmektedir. Çökelme sertleşmesi işlemi, birbirini takip eden üç temel kısımda gerçekleşmektedir.

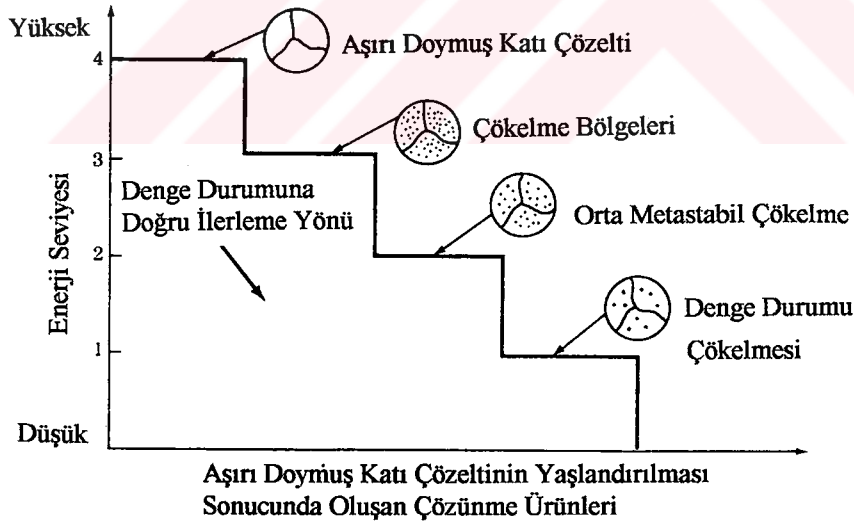
1. *Çözündürme ısıtma işlemi*, çökelme sertleşmesi işleminin ilk basamağıdır. Bazen bu işlem, *çözme* ismi ile de tanımlanır. İşlenmiş veya döküm halinde bulunan alaşım, solvus ve solidus sıcaklıkları arasındaki bir sıcaklık değerinde uniform katı çözelti yapısı oluşuncaya kadar ısıtılarak bekletilir. Şekil 2.12'de c noktasındaki T_1 sıcaklığı, x_1 noktasındaki alaşımın bileşiminin sıcaklığıdır. Çünkü, bu nokta, α katı çözeltisinin solvus ve solidus faz sınırlarının ortala noktasında yer almaktadır.
2. *Su verme işlemi*, çökelme sertleşmesi işlemindeki ikinci adımdır. Çökelme sertleşmesi uygulanacak olan numune, düşük sıcaklıkta hızlı soğumaya bırakılmıştır. Soğutma ortamı, genellikle oda sıcaklığındaki su olmaktadır. Su verme işlemi uygulanmış alaşımın yapısı, *aşırı doymuş katı çözelti* halini almaktadır. Su verme işleminden sonra, x_1 bileşimindeki alaşımın sıcaklığı Şekil 2.12'de verilen faz diyagramında d noktasına karşılık gelen T_3 sıcaklığıdır.
3. *Yaşlandırma*, çökelme sertleşmesindeki üçüncü adımdır. Çözündürme ısıtma işlemi ve su verme işlemi uygulanmış olan alaşıma yaşlandırma işlemi uygulamak gereklidir. Bu, işlemle iyi bir çökelme sağlanmaktadır. Çökelen parçacıkların, iyi bir şekilde ve düzende dağılımı, çökelme işleminin temel amacıdır. Dislokasyon kuvveti karşısında oluşan deformasyon esnasında, çökelen parçacıklar, dislokasyon hareketlerine engel olmaktadır. Deformasyon esnasında kısıtlanan dislokasyon hareketleri neticesinde, alaşım sertleştirilmiş olur.

Oda sıcaklığında yapılan bu yaşlandırma işlemine *doğal yaşlandırma*, yükseltilmiş sıcaklıklarda yapılan yaşlandırma işlemine ise, *yapay (suni) yaşlandırma* işlemi ismi verilir. Bir çok alaşım, suni yaşlandırma işlemi ile sertleştirilir. Yaşlandırma sıcaklığı, genellikle, çözündürme ısıtma işlemi sıcaklığı ile oda sıcaklığı arasındaki farkın % 15'i ile % 25'i oranında olmaktadır.

Sertleşme olayı, çökeltme sertleşmesi olayının son basamağı olan yaşlandırma işleminde, normal oda sıcaklığında bir kaç gün ile bir hafta arasında , yüksek sıcaklıkta ise 12 - 24 saat arasında bekletilmek suretiyle gerçekleşmektedir. Yaşlandırma işlemi esnasında, aşırı doymuş katı çözelti olan α fazında çözümler oluşur. Bu durumda, sıcaklık değerine ve yaşlandırma süresine bağlı olarak, bakır atomları ana yapı kafesi içinde düzensiz bir şekilde yerleşirler. Doğal yaşlandırma sıcaklığı olan 20°C ve suni yaşlandırma sıcaklığı olan 100 - 150 °C sıcaklık değerlerinde, bakır atomları, sadece α katı çözeltisinin kristal kafesi ile birlikte, çok küçük miktarlarda yer değiştirir (Lakhtin, 1977).

2.5.3.2 Aşırı doymuş katı çözeltinin yaşlanmasından dolayı oluşan çözümler ürünleri

Çökeltme sertleşmesi işlemi ile sertleştirilebilen alaşımın aşırı doymuş katı çözelti halindeki konumu, Şekil 2.13'te verilmiş olan ve şematik olarak 4 enerji seviyesi bulunan diyagramda en yüksek enerji seviyesine sahip olduğu gösterilmektedir.



Şekil 2.13 Sertleştirilebilir alüminyum alaşımının çözümler ürünleri ve enerji seviyeleri
(Smith, 1993).

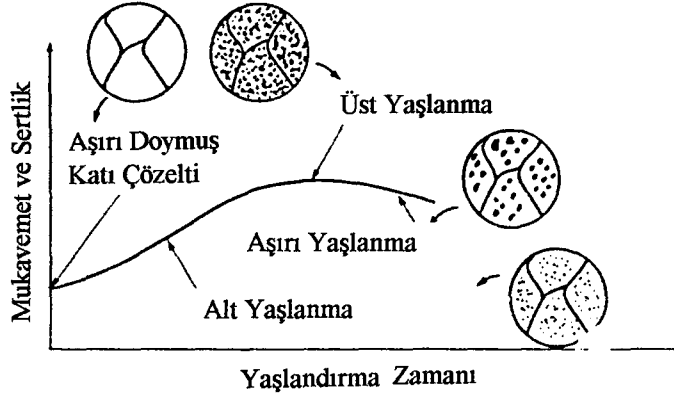
Bu diyagramda, çözülme ürünlerinin, sahip oldukları enerji seviyelerine bağlı olarak yapılarının değişimleri gösterilmektedir. En yüksek enerji seviyesinde, aşırı doymuş katı çözelti halinde iken, en düşük enerji seviyesinde ise, denge durumuna geldiği görülmektedir.

Düşük sıcaklıkta yaşlandırılan ve çökelme sertleşmesi işlemi uygulanarak sertleştirilen alaşımın aşırı doymuş katı çözelti halindeki konumunda, sadece küçük bir miktarda, aktivasyon enerjisi bulunmaktadır. Segregasyona uğramış atomlardan oluşmuş kümeler, *çökelme bölgeleri* veya *GP bölgeleri* olarak isimlendirilir. İki boyutlu olan bu oluşum, 1938 yılında, Fransa'da A.Guinier ve İngiltere'de M.A.Preston tarafından aynı zamanda keşfedildiği için bu isimle anılmaktadır. Guinier - Preston bölgeleri, X ışını kırınım analizi yönteminde gözlemlenebilir (Smith, 1993). Şekil 2.13'teki A - B ikili alaşımına ait diyagramı referans aldığımız zaman, A atomları bulunan ana yapı içinde B atomları zenginleşecektir.

Süper doymuş katı çözelti içindeki bu bölgelerin oluşumu, Şekil 2.13'te 3 numaralı enerji seviyesinde, dairesel şema içinde gösterilmektedir. Yaşlandırma işleminin daha uzun sürede yapılması ve yaşlandırma sıcaklığı etkisi ile oluşan yeterli aktivasyon enerjisinin bulunması sebebiyle, bu bölgeler büyüyecek veya orta derecede metastabil bir çökelme gerçekleşecektir. Bu durum Şekil 2.14'te, 2 numaralı enerji seviyesine denk gelen seviyede görülmektedir. Sonuç olarak, yaşlandırma süresi daha da uzun tutulacak ve yüksek sıcaklık şartı sağlanacak olursa ve eğer yeterli seviyede aktivasyon enerjisi varsa, orta metastabil çökelme yerini, Şekil 2.13'teki 1 numaralı enerji seviyesine denk gelen seviyede dengelenmiş çökelmeye bırakacaktır.

Çözündürme ısı işlemi ve su verme işlemi uygulandıktan sonra çökelme ile sertleştirilecek olan alaşımın sertliğine, yaşlandırma işleminin etkisi bir diyagram yardımıyla anlatılabilmektedir. Bu diyagram, şekil 2.14'te verilmektedir.

Bu yaşlandırma eğrisi, belirli sıcaklıklarda, alaşımın yaşlandırma zamanına bağlı olarak, sertlik veya mukavemetinin değişimini göstermektedir. Bu eğri genel olarak logaritmik skala kullanılarak çizilmektedir.



Şekil 2.14 Belli sıcaklıkta yaşlandırma zamanı - mukavemet eğrisi (Smith, 1993)

Başlangıçta, aşırı doymuş katı çözeltinin mukavemeti, belli bir değer gösterdiği için, X ordinatı üzerinde belirlenmiştir. Yaşlandırma zamanının artışına bağlı olarak, çökeltme bölgelerinin şekilleri ve boyutları da artma gösterir. Buna bağlı olarak da alaşımın mukavemeti, sertliği artar ve şekil değiştirme kabiliyeti azalır.

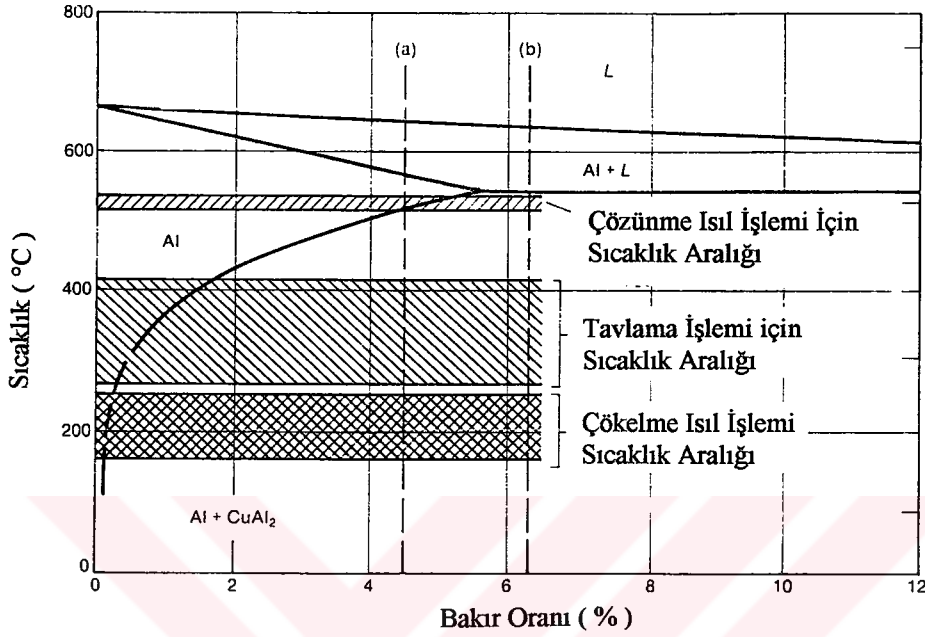
Eğer, yaşlandırma sıcaklığı yeterli derecede yüksek ise, maksimum mukavemet değeri elde edilir. Yaşlandırma işlemine hala devam edilirse, yapı kabalaşır. Aşırı yaşlandırılmış alaşımlarda ise mukavemet değerinde zayıflama gözlenir.

2.5.3.3. Al - %4 Cu alaşımının çökeltme sertleşmesi

Bu alaşımın, çökeltme sertleşmesi işlemi için yapılan yöntemleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

1. Çözme (çözüldürme) ısı işlemi : Al - %4 Cu alaşımının ısı işlemi Şekil 2.15' te verilmiş olan Al - Cu denge diyagramı referans alınarak yaklaşık olarak 515 °C sıcaklıkta yapılmıştır.

2. Su verme : Çözündürme ısıl işlemi uygulanmış olan bu alaşım, oda sıcaklığındaki su içinde hızlı bir şekilde soğutulmuştur.
3. Yaşlandırma : Çözündürme ısıl işlemi ve su verme işlemleri uygulanmış olan bu alaşım, 130 - 190 °C sıcaklıkları arasında suni olarak yaşlandırılmıştır.



Şekil 2.15 Alüminyum - Bakır alaşımı denge diyagramı (Smith, 1993).

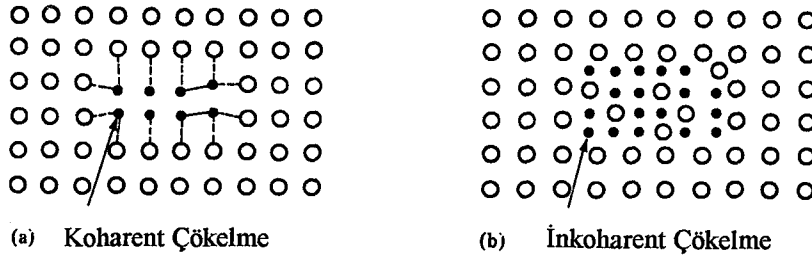
2.5.3.4 Al - %4 Cu alaşımının yaşlandırılması esnasında oluşan yapıların şekilleri

Bu alaşımın çökelme sertleşmesi işleminin yapılması esnasında, birbirini takip eden 5 tane yapı tanımlanabilmektedir. Bunlar; (1) Aşırı doymuş katı çözelti α , (2) GP1 bölgeleri, (3) GP2 bölgeleri (aynı zamanda θ'' fazı olarak ta adlandırılır), (4) θ' fazı ve (5) θ fazı, CuAl_2 olarak birbiri ardına oluşur.

2.5.3.4.1 GP1 bölgeleri

Bu çökelme bölgeleri düşük yaşlandırma sıcaklığında ve aşırı doymuş katı çözelti α içindeki bakır atomları tarafından oluşturulmaktadır. GP1 bölgeleri, çapları yaklaşık olarak 8 - 10 nm ve kalınlıkları yaklaşık olarak 0,4 ile 0,6 nm olan atomlar şeklinde segregasyona uğramış

bölümlerden oluşmaktadır. Ana yapının kübik düzleminde bulunurlar. Bakır atomlarının çapının, alüminyum atomlarının çapının % 11'inden daha azına ulaşmasından itibaren, ana yapı kafesi çevresinde, bu bölgeler tetragonal şekilde gerinime uğrarlar. GP1 bölgeleri, kafes içinde, bakır atomlarının alüminyum atomlarının yerine yerleşmesinden itibaren *koharent* olarak isimlendirilir. Bu durum Şekil 2.16 a'da görülmektedir. GP1 bölgeleri, elektron mikroskobu altında incelendiğinde gerinim alanlarının olduğu gözlenmektedir (Şekil 2.17 a).



Şekil 2.16 Koharent ve inkoharent çökelmelerin şematik karşılaştırılması (Smith, 1993).

2.5.3.4 GP2 bölgeleri (θ'' fazı)

Bu bölgeler aynı zamanda, hem tetragonal yapıya, hem de ana yapı içindeki koharent yapıya sahiptir. Yaşlandırma işlemi devam ederken, kalınlıkları 1 - 4 nm, çapları ise 10 -100 nm civarında olmaktadır (Şekil 2.17 b).

2.5.3.4.3 θ' fazı

Bu faz, özellikle dislokasyonların üzerinde, heterojen bir şekilde çekirdeklenmedir. Ana yapı ile inkoharent bir yapı oluşturmaktadır. Çökelmiş olan parçacıklar, ana yapıdan farklı olan ayrı bir kristal yapıya sahiptir. Bu yapı Şekil 2.16 b' de görülmektedir. θ' fazı, kalınlığı 10 nm'den 150 nm'ye kadar değişen tetragonal yapıya sahiptir (Şekil 2.17 c).

2.5.3.4.4 θ fazı

Dengelenmiş faz olan θ fazı, inkoharenttir ve CuAl_2 bileşimine sahiptir. Bu faz, BCT ($a = 0,607 \text{ nm}$, $c = 0,487 \text{ nm}$) yapısına sahip olup, θ' fazından veya direkt olarak ana yapıdan şekillenmiştir.

Alüminyum - Bakır alaşımlarının çökelme fazlarının sıralaması şu şekilde olmaktadır;

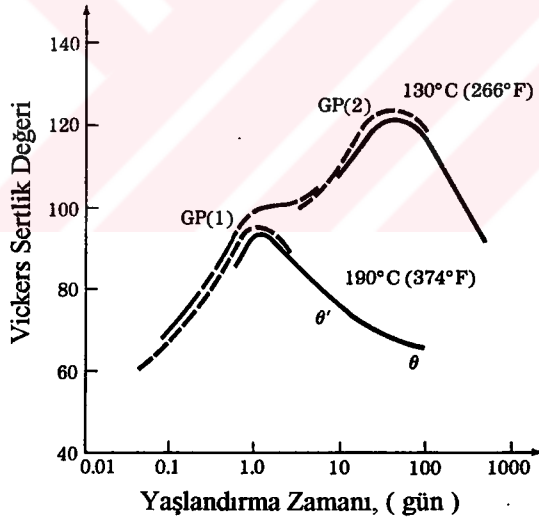
Aşırı doymuş katı çözelti $\rightarrow$ GP1 bölgeleri $\rightarrow$ GP2 bölgeleri (θ'' fazı) $\rightarrow$ θ' $\rightarrow$ θ (CuAl_2)



Şekil 2.17 Yaşlandırılmış Al - % 4 Cu alaşımının mikro yapıları (Smith, 1993).

2.5.3.4.5 Yapıların korelasyonu ve Al - % 4Cu alaşımının sertliği

130 °C ile 190 °C sıcaklık değerleri aralığında, yaşlandırma işlemi uygulanmış olan Al - % 4 Cu alaşımının, *yaşlanma zamanı - sertlik grafiği* Şekil 2.18’de verilmektedir. 130 °C sıcaklıkta, GP1 bölgeleri şekillenmektedir ve dislokasyon hareketlerinin engellenmesinden dolayı alaşımın sertlik değerinde artış gözlenmektedir. 130 °C sıcaklıkta yapılan ek yaşlandırma işlemi ile, GP2 bölgeleri oluşur. Bu aşamada da sertlik değeri hala artmaktadır. Sertliğin maksimum değeri, 130 °C’ de yapılan aşırı yaşlandırma sonucunda ulaşılan θ' fazında gerçekleşmektedir. Yaşlandırma işlemi esnasında verilen grafikte, sertlik değerinin pik yaptığı noktada taneler irileşir ve GP2 bölgeleri oluşur. θ' fazının oluşumu, sertlik değerinin azalmasına sebep olmaktadır. 190 °C sıcaklıkta, uzun yaşlandırma sürelerinde ise, dengelenmiş faz olan θ fazı elde edilir (Lakhtin, 1977).



Şekil 2.18 Al - % 4 Cu alaşımında yaşlanma zamanı - sertlik grafiği (Smith, 1993).

2.6 Alaşım Elementlerinin Alüminyum Alaşımlarının Özelliklerine Etkisi

Alüminyumun; hafiflik, iyi işlenebilme kabiliyeti, yüksek elektrik iletkenliği, korozyona karşı dayanım, manyetik olmayışı gibi bir çok özelliklerinin iyi olmasının yanı sıra, döküm kabiliyetinin ve mekanik özelliklerinin kötü oluşu, dizayn ve imalat mühendislerini, alüminyumun içine alaşım elementlerin katılması ile kullanılmasına yönüne sevk etmiştir. Yapılacak olan dizayn ve imalat, istenilen özelliklerde konstrüksiyona ve imalata uygun olabilecek alaşımların kullanılması için, alaşım elementlerinin alüminyum üzerindeki etkileri çok iyi bilinmelidir.

2.6.1 Bakır

İlk kez alüminyuma alaşımlama amacıyla ilave edilen element olan bakır, Al - Cu denge diyagramı referans alınarak, alüminyum içinde, % 3 ile % 12 oranları arasında bulunur. Alaşımdaki bakır miktarı arttıkça, alaşımın; akıcılık, çekme mukavemeti ve sertlik gibi fiziksel ve mekanik özelliklerinde artış görülmektedir. Ancak alaşım içindeki bakır oranının artması ile birlikte, korozyon dayanımı azalır ve ilave edilen bakır, işleme kabiliyetini olumsuz yönde etkiler.

Hadde alaşımlarına bakır, %3 - % 5 arasındaki oranlarda ilave edilir. İlave edilen bakır miktarının %5'i geçtiği durumlarda, haddeleme işlemi zorlaşır. Bu durumda, malzemenin elektrik iletkenliği ve korozyon dayanımı azalmaktadır. Döküm alaşımlarında bakırın ilave edilme oranı % 12'yi bulmaktadır.

2.6.2 Silisyum

Alüminyuma % 20 oranına kadar ilave edilebilir. Özellikle, bir miktar magnezyumda ilave edilmesi ile ısıtılabilir Al - Si alaşımları elde edilir. Bu alaşımların çekme mukavemetleri, 135 - 155 N / mm² arasında değişmektedir. Korozyon dayanımları, ısıtılabilir ve elektrik iletkenlik değerleri yüksek olup, genleşme değerleri düşüktür.

% 5 oranında Si içeren alaşımlar, ince kesitli ve karmaşık yapıya sahip olan parçaların imal edilmesinde kullanılmaktadır. Korozyon dayanımları yüksek fakat, işlenebilmeleri zordur. Döküm alaşımlarda % 12 oranına kadar ilave edilen Si, alaşımın akıcılığını ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanımını arttırmaktadır. % 13 oranında Si içeren alaşımların çoğu gevrek yapıya sahiptir. Bu gevrekliği önlemek için, alaşımdaki silisyumun küresel yapıya sahip ve yapı içinde düzenli olarak dağıtılmış olması gerekmektedir. Bu düzenlemeyi sağlamak için, dökümden önce alaşım malzemesine metalik sodyum ilave edilmektedir. Ancak, metalik sodyum, malzemenin tokluk değerini düşürme ve tane boyutunu küçültme gibi etkilere sahiptir.

2.6.3 Magnezyum

Alüminyum alaşımlarında, magnezyumun alaşımlama elementi olarak kullanılması, cüruf oluşumuna sebebiyet vermekte ve dolayısıyla döküm kabiliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Cüruflaşma problemini gidermek amacıyla, alaşımlara bir miktar da berilyum ilave edilmektedir. Özel dökümlerde, tekrar ergitme işlemi esnasında dikkatli olmak gerekmektedir. Çünkü, magnezyum içeren alüminyum alaşımları sürekli olarak oksitlenme ve Mg kaybetme eğilimindedir (10). Oluşan oksitlenmeyi gidermek amacı ile, sisteme klor (Cl_2) gazı verilir. % 8 oranında magnezyum içeren alüminyum alaşımlarının korozyon dayanımları yüksektir. Genellikle, alüminyum alaşımlarına magnezyum ilavesi, hem mukavemetin, hem de haddelenme kabiliyetinin artmasını sağladığı için, işleme kabiliyeti de artmaktadır.

2.6.4 Manganez

Alüminyum alaşımlarına manganez ilave edilmesi, tane küçültücü bir rol oynamakta ve alaşımın korozyon dayanımını azaltmadan, çekme mukavemetini arttırmaktadır.

Yapılan alaşımlamalarda manganezin, demir ile birleşmesine engel olmak gerekmektedir. Aksi taktirde, oluşan büyük tanecikler, alaşımın mukavemetini düşürür. Alaşımlarda, manganez ilave edilmesinin, ısıl işleme hiç bir etkisi olmamaktadır. Alüminyum - Manganez

alaşımları ısı işlem uygulanmayan alaşımlardandır. Manganez, alaşımın ergime noktasını yükseltir.

2.6.5 Çinko

Uygulamalarda, Alüminyum - Çinko alaşımlarına pek rastlanılmamaktadır. Hatta; çinko, bazı alüminyum alaşımlarında istenmeyen yabancı element olarak bulunmaktadır. Genellikle, diğer alaşımlama gruplarının özelliklerini iyileştirmek amacıyla ilave edilmektedir.

Alaşıma ilave edilen çinko oranının artması ile birlikte, alaşımın akıcılığı artmakta, dolayısıyla yüksek sıcaklık dayanımı azalmaktadır. Soğuma ve katılaşma esnasında büyük kendini çekmeler meydana gelir. Alaşımın dökümünde, iyi bir sonuç elde etmek amacıyla, dökümün hızlı olarak soğutulması ve kalıp dizaynında büyük çıkıcılar kullanılmaması gerekmektedir.

Çinko ilavesi ile, bütün alüminyum alaşımlarının haddelenebilme özelliği iyileşmektedir. Özellikle, magnezyum ile birlikte alaşımlama elementi olarak kullanılırsa, haddeleme kabiliyetini arttırdığı gibi, yüksek çekme ve darbe mukavemeti değerlerine ulaşılmasını da sağlar.

2.6.6 Titanyum

Alüminyum alaşımlarında tane küçültücü etki yapmaktadır. % 0,05 - % 0,2 oranları arasında ilave edilebilir. Basınçlı döküm alaşımlarına titanyum ilave edilmesi zararlı etki yapmaktadır. Çünkü, titanyum ilavesi ile, akıcılık özelliği kötüleşir. Bu durum ise, döküm esnasında problemlere sebebiyet verir. Zaten, basınçlı dökümlerde soğuma çok çabuk olacağından, küçük taneler kendiliğinden oluşur.

Titanyum, çekme mukavemeti ile işlenebilme özelliklerini iyileştirmektedir. Isı iletkenliğini azaltmaktadır. Endüstride, genellikle alaşımlamalarda bor ile birlikte kullanılmaktadır.

2.6.7 Demir

Alüminyum - Demir alaşımları pek kullanılmamaktadır. Demir, alüminyum alaşımlarında empürite olarak bulunup, oranı, % 0,15 ile % 1,2 arasında değişim göstermektedir. Demir, bazı alaşımlama uygulamalarında, mukavemeti ve yüksek sıcaklıklarda sertliği arttırmaktadır. Bazen de döküm esnasındaki kendini çekme etkilerini azaltmak için demir ilave edilmektedir.

Demirin bir başka özelliği de, tane küçültücü etkisinin olmasıdır. Bununla beraber, yüksek silisyumlu alaşımlarda, demir miktarının fazla oluşu, kaba kristalli ve gevrek bir yapı oluşmasına sebebiyet vermektedir.

2.6.8 Nikel

Alüminyum alaşımlarında fazla yüksek olmayan oranlarda nikel ilave edilmesi, tıpkı bakırın ilave edilmesinde olduğu gibi, dayanım ve sertlik değerlerini arttırmaktadır. Alaşıma, parlaklık ve yansıtıcılık vererek, yüzey kalitesini yükseltmektedir. Empürite olarak bulunan yüksek oranlı demirin oluşturacağı olumsuz etkileri dengelemektedir. Aynı bakırda olduğu gibi, korozyon dayanımını kötüleştirir. Genellikle yüksek sıcaklıklarda, yüksek dayanım ve sertlik istenen alaşımlara katılır. Korozyon dayanımındaki düşüş, dikkate alınmaz. Alaşımlara ilave edilecek nikelin oranı, % 0,5 ile % 3,0 arasında değişim göstermektedir.

2.6.9 Kalay

Alaşıma ilavesi, alüminyum ergidikten sonra kolaylıkla yapılabilir. Bakır ve nikel ile birlikte alaşımlama elementi olarak kullanıldığı zaman, çok dayanıklı alaşım meydana getirir. Alüminyum alaşımlarında kalay, hem düşük hem de yüksek sıcaklık değerlerinde dayanımı azaltmaktadır. Alaşıma ilave edilme miktarı, % 0,5 ile % 1,0 oranları arasında ise, gevrekliği artırır. Alüminyum katodik olduğundan, korozyon dayanımını olumsuz yönde etkiler. Kalayın, alüminyum içindeki çözünürlüğü çok düşüktür. Yatak alaşımı olarak kullanılan

alüminyum alaşımlarının en önemli bileşenlerinden birisi de, kalaydır. Genellikle, basınçlı döküm alaşımlarında kalaya rastlanmaz.

2.6.10 Kurşun

Özellikle, kalay ve bizmut ile birlikte kullanıldığında, alaşımın işlenebilme kabiliyetini artırır. Alaşıma % 0,5 oranından daha az miktarlarda ilave edilir. Alüminyum katodik olduğundan, alaşımın korozyon dayanımını düşürür. Alüminyum içindeki çözünürlüğü çok düşüktür.

2.6.11 Krom

Alüminyum alaşımlarında tane küçültücü rol oynamaktadır. Alaşımlama yapılırken, titanyum ile birlikte kullanılır. Al - Zn - Mg alaşımlarına, korozyon dayanımını arttırmak ve gerilme çatlamlarını azaltmak amacıyla ilave edilir. Kromun, alüminyum içindeki çözünürlüğü, çok düşüktür. Bu alaşımlarda, ikinci faz çökmesi görülmez. Bu nedenle alüminyum - krom alaşımlarına ısıtma işlemi uygulanmamaktadır. Yapıda oluşan bileşikler, yüksek sıcaklıklarda mukavemeti artırıp, malzemeyi korozyona karşı dayanıklı hale getirir. Krom da, magnezyum gibi, alaşımın ergime sıcaklığını yükseltir. Genellikle, alaşıma % 0,1 ile % 0,6 arasında ilave edilmektedir.

2.6.12 Bor

Genellikle, % 0,01 oranında ilave edilmektedir. Titanyum ile birlikte, iyi tane küçültücüdür. Bor kullanılmadığı zaman, titanyumun tane küçültme etkisi, tekrar ergime esnasında azalmaktadır. Titanyum gibi, borun da alaşımlama elementi olarak kullanılması, alaşımın çekme mukavemetinin artmasını sağlamaktadır.

2.6.13 Berilyum

Yüksek magnezyumlu döküm alaşımlarında (Mg oranı % 4'den fazla), cüruf oluşumunu azaltmak ve yeniden ergitme esnasında magnezyumun yanarak kaybolmasını önlemek için ilave edilmektedir.

2.7 Alüminyum Alaşımlarının Standartlarda Gösterilmesi

Diğer metal alaşımlarının sınıflandırılmasında olduğu gibi, alüminyum alaşımlarını da sınıflandıran standartların sayısı hayli fazladır. Bu standartların içinde en fazla kullanılan "*Alüminyum Birliği*"nin standardıdır. Bunun yanı sıra halen,

1. ALCOA (Aluminum Company of America)
2. ASTM (American Society for Testing Materials)
3. DIN 1713
4. Fransız Standardı
5. Reynolds standartları da kullanılmaktadır.

Yukarıda belirtilen standartların ortak özellikleri; alüminyum alaşımlarını, *Al esaslı döküm alüminyum alaşımları* ve *hadde alüminyum alaşımları* olmak üzere iki ana grup altında belirtmelerdir.

2.7.1 Alüminyum Birliğinin sınıflandırması ve standartlarda gösterimi

Yakın zaman kadar, alüminyum alaşımlarını belirtmek için, en çok kullanılan standart, ALCOA (Aluminum Company of America) standardı idi. Bu yöntem, 1954 yılında Alüminyum Birliği tarafından geliştirilmiş ve yeni bir standart gösterim ortaya konmuştur. Bu standart gösterim yönteminde, döküm ve haddeleme alüminyum alaşımları dört basamaklı bir sayı sistemi ile belirtilmektedir. Birinci basamak, ana alaşım elementini göstermektedir. İkinci basamak ise orijinal alaşımda yapılan bileşim değişikliğini veya alaşım içinde bulunan yabancı element sınırlarını belirtmektedir. Dört basamaklı tanıtım standardının ilk basamağının hangi alaşım gruplarını belirttiği Çizelge 2.21'de verilmektedir.

Çizelge 2.21 Alüminyum Birliği'nin standardına göre dört basamaklı tanıma (Budinski, 1987)

Standart Gösterimi	Alaşıım
1 X X X	Ticari saf alüminyum (min. % 99 Al ve daha fazla saflıkta)
2 X X X	Alüminyum - Bakır alaşıımı (Bakır ana alaşıım elementi)
3 X X X	Alüminyum - Manganez alaşıımı (Manganez ana alaşıım elementi)
4 X X X	Alüminyum - Silisyum alaşıımı (Silisyum ana alaşıım elementi)
5 X X X	Alüminyum - Magnezyum alaşıımı (Mg ana alaşıım elementi)
6 X X X	Alüminyum - Mg_2Si alaşıımı (Mg_2Si ana alaşıım elementi)
7 X X X	Alüminyum - Çinko alaşıımı (Çinko ana alaşıım elementi)
8 X X X	Alüminyum - Diğer elementler alaşıımı
9 X X X	Kullanılmayan seri

Bu sınıflandırma sistemine göre, dört basamaklı tanıma sayısını takip eden H simgesi ve yanındaki 1,2 ve 3 sayıları ise, soğuk işlemenin derecelerini belirtmektedir. Bu sembollerin tanımlamaları Çizelge 2.22’te verilmiştir.

Çizelge 2.22 Soğuk işleme dereceleri (Budinski, 1989)

X X X X - H1	Soğuk işleme sadece sertleştirilmiş
X X X X - H2	Soğuk işleme sertleştirilmiş ve kısmi tavllanmış
X X X X - H3	Soğuk işleme sertleştirilmiş ve düşük sıcaklıkta ısıtılma işlemiyle stabilize edilmiş

H1, H2 ve H3 işlemlerinin sembollerini takip eden rakamlar ise Çizelge 2.23’te verilmiş olan tanımları sembolize etmektedir.

Çizelge 2.23 Soğuk işleme sertleştirme miktarları (Budinski, 1989)

X X X X - H_2	Çeyrek sertleştirilmiş
X X X X - H_4	Yarım sertleştirilmiş
X X X X - H_6	3 / 4 sertleştirilmiş
X X X X - H_8	Tam sertleştirilmiş

1,2 ve 3 rakamlarından sonra gelen T harfi uygulanan ısıt işlemleri, T harfinden sonraki numaralar ise, ısıt işlem çeşitlerini ifade etmektedir. Uygulanan ısıt işlem çeşitlerini Çizelge 2.24'te görebiliriz.

Çizelge 2.24 Uygulanan ısıt işlemler (Budinski, 1989)

X X X X - T1	Sıcak işleme sıcaklığından soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış
X X X X - T2	Tavlanmış (Sadece döküm ürünleri için)
X X X X - T3	Çözündürme ısıt işlemi uygulanmış ve soğuk işlenmiş
X X X X - T4	Çözündürme ısıt işlemi uygulanmış ve doğal yaşlandırılmış
X X X X - T5	Sıcak işlemde soğutulmuş ve fırında yaşlandırılmış
X X X X - T6	Çözündürme ısıt işlemi uygulanmış ve fırında yaşlandırılmış
X X X X - T7	Çözündürme ısıt işlemi uygulanmış ve stabilize edilmiş
X X X X - T8	Çözündürme ısıt işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve fırında yaşlandırılmış
X X X X - T9	Çözündürme ısıt işlemi uygulanmış, fırında yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş
X X X X - T10	Yüksek sıcaklıktan soğutulmuş, suni yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş
X X X X - T51	Germe işlemi ile gerilim giderme uygulanmış
X X X X - T510	İlave işlem yapmadan germe işlemi ile gerilim giderme uygulanmış
X X X X - T511	Germe işlemi ile gerilim giderme işlemi yapılmış ve düz hale getirilmiştir.
X X X X - T52	Sıkıştırma işlemi ile gerilim giderme işlemi yapılmıştır.
X X X X - T54	germe ve sıkıştırma işlemleri ile gerilim giderme işlemi yapılmıştır.
X X X X - T42	F veya O temper işleminden çözeltiye alınmış ve doğal yaşlandırılmış
X X X X - T62	F veya O temper işleminden çözeltiye alınmış ve suni yaşlandırılmış
X X X X F	Üretildiği gibidir, özel kontrole tabi tutulmamıştır
X X X X O	Tavlama işlemi uygulanmış (Sadece haddeleme alaşımları için)

Bu sistemde, ikinci basamak 1 ile 9 arasında bir rakamla belirtilir. Bu rakam, empürite limitlerinde yapılan değişiklikleri göstermektedir. Bu basamağın sıfır (0) olması, bize empüritelerin özel yöntemlerle kontrol edilmediklerini ifade eder.

Örnek olarak, 1075 alaşımı denildiği zaman;

- a) Minimum alüminyum miktarının % 99,75 olduğu,
- b) Empüriteler için özel bir kontrol yapılmadığı, ifade edilmektedir.

1175, 1275 ve 1375 alaşımları, aynı yüzde oranında alüminyum içermesine rağmen, empüritelerin, ayrı ayrı kontrol altında bulunması gerektiği ifade edilmektedir.

2XXX - 8XXX serileri alaşımlarda, son iki basamağın özel bir anlamı bulunmamaktadır. Sadece, gurup içindeki farklı alüminyum alaşımlarını tanıtmaya yaramaktadır. Bu iki basamak ALCOA standart sisteminde de alaşımları tanıtmak için kullanılırdı. Örneğin, önceleri ALCOA standart sisteminde (50 S) ve (51 S) sembolleri ile gösterilen alaşımlar Alüminyum Birliği'nin standart gösterimlerine göre, 6050 ve 6051 olarak gösterilmektedir.

ALCOA standart gösterim sisteminde harfler, alaşım elementlerini belirlemek için kullanılmaktaydı. Alüminyum Birliği'nin standart gösteriminde ise, alaşımın içerdiği değişiklikler yine harfler ile belirlendi. Bu durum Çizelge 2.25'da örneklerle gösterilmiştir.

Çizelge 2.25 ALCOA ve Alüminyum Birliği standartlarına örnekler (Ecemiş, 1995).

ALCOA Standardı	Alüminyum Birliği Standardı
17 S	2017
A 17 S	2117
18 S	2018
B 18 S	2218

Deneysel alaşımlar da, dört basamaklı sistemle belirlenirler. Fakat, gurup dizisinin başına, bir harf veya x gibi bir ön ek getirilir. Alaşım, deneysel olmaktan çıkınca, bu ön ek kaldırılır.

2.7.2 ALCOA standardı

Alüminyum Birliği, alüminyum döküm alaşımlarının tanıtılmasında, ALCOA standart gösterim sistemini olduğu gibi kabul etmiştir. Her bir alaşım, 1, 2, 3 şeklinde sayılarla tanıtılır. Mevcut bir alaşımın değişmesi ile oluşmuş yeni alaşımlar eski sayısı ve bir harf ön eki ile tanıtılmaktadır. Kolayca görüleceği üzere, ALCOA standart sistemi, Alüminyum Birliği standart sisteminin çekirdeğini oluşturmaktadır.

2.7.3 ASTM standardı

Bu sistemde, malzemede bulunan alaşım elementleri, en çok iki harf ile belirtilmektedir. Bu sistemde alaşımın gösteriliş biçimi, elementlerin alaşım içinde bulundukları artan yüzde sıralamasına göredir. Bu sıralamada, küsuratlı yüzde miktarlarına sahip elementler, tamsayılara çevrilerek gösterilmiştir. En son harf, alaşım farklılıklarını göstermek içindir. Aksi taktirde, bütün alaşımlar, aynı şekilde gösterilirdi. Sembolize etmede, ana metalin ismi önde gelmektedir. Ana metalin gösterim sembolleri Çizelge 2.26'da verilmektedir.

Çizelge 2.26 ASTM standardında ana metalin gösterim sembolleri (Ecemiş, 1995).

A	Al	F	Fe	N	Ni	T	Sn
B	Bi	G	Mg	P	Pb	V	As
C	Cu	J	P	Q	Aq	W	S
D	Cd	L	Be	R	Cr	Y	Sb
E	Ce	M	Mn	S	Si	Z	Zn

Örnek olarak; ASTM ZG 42 alaşımını ele alalım. Bu alaşım Alüminyum Birliği'nin standardına göre 7075 alaşımını ifade etmektedir. Esas alaşım elementi çinko olup, aynı zamanda magnezyum da içermektedir. Saf, yani alaşımlama yapılmamış alüminyumunu ifade etmek için, metal harfinden sonra, ondalık rakamlar kullanılmaktadır.

2.7.4 Reynolds standardı

Reynolds, dünyanın hadde alüminyum alaşımı üreten ve önde gelen firmalarından birisidir. Ticari alanda, yer edinmiş bir standart gösterim geliştirmiştir. Bu sistemde, temel alaşım elementi, sınıflandırmaya ve standart gösterime esas teşkil etmektedir. Reynolds Standart gösterimi Çizelge 2.27’de verilmektedir.

Çizelge 2.27 Reynolds standart gösterimi (Ecemiş, 1995).

Alaşım	Ana Alaşım Elementi
99,5	Yüksek saflıkta alüminyum
2 S	Ticari saflıkta alüminyum
3 S - 9 S	Manganez
10 S - 29 S	Bakır
30 S - 49 S	Silisyum
50 S - 69 S	Magnezyum
70 S - 79 S	Çinko

Not : Baştaki S ön eki, alaşımın haddeleme alaşımı olduğunu ifade etmektedir.

2.7.5 Fransız standardı

Alaşımlarda, her element, kimyasal sembolü ile gösterilmektedir. Bu gösterim, Çizelge 2.28’de verilmiştir.

Alaşımın kimyasal bileşimi, rakam ve harflerden oluşan iki grupla gösterilmiştir.

- a) Birinci grupta ana metali gösteren harf bulunmaktadır.
- b) İkinci grup ise, ilave edilen elementleri temsil eden harfleri içermektedir. Her harf, ilave edilen alaşım elementini, yanında bulunan sayı da yüzde miktarını göstermektedir. Kesirli değerler, tam sayı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.28 Fransız standardı (Ecemiş, 1995).

A	Alüminyum	Be	Berilyum
B	Bor	C	Krom
Cd	Kadmiyum	Ce	Sezyum
E	Kalay	R	Antimuan
Fe	Demir	S	Silisyum
G	Magnezyum	T	Titanyum
K	Kobalt	U	Bakır
M	Manganez	V	Vanadyum
N	Nikel	W	Tungsten
Pb	Kurşun	Zr	Zirkonyum

Diğer alaşım elementlerinin sembolleri, mevcut elementlerin miktarı, % 1’den daha az ise, genellikle rakamsız gösterilir. Daha az önemli alaşım elementleri gösterimde ihmal edilmektedir. Örnek olarak; A - U 4 G sembolü,

% 4 Cu, % 0,7 Mg, % 0,5 Si, % 0,5 Mn, % 94,0 Al

içeren alüminyum - bakır alaşımlarından olan “*düralümin*”i tanımlamaktadır.

Mevcut bir alaşımın ikinci kez dökülmesi ile oluşmuş yeni alaşımları ayırt etmek için sembollerin önüne 2 rakamı konmaktadır. Örnek olarak; A - S 13, “*Alpax*” birinci döküm alaşımını göstermektedir. 2 A - S 13 standardı ile verilen alaşım yine aynı alaşımdır. Ancak, ikinci kez dökülerek artıkları ayrılmıştır.

Alaşımsız alüminyumun Fransız standardındaki gösterimi, A 57 - 101 olmaktadır. Bu standarda göre, beş kalite ticari, alaşımsız alüminyum ve müsaade edilebilen empürite miktarları Çizelge 2.29’ da verilmiştir.

Çizelge 2.29 Fransız standardında, alüminyumun saflık değerleri (Ecemiş, 1994).

Alaşım	Saflık
A 9	% 99,99
A 8	% 99,98
A 7	% 99,97
A 6	% 99,95
A 4	% 99,00

Bir Fransız standardında, alüminyum alaşımlarının üretim şekilleri ve teslim şartları belirtilmiştir. Örnek olarak;

1 . A - S 10 G Y 23 standardı ile verilen alaşım, kum kalıba dökölmüş ve ıslah edilmiş, % 10 silisyum, % 0,25 magnezyum, % 89,76 alüminyum içeren alaşımı ifade etmektedir.

2 . A - U 4 G X 546 standardı ile verilen alaşım, soğuk haddelenmiş, su verilmiş, yaşlandırılmış ve işlenmiş duralümin alüminyum alaşımını ifade etmektedir.

3. KOROZYON

Tüm metaller, korozyon yoluyla doğaya dönmek isterler. Korozyon kelimesi Latince “*corrodere*” kelimesinden gelmektedir ki; anlamı, aşındırmak, kemirmek olarak tercüme edilebilmektedir. Korozyon terimi, bir zaman periyodunun geçmesi ile, oksidasyon da dahil olmak üzere metale etki edecek bir çok işlemlerin tanımlanmasında kullanılmaktadır (Tüzmen vd., 1986).

En genel anlamı ile korozyon, malzemenin ortam ile ilişkisi sonucu fiziksel, kimyasal veya mekanik özelliklerinde istenmeyen değişikliklerin oluşmasıdır. Korozyon, bir başka deyiş ile, metal ve alaşımlarının içinde bulunduğu ortam nedeniyle kimyasal ve elektro kimyasal etkiler ile dıştan içe doğru aşınması olaylarını kapsar (Topbaş, 1993).

Bir çok insan korozyonun, paslanma olayı anlamına geldiğini sanmaktadır. Pas, korozyon olayı sonucunda oluşan korozyon ürünlerinden kaynaklanmaktadır (Budinski, 1989).

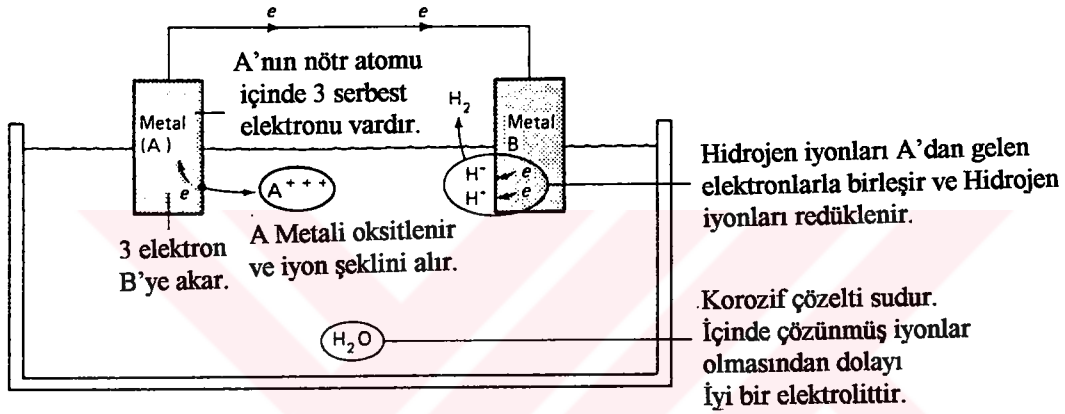
Korozyon nedeniyle, metalik malzemelerin mukavemetlerinde, sünekliklerinde, elektrik ve termal iletkenliklerinde, parlaklık, renk, yansıma ve kırılma özelliklerinde değişiklikler oluşur.

3.1 Korozyon Mekanizmaları

Metalik malzemelerin korozyon oluşumunu sağlayan reaksiyonun cinsine göre iki korozyon mekanizması vardır. 1 . Elektrokimyasal Korozyon, 2 . Kimyasal Korozyon. Elektrokimyasal korozyon, elektrik yükü ayırımı gerektirmektedir. Bu tür korozyon düzeni elektrolitle, anot ve katot adı verilen iki elektrottan oluşmaktadır. Kimyasal korozyonun da elektrokimyasal korozyon mekanizması ile oluştuğu bilinmektedir. Kimyasal korozyon, metalik malzemelerin gazlarla reaksiyonu olarak tanımlanabilir (Yavuz, 1978).

3.1.1 Elektrokimyasal korozyon

Metallerin korozyonu, genellikle doğadaki elektrokimyasal olaylardır. Metalin çözünmesi, şekerin sudaki çözünmesi olayına benzememektedir. Aslında, metal atomlarının oksidasyona uğraması ve iyonlar şekline dönmesidir. Elektronlar, her hangi bir indirgenme reaksiyonunda, anottan katoda doğru akmaktadırlar. Elektrokimyasal olaylarda, *oksidasyon*, elektronların yitirilmesidir. Oksidasyon anotta, indirgenme ise katotda meydana gelmektedir. Elektrokimyasal korozyonun oluşum mekanizması Şekil 3.1’de verilmektedir.

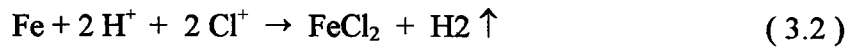
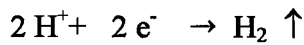
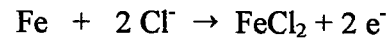


Şekil 3.1 Metallerin elektrokimyasal korozyonu (Budinski, 1989).

Örnek olarak; çelik, hidroklorik asit içinde (3.1) bağıntısına göre korozyona uğramaktadır.



Bununla birlikte, (3.1) bağıntısı ile verilen kimyasal reaksiyon, oluşan iyonları ve elektron akışı ile gösterilirse;



şeklinde olmaktadır.

Demir atomları, çözelti içinde iyon haline dönüşür. İki elektron kaybeden demir iyonları, çözelti içinde klor iyonları ile birleşir. Her klor iyonunun ekstra bir elektronu vardır. Böylece, demir iyonları, iki klor atomu ile birleşecek ve demir klorür oluşacaktır. Çözelti içine iyon şeklinde geçen demir elektronları katoda doğru akacak ve asit içinde hidrojen iyonlarının indirgenmesine izin verecektir. Böylece iki atomlu hidrojen gazı oluşacaktır.

Demirin paslanma işlemi de aynı mekanizma ile (3.3) bağıntısı ile gerçekleşmektedir. Sadece, reaksiyon türü ve korozyon ürünleri bakımından fark bulunmaktadır.



Bu tepkimenin sonucunda oluşan paslanma ürünü demir (3) hidroksittir. Parça, sudan çıkarıldığında, korozyon ürünü demir (3) hidroksitten, bildiğimiz kırmızı pasa dönüşmektedir. Bu ürün ise, aşağıda verilmiş olan (3.4) bağıntısı ile oluşmaktadır.

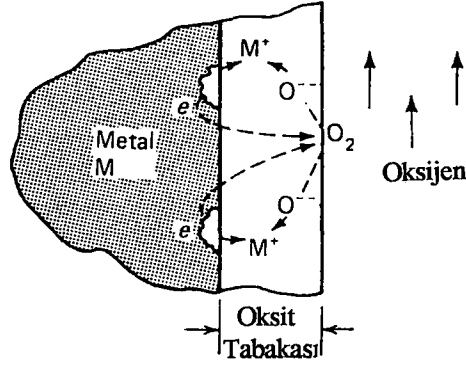


Elektrolit, elektrik iletkenliği sağlayan sıvıdır. Elektrolitler, iyonların göç etmesini temin ederler. Su, çok iyi bir elektrolittir. Çünkü, genellikle mineral iyonlarını, hidrojen iyonlarını ve hidroksil iyonlarını bulundurmaktadır. Eğer, bu iyonlar suyun içinden alınacak olursa; elektron hareketi gerçekleşemez ve kimyasal korozyon olayı meydana gelemez.

3.1.2 Kimyasal korozyon

Korozyon ürünü olarak ortaya çıkan ve metal yüzeyini örten oksit tabakası, iyonik ve elektronik iletkenliğe sahip elektrolittir. Metal - oksit tabakası ara yüzeyi anot, oksit - gaz ara yüzeyi ise katottur. Şekil 3.2’de verilen sistemde oluşmaktadır. Metalden oluşan katyonlarla, çevreden oluşan anyonlar oksit içinde zıt yönde yayılırlar ve birleştikleri yerde reaksiyona girerler. Kimyasal korozyonda yüksek elektronik direnç bulunmasına karşılık,

elektrokimyasal korozyonda elektronik direnç ihmal edilebilecek seviyede çok düşük olmaktadır.



Şekil 3.2 Kimyasal korozyon mekanizması (Budinski, 1989)

Yüksek sıcaklıkta kullanılmış olan bir çok metal zamanla kötü hale gelmektedir. Oksit tabakası, metal iyonlarını, metal yüzeyinden iletir. Metal iyonları, oksit tabakası - oksijen ara yüzeyinde üretilen oksijen anyonları ile birleşir.

Kimyasal ve elektrokimyasal korozyon, Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi karşılaştırmalı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kimyasal elektrokimyasal korozyonun karşılaştırması (Yavuz, 1978).

	KATOT	ANOT	ELEKTROLİT
Kimyasal Korozyon	Oksit - Çevre ara yüzeyi	Metal - Oksit ara yüzeyi	Oksit tabakası (İyonik, elektronik iletkenlik)
Elektrokimyasal Korozyon	Elektrokimyasal daha soy metal	Elektrokimyasal daha aktif metal	Sulu çözelti (Yalnız iyonik iletkenlik)

Kimyasal korozyon, metalik malzemelerin gazlar içindeki oksitlenmesidir. Yüksek sıcaklıktaki gazların etkisi kimyasal korozyonun kapsamına girmekle beraber bazen *gaz korozyonu* olarak tanımlanır. Elektrokimyasal korozyon ise, metallerin sıvı ortamlar içindeki korozyonu olarak adlandırılır (Yavuz, 1978).

3.2 Korozyona Etki Eden Faktörler

Korozyona etki eden faktörler, öncelikle korozyona karşı alınacak önlemlerin temelini oluşturduğundan, ayrı ayrı incelenmektedir. Söz konusu olan faktörler aşağıda detaylı şekillerde açıklanmaktadır.

3.2.1 Malzemeye bağlı özellikler

Korozif ortamda bulunan malzemenin ortam içindeki tutumuna etki eden faktörler ve malzemenin metalurjik özellikleri bu konunun temelini oluşturmaktadır.

3.2.1.1 Redoks tepkime potansiyelinin kullanımı

Redoks potansiyel gerilimi ölçülecek olan metal standart bir pil ile bağlanır ve ölçümü yapılır. Ölçülen bu değerin aşağıda verilen bağıntı ile matematiksel hesaplaması yapılarak o metale ait korozyon eğilimi önceden kestirilebilmektedir.

$$\Delta G = - n.F.E \quad (3.5)$$

Bu denklemde;

ΔG : Serbest enerji (coulomb.mV)

n : Reaksiyon içinde karışmış olan iyonların sayısı,

F : Faraday Sabiti ($F = 96,501$ coulomb),

E : Pil veya redoks potansiyeli, olmaktadır.

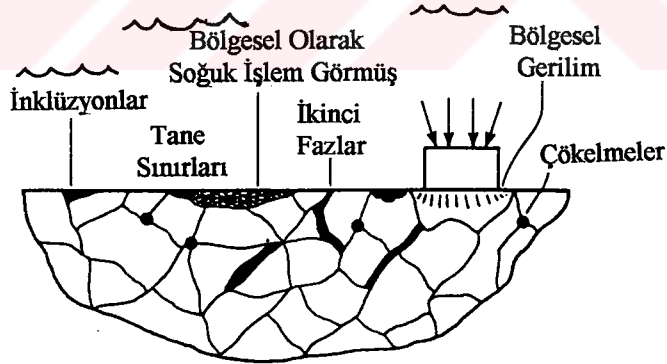
Eğer, hesaplanan matematiksel sonuç negatif çıkıyorsa, bu işlem planlanmadan meydana gelecektir. Eğer çıkan değer, pozitif ise, reaksiyon gerçekleşmeyecektir.

3.2.1.2 Metalurjik faktörler

Saf metallerde, anot alanları genellikle tane sınırlarındadır. Alaşımlarda ve empüritelere sahip metallerde, korozyona etki eden sebepler; kimyasal segregasyon (mikro kompozisyon farklılıkları, dokuda birden fazla fazın bir arada bulunması, artırılmayan elemanlar, plastik deformasyon ve gerilme yığılmaları) olarak sıralanabilmektedir.

Bunlar ve bunlara benzer diğer metalurjik etkenler anodik alanların oluşumuna neden olmaktadır. Örnek olarak; metallerin içindeki inklüzyonlar metal ise, galvanik korozyon oluşumu gerçekleştirebilir.

Korozyonu arttırıcı olarak etki edecek metalurjik faktörler Şekil 3.3'te verilmektedir.



Şekil 3.3 Korozyona etki edebilecek faktörler (Budinski, 1989).

3.2.2 Çevresel faktörler

Çevresel faktörlerin diğer bir tanımı da “malzeme-ortam ilişkisi”dir. Ortam, sistemin içinde bulunduğu koşullar olup doğanın kimyası ve çalışma koşulları alt başlıkları altında ele alınmaktadır.

3.2.2.1 Doğanın kimyası

Metaller, seramikler ve seramiklerin farklı tipleri, çevre ile farklı reaksiyonlara girmektedirler. Böylece, çevresel etkileri; asitler (oksitleyici ve indirgeyici), mayalar, tuzlar (asidik, nötral, alkalin), gazlar ve solventler olacak şekilde sınıflandırmak mümkün olmaktadır.

Bazı malzemeler, oksitleyici çevresel etkilere benzemektedir. Bazıları indirgeme, bazıları ise alkalin etkisi yapmaktadır. Her zaman, yeni yapılacak bir dizaynda çevresel etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Bazı gazlar oksitleyici etki, bazıları ise indirgeme etkisi yapmaktadır. Asitler için de aynı şeyler söylenebilir. Çizelge 3.2’de çeşitli metallerin oksitlenme ve indirgenme ortamları görülmektedir.

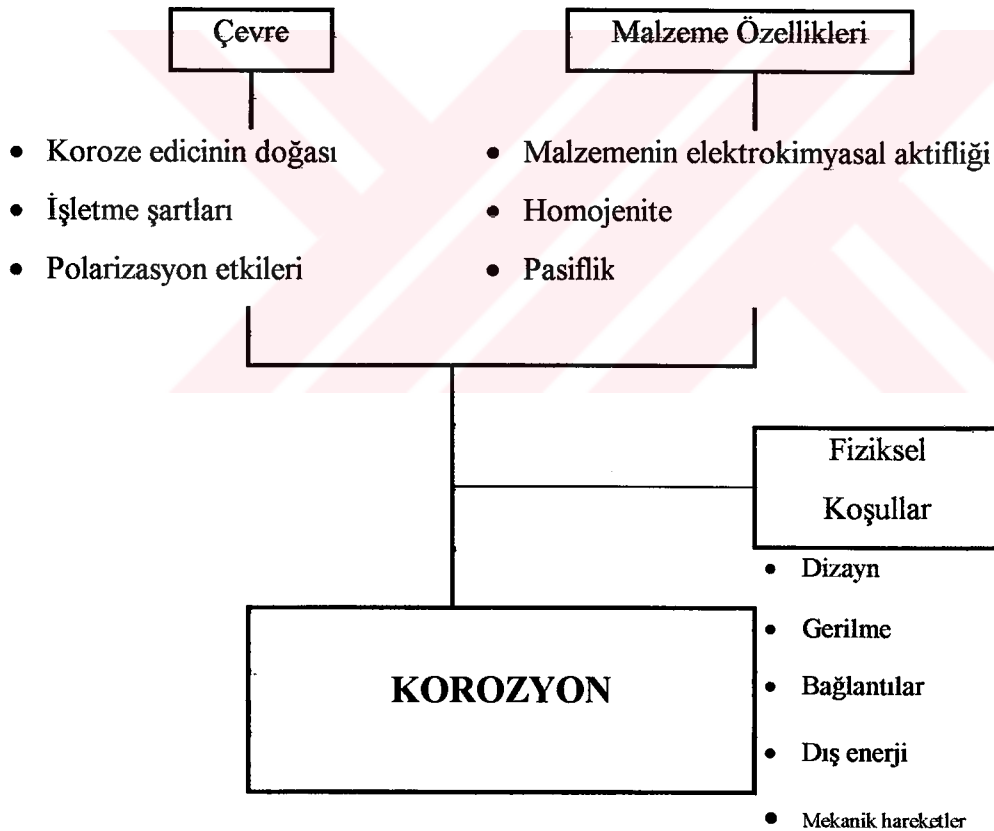
Çizelge 3.2 Çeşitli metallerin oksitleme ve indirgeme ortamları (Budinski, 1989).

	Oksitleme Ortamı	İndirgeme Ortamı
Artan Klorür Konsantrasyonu	Tantalum	Zirconium
		Hastelloy alloy B
	Titanium + 15-20%	Molybdenum + Palladium
	Titanium + 15-20%	Molybdenum
	Titanium + Palladium	
	Titanium	
	Hastelloy alloy C	
	Hastelloy alloy F	Monel
Klorür Olmayan Ortam	Zirconium	Hastelloy alloy C
	No. 20 Alloy	Monel
	Inconel	
	316 Paslanmaz Çelik	
	304 Paslanmaz Çelik	

3.2.2.2 Çalışma şartları

Malzeme seçiminde, öncelikle korozyonu en az düzeye indirecek koşullar belirlenmelidir. Bu koşullar; istenen çalışma ömrü, sıcaklık, hız, derişim, empüriteler ve havalandırma başlıkları altında verilmektedir.

Sıcaklığın artması ile birlikte, bir çok kimyasal reaksiyon oluşur ve reaksiyon hızı artar. Aynı düşünce, korozyon sistemleri için de geçerlidir. Metal yüzeyi üzerindeki koroze edici ortamın değişim hızı, korozyon hızına da etki etmektedir. Yüksek korozyon hızının mekanik hareketi pasif tabakayı yerinden kaldırabilir. Çözelti konsantrasyonu, çok önemli ve kuvvetli etkiye sahiptir. Eğer empüriteler, aşındırıcı parçacıklar halinde iseler, korozyon hızı artış gösterir. Korozyona etki eden faktörleri Şekil 3.4'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Korozyona etki eden faktörler (Yavuz, 1978).

3.3 Korozyon Türleri

Korozyon etkileri, malzemelerde çeşitli tiplerde kendini göstermektedir. Bu tiplere, basınç, sıcaklık ve atmosfer gibi faktörler de çeşitli şekillerde etki etmektedir (Topbaş, 1993).

Herhangi bir sistem içindeki korozyon tipinin belirlenmesi, o korozyonun önlenmesi ve korozyonun oluşturabileceği etkilerin azaltılması yönündeki çalışmalara ışık tutacaktır.

3.3.1 Üniform korozyon

Homojen dağılımlı korozyon olarak da bilinen bu korozyon türünde, koroze edici bir ortamda, tüm yüzeylerin *üniform saldırıya* maruz kalması söz konusudur. Şekil 3.5'te üniform korozyon oluşumu gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Üniform korozyon

En yaygın olarak görülen bu tipte, metal veya alaşım, yüzeysel olarak yaklaşık olarak aynı kalınlıkta bir aşınmaya uğrar. Uzun süreler için hesaplanan korozyon hızlarının her yerde aynı olduğu kabul edilir.

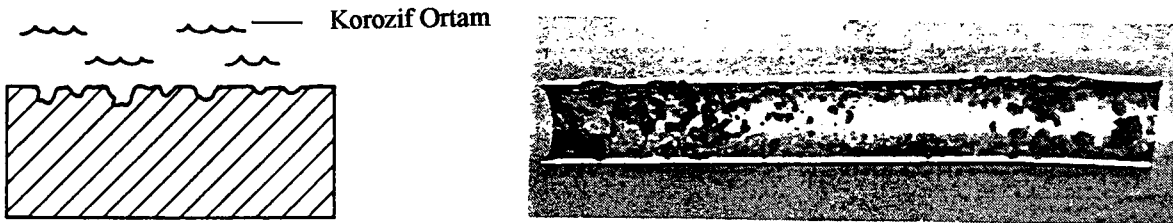
Metaller, direkt saldırıya maruz kaldıkları zaman, o anda, elektro kimyasal pil tepkimesi oluşturacak oksit veya benzer bir şekilde yüzey filmi bulunmamaktadır. Klor gazı, metallerde direkt saldırı oluşturmaktadır. Etki faktörleri özellikle su, havaya karışmış gazlar, tuzlar ve tozlardır.

Homojen dağılımlı korozyonun yol açtığı metal kaybı, diğer korozyon türlerine oranla çok yüksektir. Buna karşın en az korkulan korozyon türüdür. Çünkü, homojen dağılımlı korozyonun hızı basit laboratuvar deneyleri ile hesaplanabilir. Yüzey kaplamaları, katodik koruma ve ortama sınırlayıcı maddeler ilavesi gibi farklı koruma yöntemleri uygulanarak, homojen dağılımlı korozyon başarı ile kontrol edilebilir.

3.3.2 Çukurcuk korozyonu

Oyuklanma korozyonu olarak da bilinen bu korozyon türünde, çukurcuklar, çevrenin kimyasal doğası içinde ortaya çıkmaktadırlar. Halojen içeren çözeltiler, atık sular, tuzlu su ve çamaşır suyu gibi kimyasal ağartıcılar çukurcuk oluşumuna etki eden maddelerdir. Bir miktar malzeme kaybına sebep olabilecek tipte oluşan bir korozyon türüdür. Şekil 3.6’da borularda rastlanan çukurcuk korozyonunun şematik bir resmi bulunmaktadır.

Korozyon olayının çok dar bölgeler üzerinde yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan bozunma türlerinden biridir. Metal yüzeyinde oluşan çok sayıda çukurcuk, genellikle bir karıncalanma görünümü vermektedir. Çukurcukların çapı, derinliği ve sıklığı malzeme ve ortama bağlı olarak değişim göstermektedir. Metal kaybı çok az olmasına rağmen, parçalar, kısa zamanda delinerek kullanılmaz hale gelir. Kondenser borularında ve kimyasal madde taşıyan borularda bu tür korozyona çokça rastlanılmaktadır.

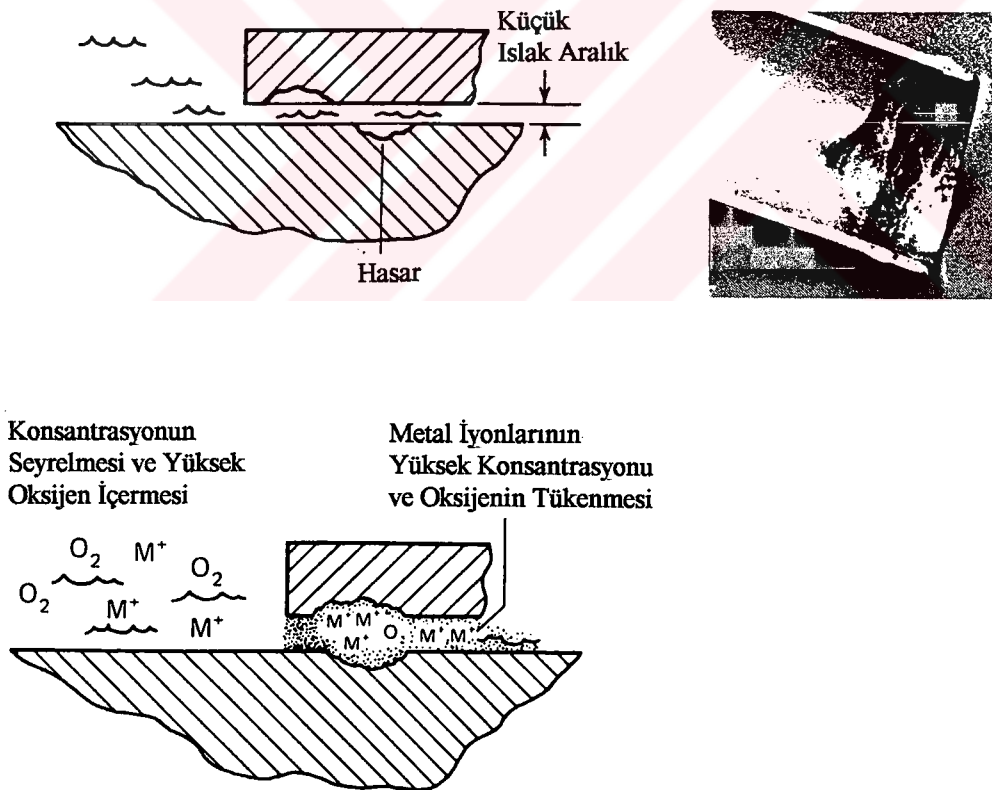


Şekil 3.6 Durgun su içindeki bakır borunun çukurcuk korozyonu (Budinski, 1989)

3.3.3 Aralık korozyonu

Korozyon olayının, belirli dar bölgeler üzerinde yoğunlaşması sonucunda ortaya çıkan bozunma türlerinden biridir. Dar bölge korozyonu olarak da bilinen bu tür korozyonun oluşabilmesinin ön koşulu; aralıkların, ortamın girmesine izin verecek kadar geniş ancak, gerekli tıkanıklığın sağlanabilmesi için de yeterli darlıkta olmasıdır (Akdoğan, 1987).

Şekil 3.7’de şematik olarak gösterilen *aralık korozyonu*, metal ile metal yüzeyi arası veya metal ile metal olmayan yüzey arasındaki çok küçük aralıkların veya boşlukların bölgesel olarak ataklara maruz kalarak korozyona uğraması şeklinde gerçekleşmektedir. Aralığın bir yüzeyi koroze edici ortam tarafından bozunmuştur veya koroze edici ortam tamamen aralık içine yerleşmiştir. Aralık korozyonu, genellikle sızdırmazlığı kötü ve zayıf olarak yapılmış olan boru flanşlarında, cıvata - somun bağlantılarında ve sıvı ortamlar içine çalışan bağlantılı tesisat ekipmanlarında görülmektedir.



Şekil 3.7 Kaynakla birleştirilmiş bir borudaki aralık korozyonu (Budinski, 1989).

Genellikle, aralığın içindeki durgun alanda oluşan korozyon ortamında sürekli olarak kimyasal değişimler meydana gelmektedir.

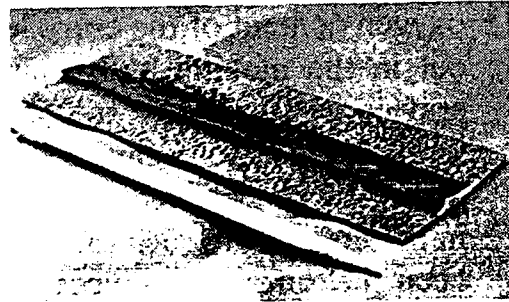
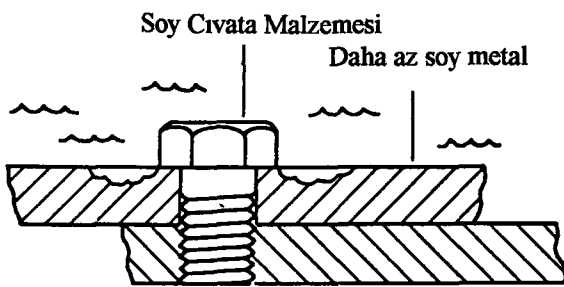
Çukurcuk korozyonunda olduğu gibi, aralık korozyonunda da bölgesel olarak zarara ve malzeme kaybına uğrayana kadar tahrip olayı olmaktadır. Paslanmaz çelikler, alüminyum ve alüminyum alaşımları, deniz suyu ortamında aralık korozyonundan çok çabuk etkilenirler.

Bu korozyonun önlenmesindeki en etkili yol, yapılacak konstrüksiyonlarda aralıkların en aza indirilmesi, eğer mümkün ise, aralıkların tamamen ortadan kaldırılması ve yalıtım yapılmasıdır.

3.3.4 Galvanik korozyon

Birbirleri ile temas halinde olan farklı türden metal ve alaşımlarının aynı ortama terk edilmesi halinde karşılaşılan korozyon olayıdır.

Eğer, birbirinden farklı iki metal bir elektrik iletkenliğe sahip elektrolit içinde birbirleri ile elektriksel bağlantıya benzer şekilde birleştirilirse, basit olarak bir elektrokimyasal pil devresi kurulmuş olmaktadır. Eğer, bu metaller birbirinden çok farklı ise, metallerden bir tanesi anot davranışı gösterecek ve galvanik pil olayı ile koroze edici ortam meydana gelecektir.



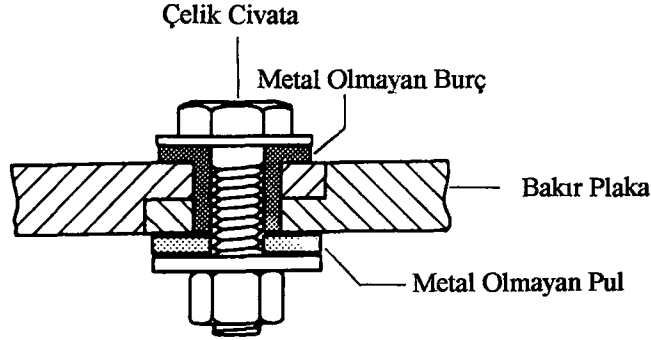
Şekil 3.8 Cıvatalı birleştirme tekniğinde galvanik korozyonun etkisi (Budinski, 1989).

Şekil 3.8, bu olayı şematize etmektedir. Çizelge 3.3'de ise, bazı metallerin deniz suyu içindeki galvanik serileri verilmektedir.

Çizelge 3.3 Bazı metallerin deniz suyu içindeki galvanik serileri (Yavuz, 1978)

↑	Magnezyum ve magnezyum alaşımları
	Çinko
	Alüminyum 7072
	Alüminyum 5456, 5086, 5052
Anodik	2117 Alüminyum perçin alaşımı
veya	Dökme demir
Aktif	%13 Kromlu Paslanmaz Çelik, tip 410
	50 - 50 Kurşun - Kalay Lehim teli
	18 - 8 3% Mo Paslanmaz çelik, tip 316
	Kurşun
	Kalay
	Deniz pirinci (60% bakır - 39% çinko)
	Alüminyum Bronzu
	Kırmızı Pirinç
	Bakır
Katodik	Silisyum Bronzu
veya	90% Cu - 10% Ni
Pasif	88% Cu - 3% Zn - 6,5% Sn - 1,5% Pb
	Nikel (pasif)
	78% Ni - 13,5% Cr - 6% Fe (İnkonel)
	70% Ni - 30% Cu
	18 - 8 Paslanmaz çelik (tip 304)
	Titanyum
	Grafit
↓	Altın

Şekil 3.9’da ise galvanik korozyonu önlemek için alınacak önemli tedbirlerden galvanik yalıtım gösterilmektedir.

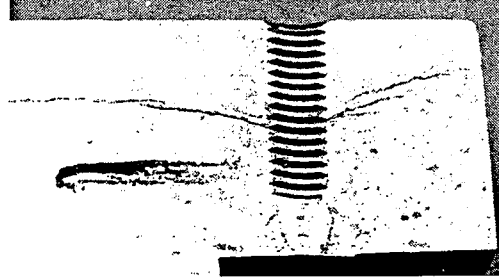
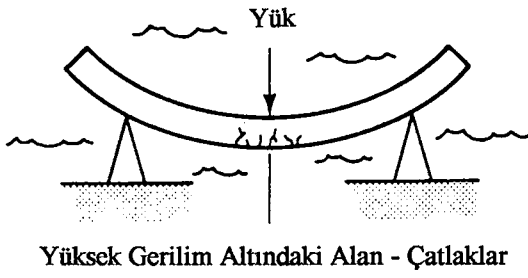


Şekil 3.9 Cıvata bağlantısının galvanik yalıtımı (Budinski, 1989)

3.3.5 Gerilmeli korozyon çatlaması

Diğer korozyon türlerinden farklı olarak, malzeme kaybına ve çok üst seviyede bozunmalara sebebiyet vermemesine rağmen, çatlamalara ve oluşmuş çatlakların zamanla ilerlemesine sebep olmaktadır.

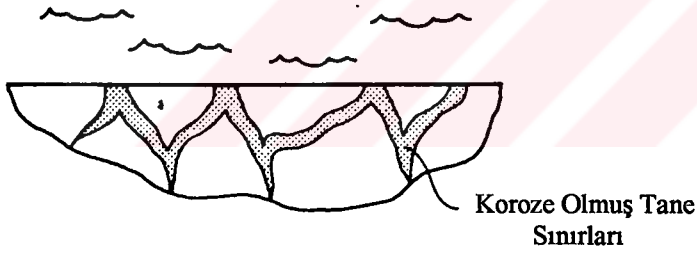
Korozif olarak saldırgan ortamlarla temas halinde olan makine parçaları ve metal yapıların çoğu, mekanik gerilmeler altında çalışmaktadır. Gerilmeli korozyon, aynı zamana rastlayan korozif ve mekanik etkenlerin yol açtığı bozunma türüdür. Birçok plastik, alüminyum alaşımları, bakır alaşımları, magnezyum alaşımları, karbonlu çelikler, paslanmaz çelikler, titanyum ve diğer metal alaşımlarında bu tür korozyona rastlanılmaktadır. Yüksek sıcaklığa sahip (50 - 60 °C) klor içeren çözelti depolamakta kullanılan paslanmaz çelikler, çatlak oluşumuna eğilimlidirler. Şekil 3.10’daki resimde basınç altında çalışan çelikte meydana gelen çatlak oluşumu görülmektedir.



Şekil 3.10 Paslanmaz çeliğin gerilmeli korozyon çatlaması (Budinski, 1989)

3.3.6 Tane sınırları korozyonu

Metallerin tane sınırlarında oluşan korozyon türüdür. Şekil 3.11’de oluşumu şematize halde verilmektedir.



Şekil 3.11 Paslanmaz çelikteki tane sınırları korozyonu etkisi (Budinski, 1989).

Tane sınırları korozyonunun en belirgin özelliği, çok küçük ağırlık kaybına karşılık, korozyon hızının tane sınırları yakınında çok yüksek değerlere ulaşabilmesidir. Bu koşul, parçaların kısa sürede tüm kesit alanı boyunca korozyona uğrayarak bozunmalarına yol açar.

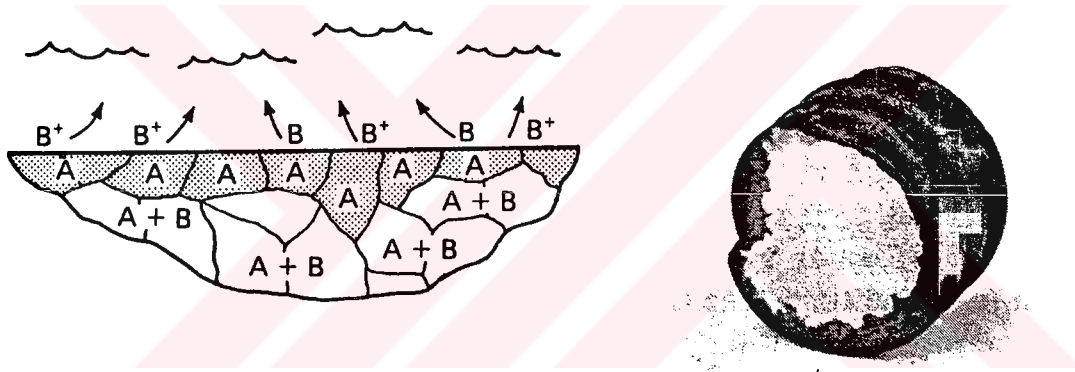
Paslanmaz çeliklerdeki tane sınırı korozyonuna sebep olabilecek olay kaynak işlemi olarak gösterilebilir. Füzyon kaynak işlemi yapıldığında, ergimiş olan metalin ulaşabileceği sıcaklık

değeri, 1650 °C olmaktadır. Tane sınırları korozyonu aynı zamanda bazı yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları ve bakır alaşımlarında da ortaya çıkmaktadır.

3.3.7 Seçici korozyon

Alaşımlarda belirli bir metal veya bir faz üzerinde yoğunlaşarak öncelikle çözünmelerini sonuçlandıran korozyon türüdür. Elektrokimyasal gerilim dizisinde birbirlerinden çok uzak metallerden oluşan alaşımlar seçici korozyona uğrarlar.

Alaşımlarda, belirli bir metal veya faz öncelikle çözünerek, korozyonun olduğu elektrolite geçiş yapmaktadır. Bu tür korozyonun sonucunda, bir fazın görüldüğü ve genellikle zayıf ve gözenekli yapı oluşmaktadır. Neticede zayıflayan yapı mekanik olarak kırılmaktadır.



Şekil 3.17 Pirinç bir valfte alaşımsızlaşma sonucunda meydana gelen seçici korozyon etkisinin görülmesi (Budinski, 1989).

Şekil 3.17’de de görüldüğü gibi, alaşımsızlaşma olarak ta tanımlanabilen bu korozyon türü daha çok pirinç malzemeden yapılmış ekipmanlarda görülmektedir. Çinkonun, yapıdan ayrılarak çinkosuzlaşmaya neden olması sonucu, bakırdan oluşan gözenekli kısım geriye kalmaktadır.

Bu korozyon daha çok, metal alaşımlarında görülen bir korozyon türüdür. Bir çok metal ve alaşım bu mekanizma ile korozyona uğrayabilmektedir. Fakat, bu korozyon türünün en

yaygın olarak görüldüğü alaşımlar; Bakır - Çinko alaşımları olan pirinçlerdir. Böylesi korozyon mekanizmasında, alaşım bozularak, doku gözenekli ve zayıf hale gelir.

Pirinçlerde görülen bu korozyon türünde, çinko metal iyonları bakır metal iyonlarına göre daha az soy veya daha aktif olduğundan, yüzeyden kolayca saldırgan olan korozif ortamdaki çözeltiye geçer ve çözünür. Böylece, metal yüzeyinden başlayan ve metalin iç kısımlarına doğru ilerleyen *çinkosuzlaşma* olayı gerçekleşir. Geriye gözenekli ve zayıf bakır dokusu kalır.

Alaşımsızlaşmaya diğer örnekler de; Alüminyum bronzlarında; alüminyumun, bakır - nikel alaşımlarında; nikelin, dökme demirlerde; demirin yapıdan uzaklaşması şeklinde verilebilir.

3.3.8 Erozyonlu korozyon

Bu korozyon türü, malzeme yüzeyi ile ortam arasındaki bağıl hızın yüksek değerlere ulaştığı sistemlerde görülmektedir. Metal kaybı, metalin iyonlarına dönüşmesi veya yüzeyde oluşan oksit tabakalarının uzaklaştırılarak ortama karışması ile gerçekleşir.

Aşınma türlerinin birçoğu korozyonun oluşum biçimlerine göre erozyonlu korozyon başlığı altında incelenmektedir.

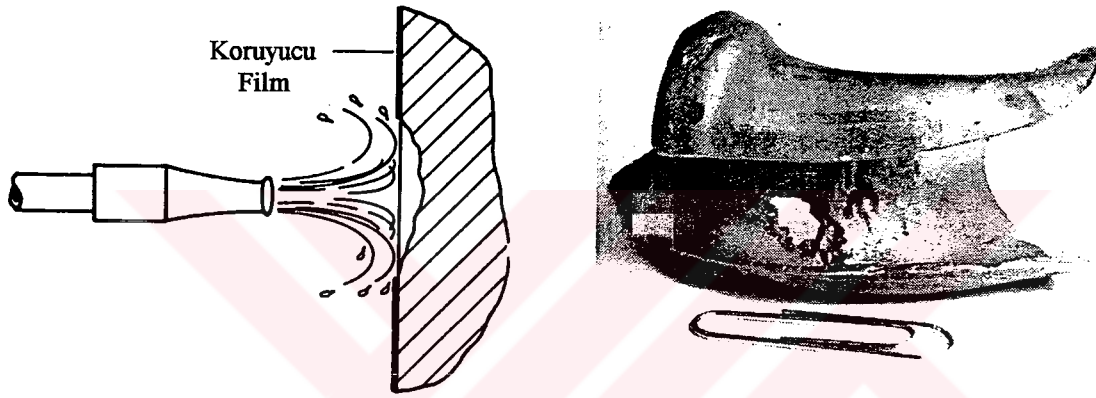
Erozyon olayı, malzeme yüzeyindeki koruyucu tabaka olan pasif filmin yırtılarak malzeme yüzeyinin aşınması yani, kütle kaybının gerçekleşmesi olayıdır. Bu şekilde malzeme kaybına sebep olan erozyonlu korozyon türleri; sıvı çarpması aşındırması erozyonu, sıvı erozyonu, lekelenme erozyonu, çukurlaşma erozyonu ve yenilme ile aşınma korozyonu olarak sıralanabilmektedir.

3.3.8.1 Sıvı çarpması aşındırması erozyonu

Bu korozyon türünde, bir akışkan ortamdaki basınç nedeniyle oluşan akış sonucu sıvı parçacıklarının yüzeye sert bir şekilde çarparak yüzeyden malzeme aşındırması ile

gerçekleşmektedir. Aşındırıcı ortam sıvı olabildiği gibi, buhar ve gaz ortamları da olabilmektedir. Şekil 3.12’de görüleceği gibi akışkan ortamın basıncı sonucu yüzeydeki koruyucu tabaka veya pasif film yırtılarak aşınma gerçekleşir.

Bu olay mekanik biçimde, sürekli sıvı akışı sonucu yüzeyden dış ortama doğru yırtılan kısımdan malzeme akışı ve kaybı şeklinde devam eder. Bu tür korozyonu önlemenin en basit ve etkili yöntemi, yüzeye doğru gelebilecek basınçlı sıvının bu etkilerini ortadan kaldıracak tasarımlara yönelmektir.

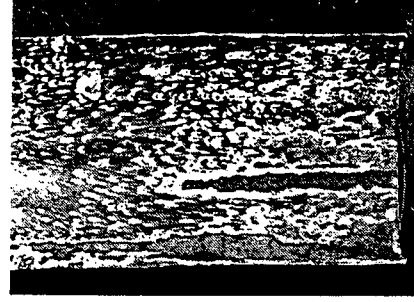
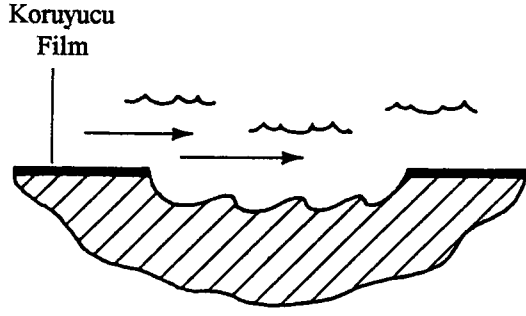


Şekil 3.12 Bir bakır dirsekteki sıvı çarpması aşındırması erozyonu etkisi (Budinski, 1989).

3.3.8.2 Sıvı erozyonu

Bu erozyon türü de sıvı çarpması aşındırması erozyon türüne benzemekle beraber, buradaki sıvı akışı, metal yüzeyine dik değil paralel olmaktadır.

Metal aşınması olayının mekanizması, bir önceki erozyon türündeki gibi koruyucu film tabakasının zarar görmesi ile yüzeyin aşınması şeklinde olmaktadır.



Şekil 3.13 Bakır borularda sıvı erozyonunun görünümü (Budinski, 1989).

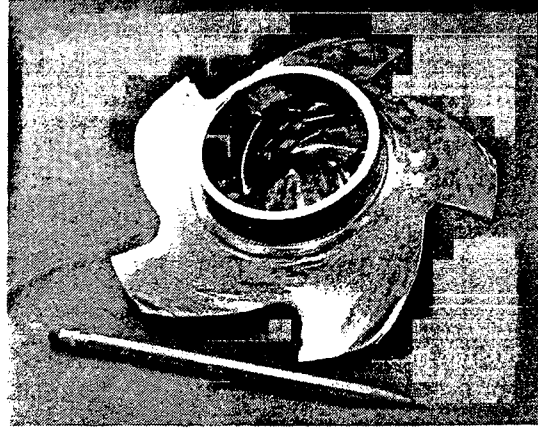
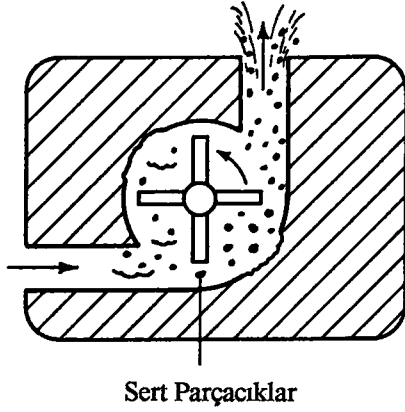
İçinden malzeme yüzeyine paralel şekilde basınçlı ve sürekli akış yapan akışkanın taşındığı borularda görülen bu tür korozyonu önlemek için borunun et kalınlığı arttırılmalıdır. Bu işlem tasarım aşamasında yapılmalıdır. Böylesi korozyona uğramış olan metal yüzeyleri dalgalı veya yivli olarak görülür.

Daha çok paslanmaz çelik, titanyum ve bazı alüminyum bronzlarından imal edilmiş olan borularda görülen korozyon türüdür.

3.3.8.3 Lekelenme erozyonu

Erozyonun bu türünde korozyon ve aşınma olayı birlikte görülmektedir. Aşındırıcı parçacıklar içeren bir akışkan ortamda, korozyon ve parçacıkların oluşturduğu mekanik aşınma birlikte etki etmektedir. Şekil 3.14’te bir pompa pervanesinin bu tür korozyon olayı karşısında nasıl etkilendiğini gösterilmektedir.

Silika, alümina ve benzeri sert parçacıklar aşındırıcı parçacıklar olduğundan bunları içeren bir akışkanın kullanıldığı veya nakledildiği sistemlerde korozyon olayı gerçekleşmese bile mekanik aşınma yolu ile malzeme kaybı olmaktadır.



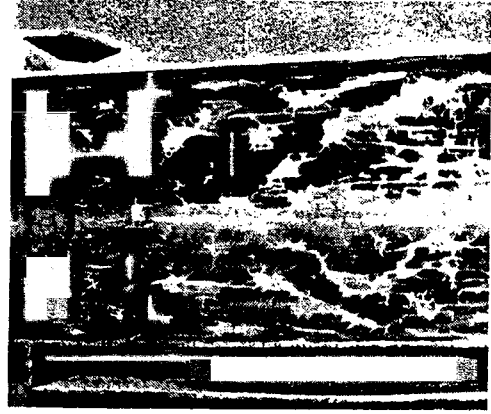
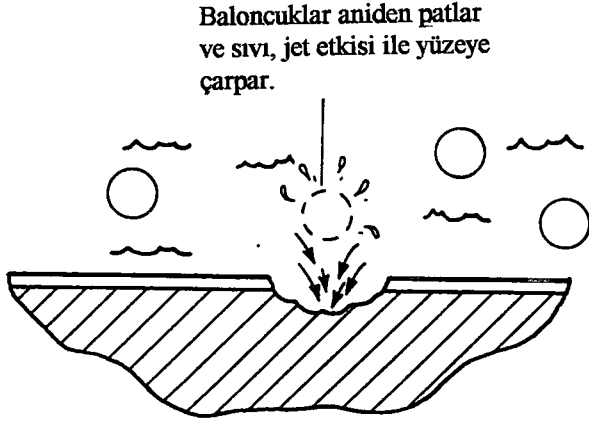
Şekil 3.14 Bir pompa pervanesinde lekelenme erozyonunun etkisi (Budinski, 1989).

Seramikler ve elastomerler, bu tür akışkanların nakledildiği sistem elemanları olan pompa gibi ekipmanların yapımında rahatlıkla kullanılabilirler.

3.3.8.4 Çukurlaşma erozyonu

Şekil 3.15'te de görülebileceği gibi, malzeme yüzeyine doğru akış yapan basınçlı sıvının yapısında bulunan sıvı baloncuklarının patlayarak malzemeyi aşındırması olayıdır.

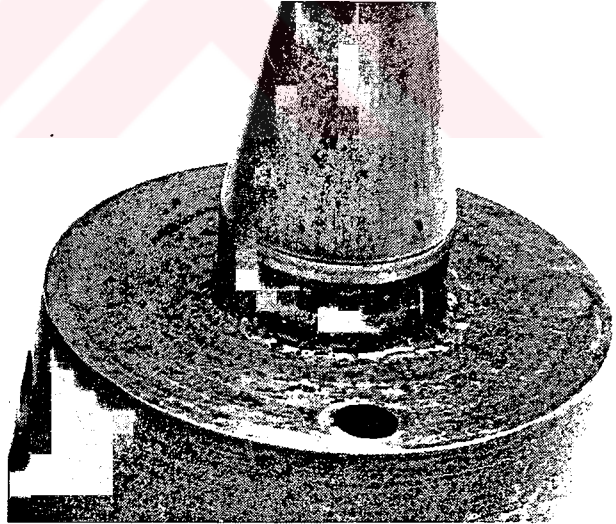
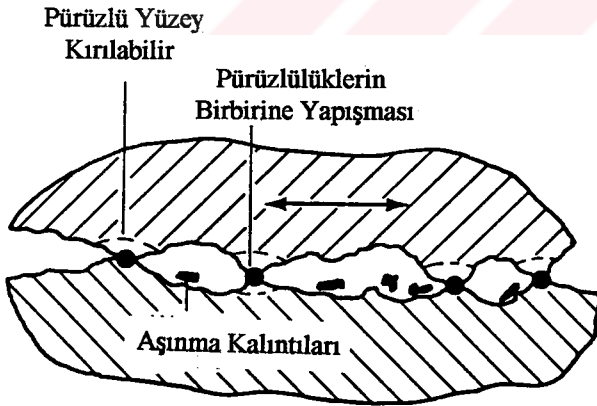
Çukurlaşma olayına dayanıklı olan malzemeler, çok kalın bir pasif film tabakasına, yüksek dayanıma ve sertliğe sahiptirler. Ancak bu özelliklerin hepsini üzerinde bulunduran malzeme türü çok kısıtlıdır. Titanyum ve korozyona karşı dayanımı yüksek olan kobalt (Co) esaslı alaşımlar, bu tür korozyonun oluşabileceği yerlerde kullanılabilirler.



Şekil 3.15 Bir basınçlı kabın iç yüzeyindeki çukurlaşma erozyonu (Budinski, 1989).

3.3.8.5 Yenilme ile aşınma korozyonu

Şekil 3.16'da da görüleceği gibi, korozif ortam içinde iki katı metalsel yüzeyin küçük genliklerde (20 - 100 μm) salınımı sonucu bu tür korozyon gerçekleşmektedir. Yenilme sonucu oluşan aşınma neticesinde pasa benzer koroze olmuş kısımlar görülmektedir.



Şekil 3.16 Bir mil üzerindeki yenilme ile aşınma korozyonu etkisi (koyu bölge) (Budinski, 1989).

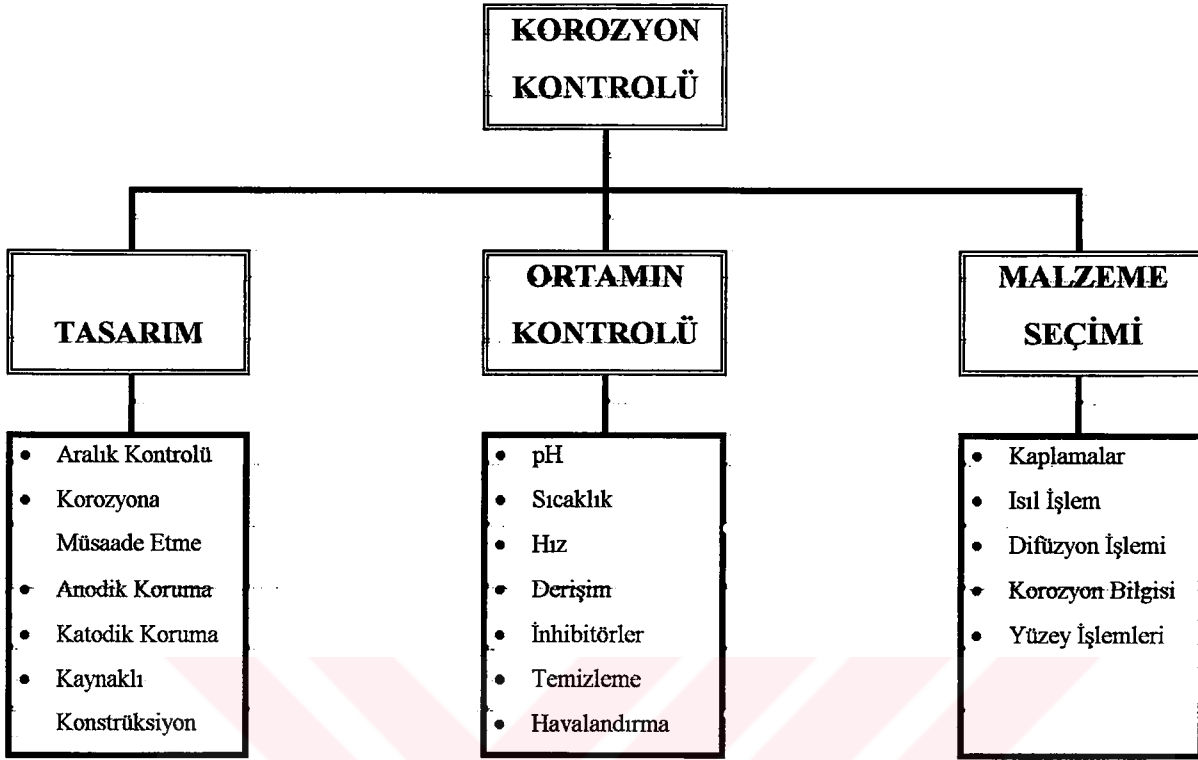
Bu tür korozyon genellikle yataklarda, dişlilerde, mil-delik sistemlerinde ve titreşimle çalışan diğer tüm makine elemanlarında görülmektedir. Bu erozyonlu korozyon tipini önlemek için en verimli yol, iki parçanın alın altına gelerek titreşimli bir şekilde çalışmasını önlemektir.

Yenilme ile aşınma korozyonuna neden olacak sınır koşullarının belirlenmesi de alınabilecek önlemler arasındadır. Eğer titreşim genliği, 10 μm ' nin altında ise, alın altına çalışan yüzeyler elastik olarak zorlandığından aşınma ve çatlama, dolayısıyla bu tür korozyon görülmemektedir. Eğer titreşimlerin genlikleri 100 μm ' den büyük ise, normal olarak metal aşınması, yenilme ile aşınma korozyonu oluşmaksızın görülebilmektedir. Bu tür korozyona karşı alınabilecek en iyi yöntem, yüzey işlemlerinin çok iyi şekilde yapılması veya yüzeylerin yumuşak kadmiyum (Cd) veya gümüş (Ag) ile kaplanmasıdır

3.4 Korozyona Karşı Alınacak Önlemler

Korozyonun teknik ve ekonomik açıdan göz yumulacak düzeye indirilmesi veya zorunlu hallerde tamamen önlenmesi için başvurulabilecek önlemleri; işletme şartlarının dikkate alınması, uygun işlemler uygulayarak veya tamamen değiştirerek ortamın saldırganlığının kısmen veya tamamen giderilmesi, parça üzerinde alınacak tedbirler ve korozyon reaksiyonunu durdurma ana başlıkları altında incelemek mümkün olmaktadır.

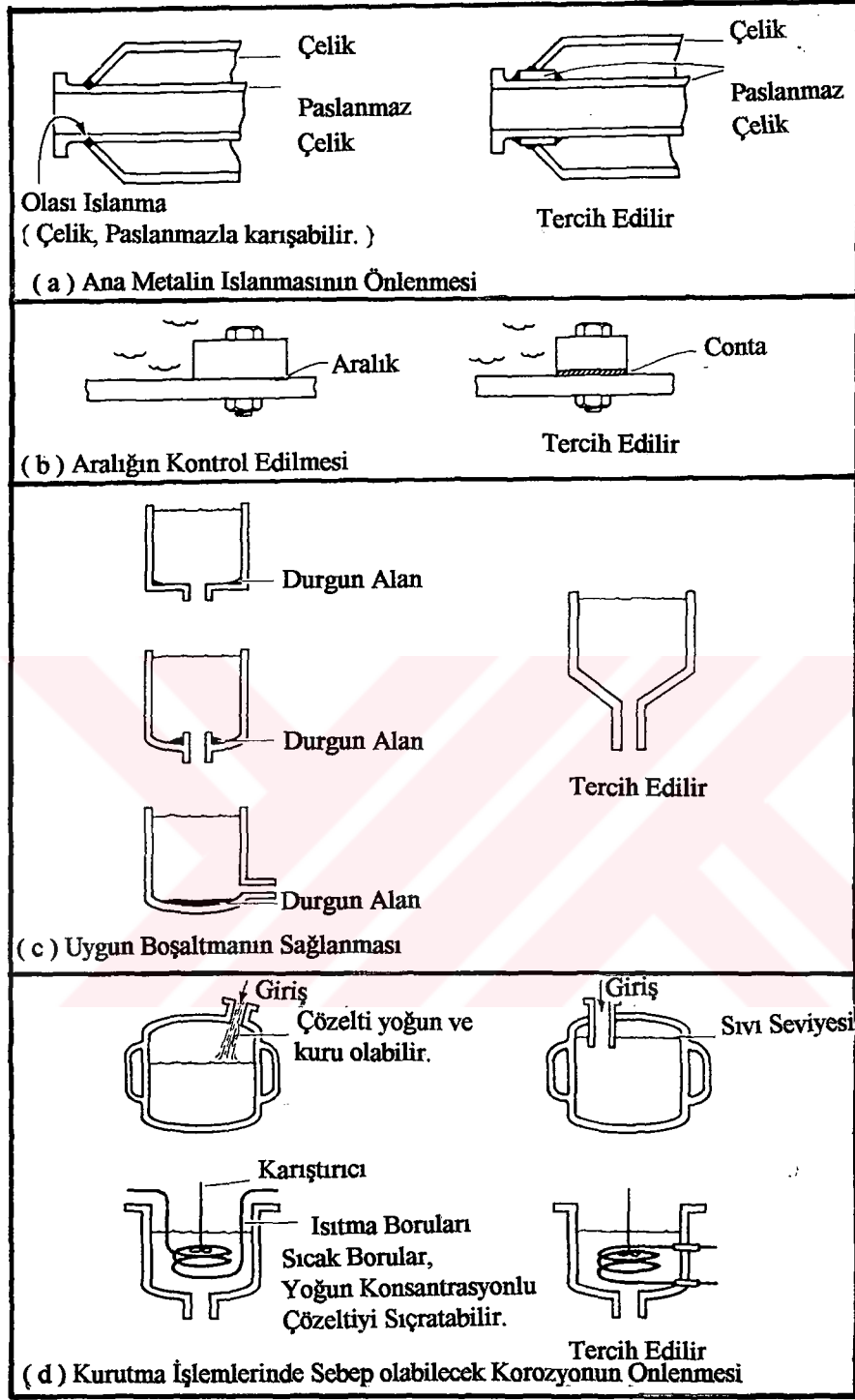
Korozyona karşı alınacak önlemler veya korozyonun kontrol edilmesi eş anlamlı ifadeler olup, en genel anlamda Şekil 3.17' de verilen tanımlama grafiğinden de görüleceği üzere; tasarım, korozif ortamın kontrol altına alınması ve uygun malzeme seçimi ana başlıkları altında incelenecektir (Akdoğan, 1987).



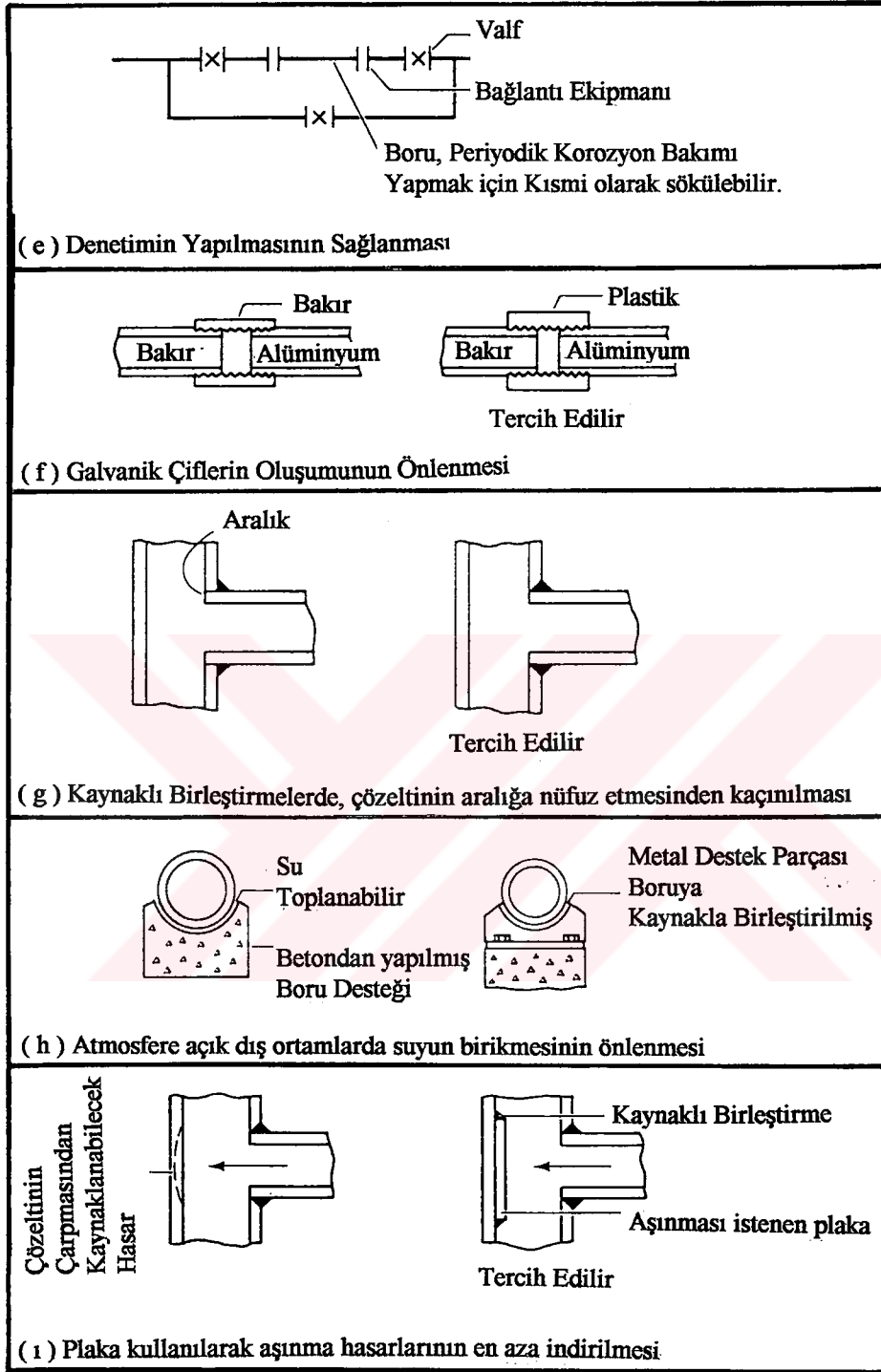
Şekil 3.18 Korozyona karşı alınacak önlemlerin şematik olarak gösterilmesi
(Tüzmen, 1986).

3.4.1 Tasarım

Korozyon, tasarım ile önemli derecede kontrol altına alınabilmektedir. Aralıklar, genellikle tasarımın yanlış yapılmasından kaynaklanmaktadır. Tasarımın yanlışlığı veya kullanımdaki hatalar Şekil 3.19’da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Korozyona karşı tasarım aşamasında alınacak önlemler (Budinski, 1989).



Şekil 3.19 Korozyona karşı tasarım aşamasında alınacak önlemler (devamı).

Şekil 3.19 a' da, alaşımsız karbonlu çelikle, paslanmaz çeliğin kaynağı verilmiştir. Bu tip bir kaynak işleminde ergimenin büyük bir çoğunluğu paslanmaz çelik malzeme üzerinde gerçekleştiğinden korozyon oluşumuna sebebiyet verecek kritik bölgeler meydana gelmektedir. Ancak kaynak işlemi uygulanacak bölgelere paslanmaz çelikten burçlar konarak, ana metalin korozyona karşı hassasiyeti önlenmiş olacaktır. Şekil 3.19 b' de civatalı bir bağlantı konstrüksiyonunun nasıl aralık korozyonuna sebebiyet vereceği gösterilmiştir. Ancak, çok basit bir önlem olarak araya conta konulması ve metal yüzeylerin birbirinden yalıtılması yoluna gidilerek bu tür korozyon oluşumuna engel olunmaktadır. Şekil 3.19 c' de ise, genelde sıvı depolama tanklarında rastlanan dizayn hataları gösterilmiştir. Boşaltma musluğunun yanlış yerde dizayn edilmesi ile tankın içinde kalan ve göreceli olarak yüksek derişime sahip durgun birikintilerle bu bölgelerde beklenmedik korozyon oluşumları gözlenmektedir. Ancak boşaltma musluğunun tank gövdesinin alt kısmında uygun bir yere yerleştirilerek dizayn edilmesi durumunda korozyon önlenmiş olacaktır.

Şekil 3.19 d' de tankın üst kısmından doldurulması esnasında içeri salınan yüksek derişime sahip katı çözelti korozyona sebebiyet verebilmektedir. Bu türdeki bir korozyon problemini gidermek için, çözelti seviyesini tankın giriş borusu seviyesinin üzerinde tutmak gerecektir.

Benzer şekilde iç kısmında ısıtma ekipmanlarının bulunduğu tanklarda ise, ısıtma sistemine ait geliş ve gidiş borularının uç kısımları direkt olarak tankın üzerinde dizayn edilmemelidir. Tankın üstten doldurulduğu durumlarda sıcak borularla veya ısıtma bobinleri ile direkt temas edecek çözelti sıçramalara sebebiyet verecek ve çok çabuk buharlaşma meydana gelecektir. Bu tipte bir termo kimyasal olay korozyonu oluşturacaktır. Böyle bir korozyon problemi ise, ısıtma sisteminin ekipmanlarını izole ederek tank içine yerleştirme ile giderilecektir.

Şekil 3.19 e' de korozyonun ve mikrobiyolojik hareketlerin gözlemlenebilmesi için çok faydalı bir yöntem geliştirilmiştir. Sıvı akışını veya prosesi kesmeksizin paralel bir ikinci kısa devre ile bu akış sağlanırken esas devre valflerle kontrol edilerek kapatılır. Bu şekilde korozyonun kontrol edilmesi, korozyonun önlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Farklı iki metalin birleştirilmesinde galvanik çiftlerin dolayısıyla galvanik korozyonun önlenmesi amacıyla bağlantı elemanı olarak Şekil 3.19 f' deki gibi iletken bir yerine tercih edilebilecek bir plastiğin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Şekil 3.19 g' de ise, kaynak ağzı açılmadan yapılan bir kaynaklı birleştirmelerde kolaylıkla aralık korozyonunun görülebileceği şematik olarak gösterilmektedir. Halbuki, malzemeye ve malzeme kalınlığına bağlı olarak uygun şekilde açılan kaynak ağzı ile yapılan birleştirme şekillerinde bu sorun kendiliğinden ortadan kalkmaktadır.

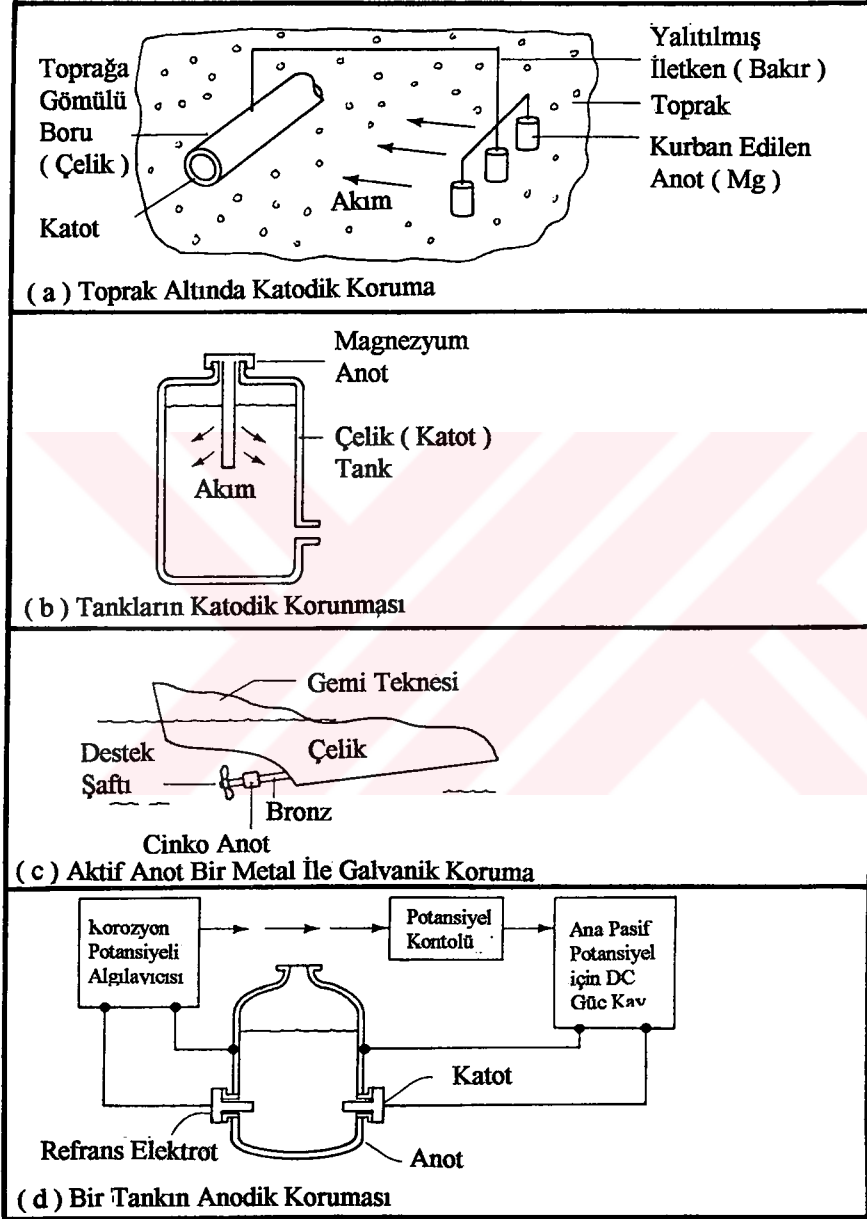
Petrol nakil boru hatları beton kaideler üzerine oturtularak inşa edilmektedirler. Böyle bir konstrüksiyon şekli, Şekil 3.19 h' de de gösterildiği gibi boru ve beton arasında boşluk bırakıldığında, bu aralığa su dolması halinde korozyon oluşumu gerçekleşmektedir. Basit bir önlem olarak bu tür borular çelik desteklerin üzerine kaynatılarak beton üzerine oturtulmalıdır. Şekil 3.19 i' de ise, dirsek ve benzeri bağlantı elemanlarının kullanıldığı uygulamalarda koroziyon sıvının basınçla çarptığı ve etki ettiği yüzeyleri aşırı korozyondan korumak için sıvının çarptığı kısma bir malzemenin kaynak edilerek cidarın kalınlaştırılması gibi basit bir tasarımsal örnek gösterilmiştir.

Endüstriyel uygulamalarda, tasarım aşamasında alınabilecek en köklü çözümler ise anodik ve katodik koruma yöntemleridir. Şekil 3.20 a' da boru hatlarında boru hattı katot, ve magnezyum çubuklar anot olarak kullanılarak katodik korumanın topraktaki uygulaması şematik olarak verilmiştir. Boru malzemesi çeliktir.

Benzer bir yöntem de, Şekil 3.20 b' de depo amaçlı kullanılan tankların yine magnezyum çubuk kullanılarak katodik olarak korozyondan korunması gösterilmektedir.

Şekil 3.20 c' de ise, gemilerde yaygın olarak kullanılan katodik koruma şekli örneklenmiştir. Bu yöntemde, pervaneye yakın bölgeye yerleştirilen anot çinkolar kullanılmıştır. Böylece anot çinkolar öncelikle korozyona uğrayacak ve dolayısıyla gemi gövdesi korozyondan korunmuş olacaktır.

Şekil 3.20 d' de ise bir tankın anodik koruması gösterilmektedir. Burada anot ve katot arasında bir doğru akım kaynağı yerleştirilerek uygun potansiyel kontrolü ile korozyona karşı dayanım arttırılmaktadır.



Şekil 3.20 Korozyondan korunma teknikleri (Budinski, 1989).

3.4.2 Uygun malzeme seçimi

Korozyon verilerinin elde edilmesi ile birlikte malzeme seçimi yapılırken uygulanacak işlem veya yüzey işlemleri göz önünde bulundurulmalıdır.

3.4.2.1 Kaplamalar

Korozyonun kontrol edilmesinde uygulanabilecek en basit kaplama yöntemi ise, *dönüşüm kaplamasıdır*. Bu olay, atmosferik korozyona karşı uygulanabilecek basit bir daldırma yöntemi olup, kimyasal saldırılara karşı etkisiz bir koruma yöntemidir.

Benzer yüzey kaplama yöntemlerinden bir tanesi de yüzeylerin boyanması olup boya üreticileri ne tür yüzey ve korozyon türü için hangi tip boyaların kullanılacağını önermektedirler. Yapılacak boya işleminde, boya malzeme yüzeyine yapışıp yalıtkan bir ortam yaratabiliyorsa korozyon ihtimali de yok demektir. Korozyon kapalı devresinin oksijen, su ve iyonlardan meydana geldiği göz önüne alınırsa, boya yapısını belirleyecek özelliklerin; mükemmel oksijen tutuculuğu, mükemmel nem tutuculuğu, metale iyi yapışması özelliği ve yüzey pislilikleri ve korozyon fonksiyonundan meydana gelen korozyon ürünlerine dayanıklılık olması gerekmektedir.

Bu dört özelliğe sahip bir boya ideal bir boyadır. Fakat uygulamada bu özelliklere sahip bir tek boya dahi bulunamaz. Bundan dolayı bir boya seçiminde, bu nitelikleri en yakın olarak bünyesinde taşıyan boya tercih edilmelidir. bugün kullanılan yüzlerce tip boyanın değişik özellikleri mevcuttur. Tek ortak yanları, sıvı halinde kullanılıp kuruduktan sonra katılaşp homojen devam eden bir örtü meydana getirmeleridir. Viskoziteleri değişik, kuruma süreleri farklıdır. Boyanın esas yapısı *binder*dir. Binder, genellikle reçine özelliğinde olup yapıştırıcı film özelliğine de sahiptir. Boyalar, binder veya reçinenin sahip olduğu bileşim cinsine göre; alkali boyalar, klorlu kauçuk boyalar, epoksi boyalar, vinil boyalar ve anorganik (silikat) boyalar şeklinde sınıflandırılabilir (Yavuz, 1978).

Verimli bir korozyon kontrolü yapılmasının bir yöntemi de, yüzeylerin polimerler ile kaplanmasıdır. Bu yöntemde kaplama kalınlığı yaklaşık olarak 1 μm olup, yüzeydeki mikro çatlaklar ve delikler örtülerek arzu edilen ve kimyasal olarak değişmeyen durgun ortam elde edilmiş olur. Bu yöntem aynı zamanda, cam ve seramikler gibi metal ve plastik olmayan kaplamalar için de geçerlidir. Metal kaplamalar korozyon kontrolü için kullanılmasına rağmen risklidir. Çünkü metalsel kaplamalarda da mikro delikler ve çukurcuklar bulunabilmektedir. Bu yöntem atmosferik korozyon için yeterli olmasına karşın kimyasal olarak aktif ve saldırgan ortamlara karşı hassas ve yetersizdir. Metalsel kaplamalar, galvaniz işleminde olduğu gibi anodik davranmaktadırlar. Açık hava koşullarına karşı iyi dayanım sağlanmasına rağmen mikro çatlaklar bulunan yapıda korozyon dayanımına karşı hassas davranmaktadırlar.

3.4.2.2 Malzemeye uygulanan işlemler

Bazı durumlarda yüzey sertleştirme işlemleri de korozyona karşı iyi direnç gösteren yöntemler olarak kendini gösterirler. Örneğin; çeliklerde nitrasyon işlemi açık hava koşullarına karşı çok iyi korozyon dayanımı gösterir. Benzer şekilde, çelik yüzeylerinin krom ile kaplanması da atmosferik koşullara karşı mükemmel sonuçlar vermektedir. Diğer yandan paslanmaz çeliklerin nitrasyon işlemi kimyasal saldırgan ortamlarda korozyon dayanımını düşürmektedir.

Isıl işlem uygulamalarında korozyon hassasiyetini arttıran veya dayanımı düşüren önemli etkenler vardır. Örnek olarak; paslanmaz çeliğin kaynağında veya ani soğutma işlemlerinde işlem bölgesi kromca zayıflar ve korozyondan önemli derecede etkilenir. Bu işlemler sonucu çelik dokusunda veya dökümden çıkmış malzemelerde kimyasal kompozisyon farklılıkları veya heterojenlik görülmektedir. Bunlar da tavlama işlemleri ile kısmen giderilerek korozif ortama karşı homojen davranış gösteren doku elde edilmesi ile gerçekleştirilir.

Malzemenin imalatı esnasında uygulanan bitirme işlemleri yani, yüzey kalitesi de korozyon direncini önemli derecede etkilemektedir. Direkt olarak sulu çözeltilere maruz ortamlarda yüzey pürüzlülüğü; $R_a = 0,5 - 1 \mu\text{m}$ olan kazanlarda ve tanklarda yapılan incelemelerde daha

kaba işlenmiş yüzeylere göre çok daha iyi dayanım gösterdiği laboratuvar koşullarında denenerek saptanmıştır.

3.4.3 Ortam şartlarının kontrolü

Ortamın kontrolü ile ilgili önemli faktörler; sıcaklık, hız ve çözelti konsantrasyonudur. Çözünmüş gazların pH derecesinin, saf suyun pH derecesinden 2 - 3 kat daha düşük olduğu bilinmektedir. Paslanmaz çeliklerin gerilmeli korozyonuna sebebiyet veren ortamlar, klorürlü çözeltilerdir. Organik çözücüler içeren basınçlı kaplar korozyonla tahrip olabilir.

Genelde korozif ortam içine korozyon olayını geciktirici inhibitörler katılabilmektedir. Bu şekilde inhibitör kullanımı, sülfid, kromat ve alkol bileşikleriyle arsenik ve kurşun gibi metal bileşikleridir. Bunların hangi oranda korozif ortam sıvısına katılacağı tamamen deneysel olarak belirlenir. Diğer bir inhibitör şekli de soğuran inhibitörler olup elektro kimyasal korozyon hücrelerinde saldırgan ortam etkisini azaltır. Bir başka deyişle anot-katot arasındaki reaksiyonu çok yavaşlatır. Başka bir inhibitör uygulaması ile, ilk anda yüzeyde pasif bir film tabakası oluşturularak korozyon dayanımı artırılır.

3.5 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Korozyonu

Düşük özgül ağırlık, çok iyi elektrik ve ısı iletkenliği, düşük fakat yeterli sayılabilecek mekanik dayanımı ve iyi şekil alabilirliği gibi özelliklerinin yanı sıra alüminyum esaslı alaşımlar değişik korozif ortamlarda korozyon dayanımının yüksek olması sebebiyle tercih edilebilmektedirler. Çeşitli alüminyum alaşımlarının, değişik korozif ortamlarındaki durumları Çizelge 3.4'te gösterilmektedir.

Özellikle korozyon dayanımının arandığı hallerde, kullanım amacına göre alüminyum saflık derecesinin % 99,5'in altında olmaması gereklidir. Fakat alüminyumun dayanım özelliğinin iyileştirilmesi durumunda alaşımlama işleminin yapılması gerekiyorsa, korozyona karşı olan hassasiyeti dikkate alınmalıdır. Alüminyum - magnezyum alaşımlarının deniz suyuna karşı korozyon dayanımı yüksektir. (Topbaş, 1993).

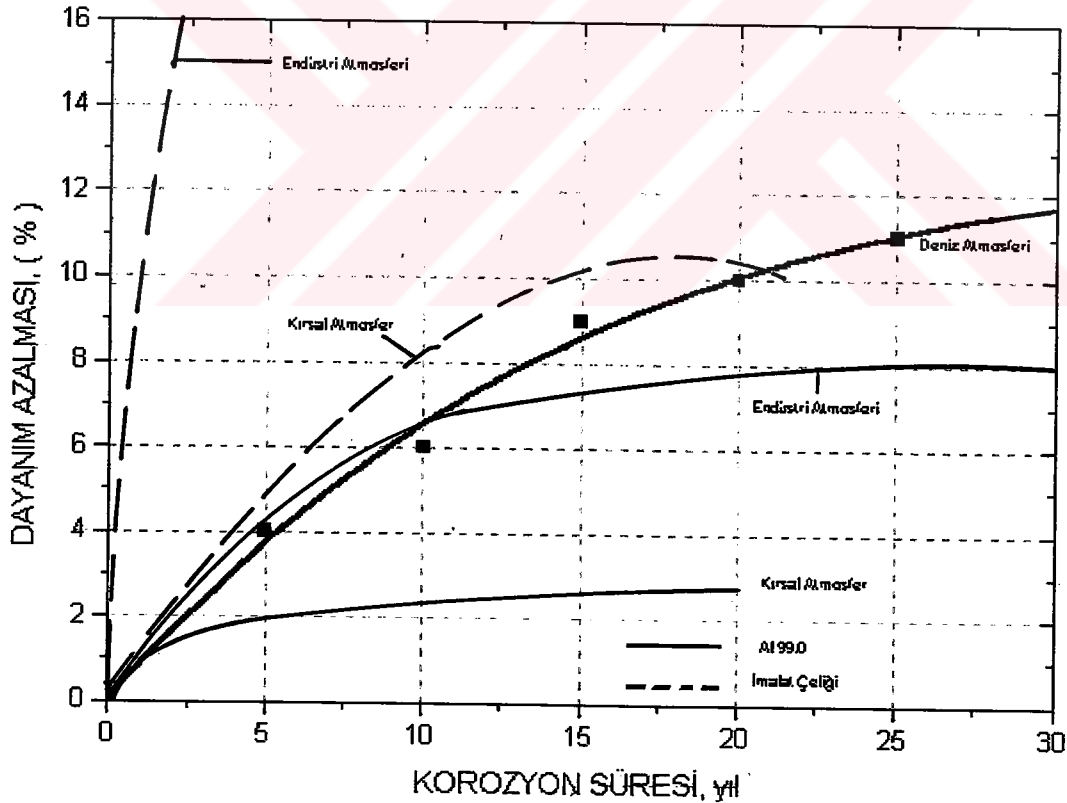
Çizelge 3.4 Alüminyum alaşımlarının değişik ortamlarda korozyon davranışları (Topbaş, 1993).

Etken Ortam	Al 99,5	AlMg	AlCuMg	Kullanım Yeri
Etil Alkol, sulu	1..2			Kimya Sanayi
Etil Alkol, tam suyu alınmış	5			Kimya Sanayi
Amonyak, kuru, sıvı	1..2	1..2		Soğutma Elemanı
Asetilen, kuru	1		2..3	Basınçlı Tüp
Etan	1	1		Basınçlı Tüp
Endüstri Atmosferi	2..3	3..2	3	İnşaat, Taşıt
Deniz Atmosferi	1..2		3..5	Gemi İnşaatı
Yapı Malzemesi, beton, nemli	3..6			İnşaat Sanayi
Cips	1..2	1		
Benzol	1	1	1	Kap, Aperat
Benzin	1		1..3	Otomotiv
Benzin, kurşunlu, sulu	3..6			Otomotiv
Distile Su	1..2	1..2	-	Kimya Sanayi
Freon Gazı	1	1		Soğutma Makinaları
Buz	1	1	2	Soğutma Tesisi
Et, Et Ürünleri	1			Transport Kabı
Tatlı Gıda Maddeleri	1			Folyo Paketleme
Deniz Suyu	2..3	1..2	3..5	Gemi İnşaatı
Yıkama Maddeleri	~2.			Temizlik Araç ve Ekipmanlar
1. İyi Dayanıklı	3. Az Dayanıklı			5. Kabul Edilir Dayanıklı
2. Dayanıklı	4. Kullanılabilir			6. Dayanıksız

3.5.1 Alüminyumun korozyonu

Alüminyum standart elektromotor kuvveti gerilim serisindeki yerine göre (-1,07 volt) soy olmayan bir metaldir (ASM Handbook, Vol 13). Çok sayıdaki korozyif ortama karşı gösterdiği dayanım, titanyumda olduğu gibi üzerinde oluşan yaklaşık 0,7µm kalınlığındaki oksit tabakasından dolayıdır. Bu koruyucu oksit film tabakası depolama esnasında oluşmaktadır. Mevcut koşullara bağlı olarak, amorf veya kristalin alüminyum oksit oluşur. Atmosferde oluşan film daha çok amorf yani şekilsiz yapıya sahiptir, su ve su buharı içinde ise daha çok kristalin yapıda oluşur. Tabaka ne kadar sıkı ve homojen ise, aynı koşullarda korozyon dayanımı o kadar iyidir.

Pasif tabakanın homojenliği, birinci planda metalin saflık derecesine bağlı olarak değişim göstermektedir. Alüminyumdaki ve bant çeliğindeki korozyon durumu Şekil 3.21' de verilmektedir.



Şekil 3.21 Al malzemelerde ve bant çeliğinde atmosfer koşullarında korozyon durumu
(Topbaş, 1993).

Çözülmemiş halde bulunan arıtilamayan elemanlar, sürekli tabakanın oluşumunu bozarlar ve böylece daha sonra bölgesel elementlerin çözülmesine sebep olurlar. Katı çözelti içersinde bulunan elementler daha az korozyon tehlikesi doğururlar. Bundan dolayı homojenizasyon tavlamaşı işleminle korozyon dayanımı arttırılmaya çalışılır.

Özellikle en olumsuz etkiyi, alüminyum içinde bulunan bakır ve demir katkıları yapmaktadır. Demir, alüminyum içinde oda sıcaklığında en fazla % 0,003 kadar çözülebilir ve genellikle $FeAl_3$ formunda intermetalik bağlantı halinde bulunur. Bu bağlantının homojenleştirme tavlamaşı ile giderilmesi olanaksızdır. Bakır, alüminyuma oranla önemli ölçüde potansiyele sahiptir, fakat özellikle çözülmez halde bulunur ve korozyonun devam etmesine sebep olur.

Silisyum çözelti içinde bulunduğu sürece alüminyumun korozyon dayanımını pek az etkiler. Çinko da alüminyum içersinde emniyetli sınırı aşmadığından az etkiler. Magnezyum, alkalik ve mutfak tuzu içeren çözeltilere karşı dayanımı, yüzeyde oksit oluşumuna katkıda bulunmasından dolayı iyileştirir. Titanyum tuz asidine (Hidroklorik asit - HCl) karşı dayanımı yükseltir, fakat soda çözeltilisine karşı kötüleştirir.

Bir elektrolitin bulunması halinde alüminyumla korozyon elementi oluştuğundan dolayı, alüminyum yüzeyinde soy metal parçacıklarının bulunması, korozyon dayanımını oldukça kötüleştirir. Bu tür metal parçacıkları, mekanik olarak haddeleme veya çekme esnasında yüzeye preslenebilir veya difüzyonla girmiş olabilir.

Koruyucu oksit tabakasını çözebilen tüm ortamlar, alüminyum malzemeyi tahrip eder. Hidrojenli halojen asitlerde olduğu gibi kuvvetli asitler içinde bu durum gerçekleşir. Korozyon hızı, florik asit (HF) içinde en büyüktür ve sırasıyla tuz asidinde (HCl) ve bromik asidinde (HBr) giderek azalır. Fosforik asit (H_3PO_4) de alüminyumunu fazla tahrip eder. Organik asitler daha az etkileyici durumdadır. Etkileme pH değeri ile bağlantılıdır. Alüminyum, seyreltilmiş organik asitlere ve nitrik aside, oda sıcaklığında dayanıklıdır.

Alüminyum ve alaşımları özellikle alkalilere karşı duyarlıdırlar. Korozyon hızı, baz konsantrasyonu ile birlikte artar. Alüminyum, yüzeyindeki alüminyum oksit tabakasının;

amonyak, sodyum hidroksit, kalsiyum hidroksit ve baryum hidroksite karşı dayanıksız olması nedeniyle, bu çözeltiler içinde alüminyumun korozyon dayanımı çok azdır. Tuz çözeltileri, alüminyum az etkiler. Ancak çözelti disosiasyonla asidik veya bazik oluyorsa, çözülme hızı artar. Bu grupta en kötü etkiyi klorürler yapmaktadırlar (Akdoğan, 1997, Topbaş, 1993).

Alüminyum malzemeler atmosferik korozyona dayanıklıdır. Şekil 3.21, saf alüminyum ve birkaç alüminyum alaşımının uzun süreli olarak atmosferde kalmasında bulunan sonuçların, bant çeliği ile karşılaştırılmasını göstermektedir. Endüstri atmosferinde (SO_2 , is, toz) ve deniz ikliminde otuz yıl sonrası korozyon etki sonucu, alüminyum malzemedeki dayanım düşmesi yaklaşık % 9 ile % 13 kadardır.

Alüminyum malzemelerde korozyon türü çok farklıdır. Eğer, asit ve bazların etkisinde özel bir durum yoksa, tahribat homojen olarak gelişir ve oksit tabakasında eşit kalınlıkta azalma olur. Halojen içeren elektrolitlerde, özellikle klorür iyonları görüldüğünde , *çukurcuk korozyonu* meydana gelmekte ve özellikle oksit tabakasının mükemmel oluşmadığı veya gözeneklerin mevcut olması halinde de bölgesel tahribata rastlanabilir. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlarda, daha *interkristalin korozyon* görülmektedir. Tane sınırlarına yığılan çökelmeler, tane yüzeyi üzerine oranla genellikle soy olmayan potansiyele sahiptir. Alüminyum - Bakır alaşımlarındaki çökelmeler matrise oranla daha soy olduğu için, katı çözeltinin tane sınırı bölgesinde bakır azalması üzerine, interkristalin korozyon meydana gelir. Eğer, özel şekillendirme ve ısıtma işlemi etkileri kesintiye uğratılırsa, çökelmelerin olumsuz etkileri daha az olur. İnterkristalin korozyonda olduğu gibi, daha çok çökeltme kabiliyetli alaşımlarda, örneğin; Al-Zn-Mg, Al-Mg, Al-Cu-Mg alaşımlarında, *gerilim çatlaması korozyonu* meydana gelir.

3.5.2 Alüminyum alaşımlarının korozyonu

1100 ve 1135 standartları ile verilen alüminyum alaşımları kendi gurubu içinde bulundukları 1XXX serisi alaşımlardan farklıdır. 1100 alaşımı en az oranda, 1135 alaşımı ise en çok oranda bakır bulunduran alaşımlardır. 1XXX serisi içinde bulunan alaşımların bir çok ortamdaki korozyon dayanımları çok yüksektir. Korozyon dayanım değeri, alaşıma katılan alaşım miktarının artması ile ters orantılı olarak azalma gösterir. Bu alaşımların içinde yüksek oranlarda demir, silisyum ve bakır bulunmaktadır. Bakırın tamamı ve silisyumun bir kısmı katı çözültü içinde bulunmaktadır.

1XXX serisi alaşımların içinde bulunan empüritelerin hepsi korozyon dayanımını azaltıcı etki yapmaz. Hatta, bu alaşım serisi içindeki bazı alaşımların içinde bulunan empüriteler, korozyon dayanımını arttırıcı etkiye sahiptir.

2XXX serisi hadde ve döküm alaşımları, bakırın ana alaşım elementi olarak katıldığı alaşımlar olup, diğer tüm serilere göre, korozyon dayanımı en düşük olan alaşım gurubudur. Alaşım içindeki bakır oranı arttıkça, korozyon dayanımı düşmektedir. Elektro kimyasal olayların korozyon üzerindeki etkisi diğer alaşımlara göre daha kuvvetli olmaktadır. Çökelme sertleşmesi işleminin çok iyi bir şekilde yapılması ile korozyon dayanımı bir miktar arttırılabilir. Su verme işleminin hızı, yapılan ısı işlem ve suni yaşlandırma işlemi korozyon dayanımını etkilemektedir.

3XXX serisi alüminyum alaşımları, korozyon dayanımı oldukça yüksek olan alaşımlardır. Bu seride bulunan alaşımlar, yüksek korozyon dayanımlarından dolayı; gıda sektöründe ve mimaride kullanılmaktadır.

4XXX serisi alaşımlarda, silisyum bulunmasından dolayı korozyon dayanımı yüksektir.

5XXX serisi alüminyum alaşımlarının korozyon dayanımları oldukça iyidir. Bu yüzden, inşaat malzemeleri yapımında,, kimya sanayide ve besin depolama işlemlerinde

kullanılmaktadır. Bu alaşımların içinde, çökelmelerin bulunması, korozyon dayanımını olumsuz yönde etkilemez.

6XXX serisi alaşımlarda, uygulanan ısı işlemleri ve çökelme sertleşmesi işlemi ile korozyon dayanımında iyileştirmeler yapılmaktadır. Bu alaşımlarda da alaşım içindeki bakır oranının artmasıyla korozyon dayanımında düşme gözlenir. Bu alaşım içinde katodik olarak davranan empüritelerin bulunması, intergranüler korozyonun artmasına sebebiyet vermektedir.

7XXX serisi alüminyum alaşımları, içinde ana alaşımelementi olarak çinko, magnezyum ve düşük oranda bakır bulunduran alaşımlar olup, 40 yılı aşkın süredir uçak malzemeleri yapımında kullanılmaktadır. Bu seri içinde bakır içermeyen alaşımlar, arzu edilen yüksek mukavemet, çok iyi tokluk değerlerine ve iyi işlenebilme ve kaynak kabiliyetine sahiptirler.

Bakır içermeyen 7XXX serisi alaşımların korozyon dayanımı genel olarak iyidir. Korozyon dayanım değerleri; 3XXX, 5XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının korozyon değerleri yakınlık göstermez. 7049, 7050, 7075 7178 alaşımlarının genel korozyona karşı olan hassasiyeti, bu seride olan ve bakır içermeyen alaşımlara göre daha düşüktür (ASM Handbook, Vol.13)

3.5.3 Alüminyum - Bakır (Al - Cu) alaşımlarının korozyonu

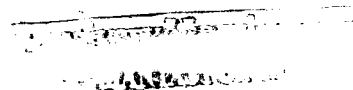
Bakır, alüminyuma ilave edilen diğer alaşımlama elementlerine oranla korozyon dayanımını biraz düşürmektedir. Yüksek hızda üniform korozyon oluşumuna etki eden bakır, çok sayıda çukurcuk oluşumuna ve dolayısıyla çukurcuk korozyonu oluşumuna sebebiyet vermektedir. Bunun yanı sıra, tane sınırları korozyonu ve gerilmeli korozyon çatlamasının oluşumuna da çok büyük oranda etki etmektedir. Özellikle deniz suyu içinde kullanılmak üzere imal edilecek alüminyum alaşımlarında, alaşımının içine ilave edilen düşük miktardaki bakır (% 0,15), saf alüminyuma oranla oyuklanma dayanımını azaltmaktadır. Yüksek oranlarda bakır içeren 2000 serisi alüminyum - bakır alaşımlarında, korozyonu arttıran

etkenler, yüzey işlemleri ve ısı işlemler olmaktadır. Yine yüksek bakır içeren alaşımlarda, tane sınırları korozyonu veya gerilmeli çatlama korozyonu alanları oluşmaktadır (21).

Düralümin tipi alaşımların özellikle plaka halinde olanları, yüksek mekanik özelliklerine rağmen korozyona karşı düşük mukavemet değerlerine sahiptirler. Bununla beraber bu sakıncalı durum, kaplama işlemi ile ortadan kaldırılmıştır. Bu işlem, koruma görevini gösterecek ince bir saf alüminyum tabakasını haddeme yolu ile düralümin plakasının her iki tarafına kaplamaktan ibarettir. Alüminyum kaplamanın kalınlığı, toplam plaka kalınlığının % 10' u civarındadır. Alüminyum kaplamalı alaşım plakaları geniş ölçüde uçak endüstrisinde kullanılmaktadır. Alüminyum kaplama işlemi, diğer metalleri de aynı şekilde kullanacak tarzda ilerletilmiştir. Aslında bakır eksikliğinin giderilmesi için geliştirilen bakır kaplamalı alüminyum her iki metal özelliğinin de arzu edildiği yerlerde kendine uygulama alanı bulmuştur. Bakır, her ne kadar püskürtme ve galvanoteknik yolu ile alüminyuma uygulansa da en iyi sonuçlar kaplama işleminde elde edilmiştir. Tek taraflı kaplama için kullanılacak malzeme genellikle % 80 Alüminyum ve % 20 bakır oranı muhafaza edilir. Halbuki çift taraflı kaplamada en çok kullanılan oranlar 5/90/5 ve 10/80/10 dur. Bu işlemin en geniş uygulama alanı elektrik endüstrisindedir. Çünkü alüminyum iletken olarak kullanıldığında, belirli bir aşamada bakır ile birleşmek zorundadır. Böyle bir durum ise, elektrokimyasal korozyonun oluşmasına sebebiyet verecektir.

Tek taraflı kaplanmış metal rondela kullanmak suretiyle, bakırın alüminyum ile olan ek kısmı rondela içinde kalmış ve dolayısıyla korozi ortamdan uzaklaştırılmış olur.

Tek taraflı kaplanmış malzemenin diğer bir kullanış yeri de su borulu kazanlardır. Burada borunun bakır kaplı kısmı suya ve sülfürlü baca gazlarına karşı, mukavemeti yüksek olan alüminyum kaplı kısım da ateşe dönük olarak kullanılır. Çeliğin sertlik, darbeye karşı dayanıklılık ve mukavemet özelliklerini, alüminyumun düşük yoğunluk, yüksek elektrik iletkenliği ve korozyona karşı mukavemet özellikleri ile bir araya getirmede elde edilecek faydalar çok fazladır (Tulgar, 1987).

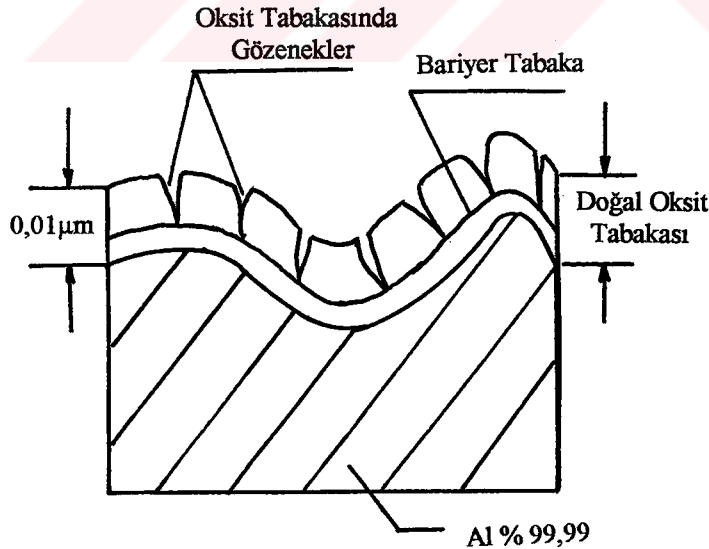


3.5.4 Alüminyum alaşımlarının korozyondan korunması

Alüminyum malzemelerin korozyon şartları, anodik olarak (elektrolitik), oksidasyonla (anoksirleme, eloksal yapma) ile doğal korumadaki oksit tabakasının kalınlığı 10 ile 30 μm değerine arttırılarak, iyileştirilebilir. Bunun için eloksal yapılacak parçalar, daha çok sülfürik asitli elektrolitik içinde doğru akım altında işlem görürler. Anot olarak bağlanan parçalarda meydana gelen oksijen, alüminyum ile reaksiyona girer ve oksit tabakası oluşturulur. Bu tabaka gözenekli olduğundan, müteakiben su içinde pişirilmesi veya %2 ile %3'lük sodyum silikat çözeltisinde sıkıştırılması zorunludur. Anoksirleme işlemi, yalnızca kimyasal dayanımı iyileştirmez ayrıca oksit tabakasının yüksek sertliğinden dolayı aşınma direncini de yükseltir. Bundan başka koruyucu boyalar ve dekoratif amaçlı renklendirme için daha iyi yapışma olanağı da sağlar.

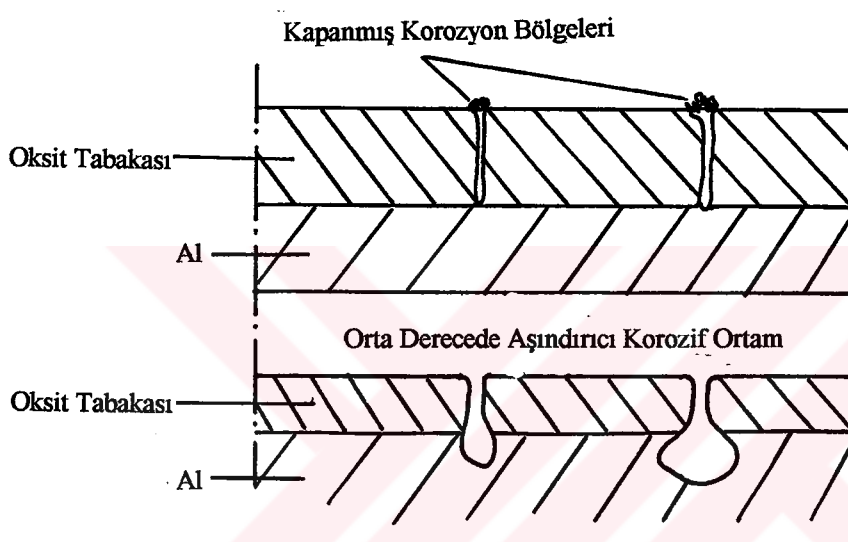
3.5.4.1 Doğal alüminyum oksit tabakası

Alüminyum daima ince bir oksit tabakası ile kaplıdır. Demirin üzerinde oluşan kırmızı-kahverengi oksit tabakasına oranla, alüminyumun oksit tabakası ışığı geçirgen olup, metalinin parlak görünümünü muhafaza ettirir. Alüminyumun oksit tabakası, iyonları çok az ileten, bu yüzden korozyona olan eğilimi indirgeyen ince bir sır tabakasına benzetilebilir.



Şekil 3.22 Süper saf alüminyumda doğal oksit tabakası (Tüzmen, 1986).

Şekil 3.22’de de görüleceği gibi alüminyumun doğal oksit tabakası, altta çok ince olan ve *bariyer tabakası* diye adlandırılan bir tabaka ile üstte bulunan *hidrat tabakası*ndan oluşmuştur. Oksit tabakasının kalınlığı, genellikle 0,005 ile 0,01 μm arasındadır. Böylesine ince bir tabakada pek çok sayıda gözenekler ve zayıf noktalar mevcuttur. Metalik alüminyumun bu noktalardan çözeltiye geçmesi mümkündür. Ancak, alüminyumun böyle bir noktadan çözeltiye geçmesi halinde korozyon ürünü genellikle, bu aşındırıcı küçük noktayı tıkayacak ve işlemi durduracaktır. Bu durum; ince, doğal oksit tabakasından bir kesit alınarak, kalınlıktaki değişimler ve oksit tabakasının da baz metalin dış yüzeyini nasıl takip ettiği Şekil 3.23’te şematik olarak görülebilmektedir.

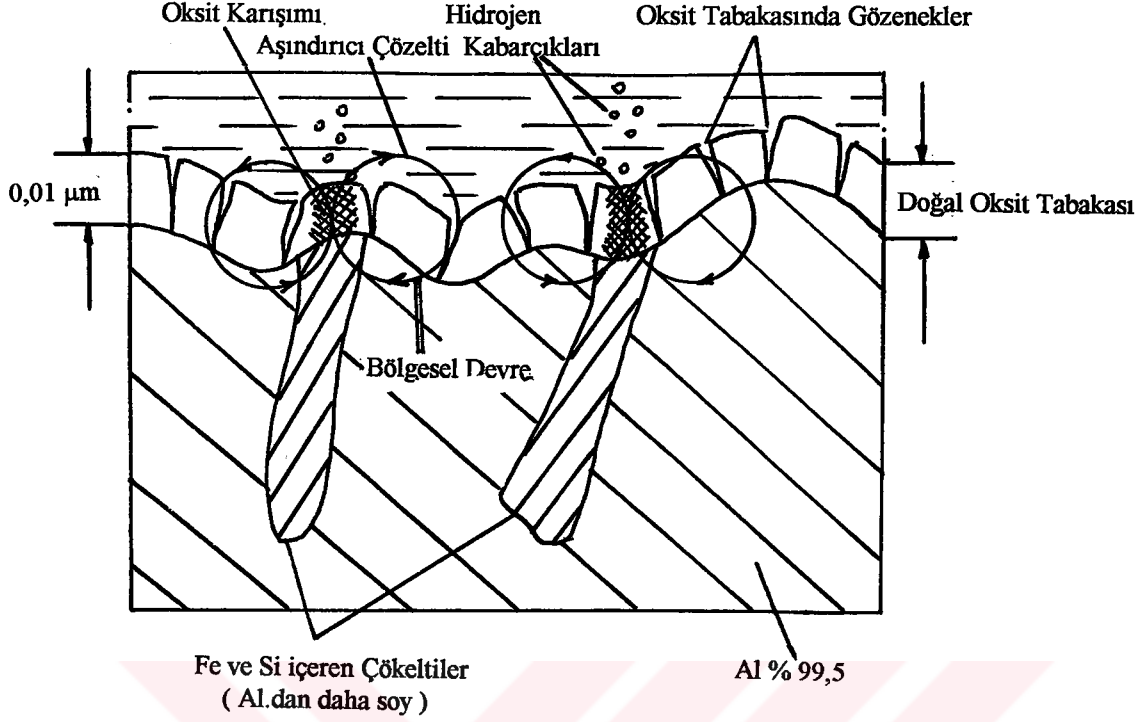


Şekil 3.23 Gözeneklerin ve çukurcukların korozyon ürünü ile kapanması (Tulgar, 1986).

Eğer alüminyum çözeltide alaşım componentleri ihtiva ediyorsa, componentler oksit tabakası içinde de yer alır. Al - Mg alaşımlarının oksit tabakası, özellikle tavlama işleminden sonra, baz metale göre daha yüksek magnezyum oranına sahiptir. Bu yüzden Al - Mg alaşımlarının yüzeyleri parlak metal rengini kaybeder. Dolayısıyla bu alaşımların levha ürünleri, genellikle hava yerine koruyucu atmosferde tavlânır.

Oksit tabakası metalin içine doğru büyüdüğünden alüminyum, yapısında inklüzyonların bulunduğu noktalarda anormal kompozisyonlar ortaya çıkar. Bu durum Şekil 3.24’te şematik olarak verilmiştir. Alüminyum oksidin kendisi iyi bir yalıtkan olduğu halde, örnek olarak demir içeren oksit tabakası elektronların geçişine bir dereceye kadar müsaade eder.

Bu yüzden yarı iletken olarak kabul edilen bu tabaka galvanik korozyona neden olabilmektedir.



Şekil 3.24 Aşındırıcı bir çözeltide doğal oksit filmi ile kaplı alüminyumun korozyonu

Alüminyumdaki çökeltiler esas itibariyle doğal oksit filminin kalınlığından daha iridir. Doğal oksit filmi, metal içine doğru büyüdükçe, yapıda çökeltilerin bulunduğu bölgelerde anormal kompozisyonlar oluşmaktadır. Korozif bir ortamla temas durumunda oksit tabakasının varlığına rağmen küçük bölgesel hücreler oluşmaktadır. Doğal oksit tabakasının altında meydana gelen bariyer tabakası şekilde gösterilmemiştir (Tüzmen, 1986).

Oksit tabakası kalınlığı yapay bir şekilde, örneğin; eloksallama işlemi ile arttırılırsa, yine benzer bir olayla karşılaşılır. Oksit filmi, tıpkı bir boya tabakasının metali örttüğü gibi ana metalin tüm yüzey özelliklerini koruyamaz.

3.5.4.2 Kalın oksit tabakaları

Oksit tabakası ne derece kalın olursa, gözenekler ve yarı iletken bölgelerin varlığı da o derece az olmaktadır. Yani, oksit tabakasının koruyuculuğu o derece artmış olur. Oksit tabakasının kalınlığı, değişik yapı ve kimyasal kompozisyonlar gösteren bir çok işlemle artırılabilir. Oksit tabakası kalınlaştıkça iyon geçişine karşı mukavemet de artar. Korozyon tabakasının büyüüp yayılması engellenir. Oksit tabakasının, kendisinin bir korozyon ürünü olduğu unutulmamalıdır. Alüminyum için korozyon ürünü normal olarak hidratlı alüminyum oksittir. Şartlara göre hidratlı alüminyum oksit, gözenekli korozyon tabakası halinde metale sıkı bağlı koruyucu tabaka da oluşturur. Aşındırıcı korozif ortamda çözeltiye de geçebilir. Tabakanın koruyucu olarak kullanılmasında oksit filminin yapay kalınlaştırılması söz konusudur. Bunun için iki ana teknik bulunmaktadır.

3.5.4.2.1 Kimyasal reaksiyonla oksit tabakasının kalınlaştırılması

Alüminyumun kaynar su veya su buharı ile reaksiyonu doğal oksit tabakasının kalınlığını 10 ile 100 kat arttırmaktadır. Bu reaksiyon ürünü olarak ortaya çıkan ve *Böhmite* ismi verilen hidratlı oksit tabakası korozyona karşı korumayı belirli bir ölçüde pozitif yönde etkiler.

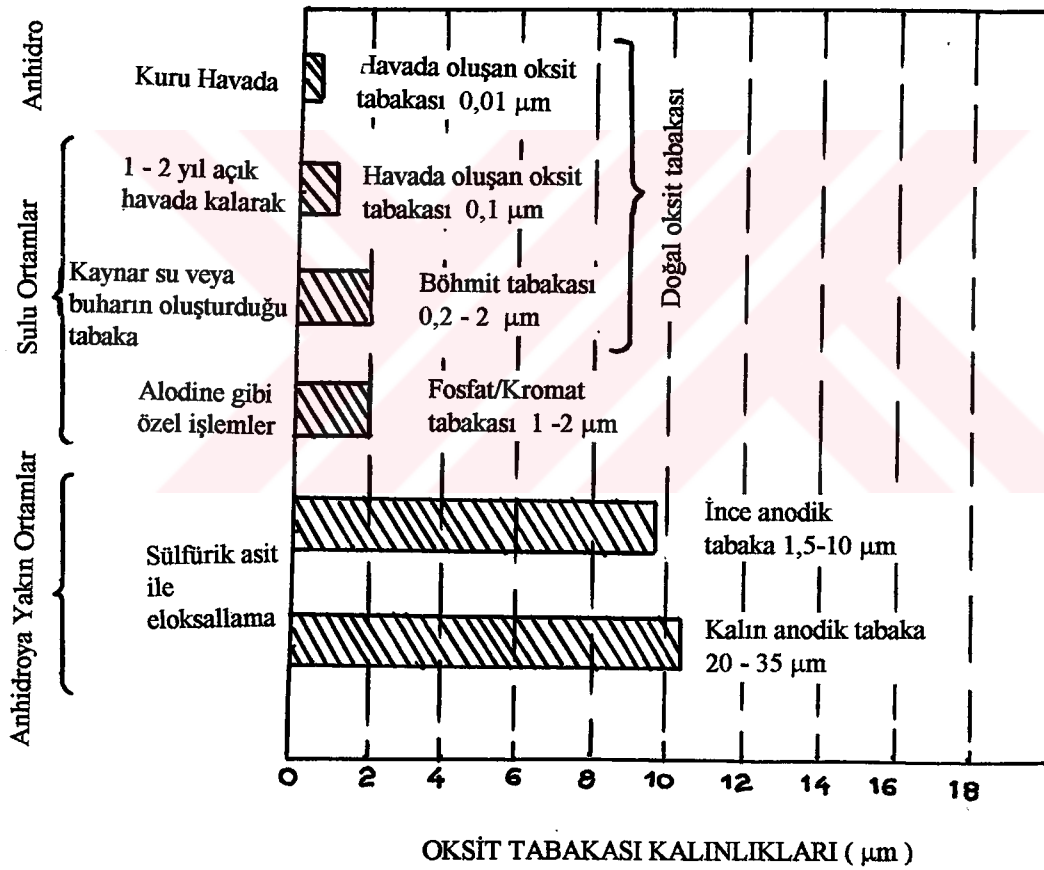
Kromatlar ve fosfatlar içeren asit banyolarında doğal oksit tabakasının kalınlığının 100 katına kadar yükseltildiği koruyucu kaplamalı son yüzey işlem teknikleri senelerden beri uygulanmaktadır. Oksit tabakası ile birleşen kromatlar ve fosfatlar sarıdan yeşile kaçan bir renk de verirler. Bu şekildeki kimyasal değişim kaplamalarıyla korozyona karşı dayanım bir hayli iyileştirilmektedir. Son dönemlerde ise, 2 - 4 µm kalınlıkta siyah kaplama yapan bir işlem (Chemalor®*) kullanılmaya başlanmıştır.

* Chemalor®: Kaplama işleminde kullanılan kimyasal maddenin markası

3.5.4.2.2 Anodik oksidasyonla yapay oksit tabakası uygulaması, eloksallama

Diğer adı eloksallama olarak ta bilinen yöntemin tekniği, pozitif kutup olarak görev yapacak alüminyumun, sülfürik asit çözeltisine daldırılması ve doğru akım verilmesidir. Çünkü; doğru akım alüminyum yüzeyinde doğal oksit tabakasından 1000 kat daha kalın olan renksiz bir oksit tabakası oluşturur.

Oluşan bu oksit tabakasının kalınlığı 5 ile 50 μm arasında değişebilir. Çeşitli yöntemlerle alüminyum üzerinde oluşturulan oksit tabakalarının kalınlıkları Şekil 3.25'te grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.25 Değişik yöntemlerle oluşturulan Alüminyum oksit tabakalarının kalınlıkları
(Tüzmen, 1986).

Anodik tabaka gözenekli bir yapıya sahiptir. Korozyonu önlemek için bu gözenekler uygun bir şekilde kapatılmalıdır. Kapatma işlemi ya sade sıcak suyla, ya krom veya nikel tuzları içeren sulu çözeltilerle ya da korozyona dayanıklı lak tatbiki ile yapılır. Diğer taraftan anodik oksit tabakasına renk vermek için gene bu gözenekler organik boyar maddeler ile renklendirilirler.

Yaklaşık 20 µm kalınlığındaki anodik oksit tabakasının gözeneklerinin kapatılması ile alüminyum endüstriyel atmosfer koşullarında korozyona karşı dayanıklı malzeme olarak kullanılır. Doğal oksit tabakasının yetersiz olduğu, metalin orijinal renginin kaybolup kullanılmadığı ev aletlerinde, reflektörlerde, otomotiv aksesuarlarında ve inşaat doğramalarında anodik oksidasyonlu alüminyum kullanılır. Eloksallama ile elde edilen oksit tabakası, kalınlığı ve sertliği nedenleriyle kimyasal yolla elde edilen tabakalara oranla korozyona karşı korumada çok üstündür.

3.5.4.3 Renkli anodik kaplamalar

Alüminyumun alaşım kompozisyonu ve yapısı oksit tabakasının görünümünü çok etkiler. % 99,8 saflık derecesindeki alüminyumdan daha saf alüminyumdaki oksit tabakası çok temiz olduğundan metalin yüzey parlaklığa dışa yansiyacaktır. Daha yüksek mukavemetli olan AlMg alaşımları için de aynı şey söz konusudur. Alüminyumda enklüzyon miktarı arttıkça eloksal tabakası kararır ve korozyon dayanımı bir miktar düşme gösterir.

3.5.4.3.1 Sülfürik asit eloksalı

Üniform olarak renklendirilmiş olan anodik oksit tabakaları geniş ölçüde mimari amaçlarla kullanılmaktadır. Korozyon dayanımları iyi olan siyah, bronz, gri ve zeytini renkli oksit tabakaları özel önem taşımaktadır. Gri ve koyu renkli tonlar % 3 - % 5 silisyum içeren alaşımlara, sülfürik asitte normal eloksallama teknikleri kullanılarak elde edilir.

3.5.4.3.2 Özel elektrolit eloksali

Normal sülfürik asit proseslerinde şeffaf bir oksit tabakası oluşturabilen eloksal alaşımları, ister ana metal , isterse alaşımlama elementi olarak bulunsun, bazı organik asitleri içeren elektrolitler içinde renkli oksit tabakaları verir. Oksit tabakasının rengi üzerinde alaşım kompozisyonunun ve malzemenin termal geçmişinin büyük rol oynayacağı burada da unutulmamalıdır. Termal geçmiş, yabancı atomların dağılımını etkiler. Özgül bir dağılım, arzu edilen rengin elde edilmesinde son derece etkili olmaktadır.

Anodik oksit tabakasının kalınlığı, eloksallama sırasındaki akım yoğunluğu, elektrolitin bileşimi ve eloksallama sıcaklığı oksit tabakasının rengine etki eden önemli diğer faktörlerdir.

Eloksal tabakalarının renklenmesine sebep olan nedenler halen araştırılmakla birlikte, en önemli teoriler şöyle sıralanabilir;

- Çökeltilerin pek çoğu (elektrolitin düşük korozif etkisinden dolayı) çözülmez. Oksit tabakasının içine yerleşerek o bölgeyi karartır.
- Oksit tabakası optik yönden homojen değildir. Işığın kırılması ve soğurulması nedeniyle renkli gibi görünür.
- Yüksek oksidasyon hızı küçük alüminyum parçacıklarının ayrılıp ana metal ile elektriksel teması olmadığı için, oksitlenmeden oksit tabakası içinde yer almasını temin eder. İzlenen renk, ışığın bu alüminyum parçacıklarından kırılmasıyla ortaya çıkmaktadır.
- Oksit tabakasındaki alüminyum iyonlarının deşarjıyla pek çok küçük bölge bölge ayrılmış *alüminyum kümecikleri* oluşur. Renk, bu kümeciklerden kaynaklanır.
- Renk, oksitteki hatalı elektron yapısından kaynaklanmaktadır.
- Elektro kimyasal işlemler neticesinde ortaya çıkan karbon parçacıklarının (veya elektrolitteki organik asitlerin diğer ayrışma ürünlerinin) oksit tabakasında yer alması.
- Renk, sülfat iyonlarının indirgenme ürünleri yüzünden ortaya çıkmaktadır.

Özel elektrolitlerle, yüksek sertlikte ve solmaya karşı çok dayanıklı renkli oksit tabakaları elde edilir. 1950’li yılların sonunda, yapılan çalışmalar sonunda bulunan ve dış mimaride yaygın olarak kullanılan bir çok işlemten bazıları Çizelge 3.5’te verilmektedir.

Çizelge 3.5 Özel elektrolitlerle renklendirme işlemlerinden bazıları (Tulgar, 1986).

İŞLEM	FİRMA	Elektrolitin Ana Bileşeni
Colodur	Fried Blasberg Gmbh	Malik Asit
Duranodic	Alcoa	Sülfofitalik Asit
Kalcolor	Kaiser Alu. Chemical	Sülfosalisilik Asit
Fermalux	Alusuisse	Malik Asit
Veroxal	VAW	Malik Asit

Daimi aynı renk ve tonda olan bir oksit tabakası oluşturmak için, aynı mamulün üretimi ve yüzey işlemi çok dikkatli yapılmalıdır.

3.5.4.4 İnorganik koruyucu tabakalar

Emaye işlemi ile 60 - 80 μm kalınlıkta vitra koruyucu renkli tabakalar elde edilir. Alüminyum için, pişirilme sıcaklığı yaklaşık olarak 500 °C’ dan düşük erime noktasına sahip emayeler geliştirilmiştir. Bunlar saf alüminyum için uygun olduğu kadar, Al-Mn ve Al-Mg-Si gibi alaşımlara da uygundur. Bu prosesten dolayı, işlemle sertleştirilen alaşımlar yumuşar. Sert emaye kaplama en az 1 mm kalınlıktaki, yüzeyi işleme tabi tutulmuş levhalara uygulanır. Kaplama, havaya karşı daimi bir koruma sağladığından dış cephe elemanlarında yaygın olarak kullanılır. Emaye kaplama işlemi, son yıllarda alüminyum mutfak eşyalarında da uygulanmaya başlanmıştır. Çentik mukavemetini arttırmak için, kullanılan Al-Zn-Mg gibi ısıl işlemle sertleştirilebilen alaşımlar emayenin adhezyon gücünü yükseltmek amacıyla saf alüminyum veya Al-Mn gibi uygun alaşımlarla kaplanırlar.

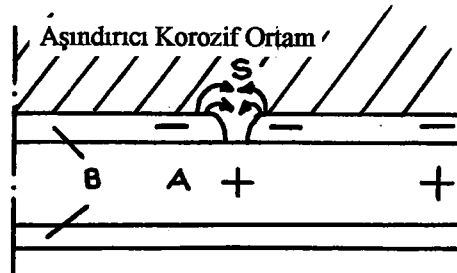
3.5.4.5 Organik koruyucu tabakalar

Organik koruyucu kaplamalar, havada kuruyan veya pişirilen sentetik reçineli vernikler ve boyalardır. Diğer plastik kaplamalar ya sıvı halde, ya da plastik filmin yapıştırılması ile uygulanır. Ambalaj endüstrisindeki uygulamalarda kaplanacak metal kalınlığı 0,01 ile 0,25 mm arasında olabilir. Organik koruyucu tabakalar, inşaatlarda kullanılan ekstrüzyon ürünlerine uygulanabilir. Buna karşın, pişirilen kaplamalar daha dayanıklıdır. Pişirilen kaplamalar; fluorokarbonlar, akrilikler, polyesterler ve silikonize akrilikler içerirler. Bu tür kaplamalar 300 °C' a kadar sıcaklıklarda pişirilirler ve sınırsız renk seçme imkanı sağlarlar. Kaplama kalınlığı genellikle, 15 - 25 μm arasında olmaktadır. Pişirme işleminden sonra alüminyuma şekil verilebilmektedir. 25 μm kalınlıkta böylesine bir kaplaması olan metalin açık atmosferdeki beklenen ömrü yaklaşık olarak 20 yıldır (Tulgar, 1986).

Alüminyum levhaya yaklaşık olarak 100 μm kalınlığında bir plastik film yapıştırılırsa, onu korozyona karşı çok iyi bir şekilde korumuş olur. Özellikle ambalaj endüstrisinde alüminyum folyo, çoğunlukla polietilenden bir film yapıştırılarak kaplanır.

3.5.4.6 Metalik koruyucu tabakalar

Al-Cu-Mn ve Al-Zn-Mg-Cu gib yüksek mukavemetli, korozyon direnci düşük alaşımlar, bu dirençlerinin arttırılması için genellikle ticari saf alüminyumla veya Al-Mn ve Al-Zn gibi alaşımlarla kaplanır. Kaplama tabakası daha soy olup, daha soy olan çekirdekteki metalin kesim uçlarında veya kaplamanın hatalı olduğu bölümlerde aşınmayı önlemek amacıyla Şekil 3.26'da gösterildiği gibi *katodik koruma* sağlarlar.



Şekil 3.26 Daha düşük potansiyelli metalin kaplanmasıyla yapılan *katodik koruma* (Tulgar, 1986).

Şekil 3.26'ya göre;

A : Korozyona karşı nispeten hassas alaşımlı levha (örn.; Al-Cu-Mg),

B : Levha kalınlığının %5- 10'u kalınlığındaki kaplama malzemesi

(örn.; saf alüminyum veya Al-Zn alaşımı),

S : Koruyucu akım, olmaktadır.

Kaplama tabakasının kalınlığı, her iki tarafta olacak şekilde, ana metal kalınlığının %5 - 10'u kadardır. Kaplama, çekirdek malzemenin haddelenmesini kolaylaştırır. Özel amaçlarla, çelik veya bakır gibi bazı metallerin yüzeyine de alüminyum kaplanabilir.

3.6 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Korozyon Deneyleri

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının korozyon dayanımlarını araştırmak amacıyla pek çok deneysel yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan bir kısmı; tuz sprej deneyleri, alternatif daldırma deneyleri ve aşındırıcı korozif ortam çözeltilerinde reaksiyonlardır. Gerçek laboratuvar sonuçlarını alabilmek için pratikte karşılaşılan korozyon türünü verecek yöntemler kullanılmalıdır.

Endüstriyel atmosfer ve yiyecek maddeleri gibi çok az aşındırıcı korozif ortamdaki alüminyumun davranımı, oksit tabakasının zayıf noktalarını veya gözeneklerini aşındıran HCl çözeltilerinde uygulanacak daldırma deneyleri sonuçlarıyla tespit edilemez.

% 3 lük konsantrasyona sahip Hidroklorik asit (HCl), tüm oksit tabakalarını şiddetle aşındırır. Ancak metale uygulanmış olan ısıtma işlemi aşınma hızına etki eder. Aynı şekilde bir düşünce ile, yapı ne kadar heterojense, bölgesel galvanik hücre reaksiyonu ve buna bağlı olarak alüminyumun aşınması o derece fazla olacaktır.

Orta derecedeki bir aşındırıcı korozif ortamda oksit tabakasının koruyuculuğu ve korozyon derecesi, büyük ölçüde gözeneklerin olduğu anda kendilerini korozyon ürünleri ile kapatıp kapatmadığına bağlıdır. Bu yüzden oksit tabakasının kalın olmasında fayda vardır.

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarına uygulanan korozyon deney yöntemlerini Tuz Sprey Deneyi, Alternatif Daldırma Deneyi, Ferric Klorik Deneyi, ASS Deneyi, Exco Deneyi, CASS Deneyi, Tuz - SO₂ Deneyi, SWAAT Deneyi, Corrodokote Deneyi ve Kesternich Deneyi olarak sıralayabiliriz (<http://www.alu-info.dk/Html/alulib/modul/A00217.htm>, 1998).

3.6.1 Tuz sprej deneyi

Çözelti Kompozisyonu : % 5 NaCl (Sodyum Klorür)
 Deney Koşulları : ASTM B 117' ye göre yapılır.
 Deneyin Amacı : Deniz atmosferinde korozyon dayanımını belirlemek

3.6.2 Alternatif daldırma deneyi

Çözelti Kompozisyonu : % 0,043 Na₂SO₄ + % 0,022 Na₂SO₃ + % 0,008 Na₂SO₂O₃ +
 % 4,5 NaCl + % 4,5 CaCl₂...H₂O + % 90,8 H₂O
 Deney Koşulları : İnfrared ışık altında otomatik daldırma aperişatları ile yapılır.
 Deneyin Amacı : Yollara dökülen tuz ve tuzlu su ortamına karşı korozyon dayanımını belirlemek

3.6.3 Ferrik klorik deneyi

Çözelti Kompozisyonu : 10 gr FeCl₃...6H₂O + 5 gr NaCl + 2,5 ml HCl + 200 ml H₂O
 Deney Koşulları : Test numunesi çözelti içine daldırılır veya çözelti numune üzerine damlatılır.
 Deneyin Amacı : Aralık korozyonuna karşı korozyon dayanımını belirlemek

3.6.4 ASS deneyi

Çözelti Kompozisyonu : 5 gr NaCl, pH derecesi 3,2 olan CH₃COOH (
 Deney Koşulları : ASTM B287' ye göre yapılır.
 Deneyin Amacı : Klorürlü çözeltilere karşı korozyon dayanımını belirlemek

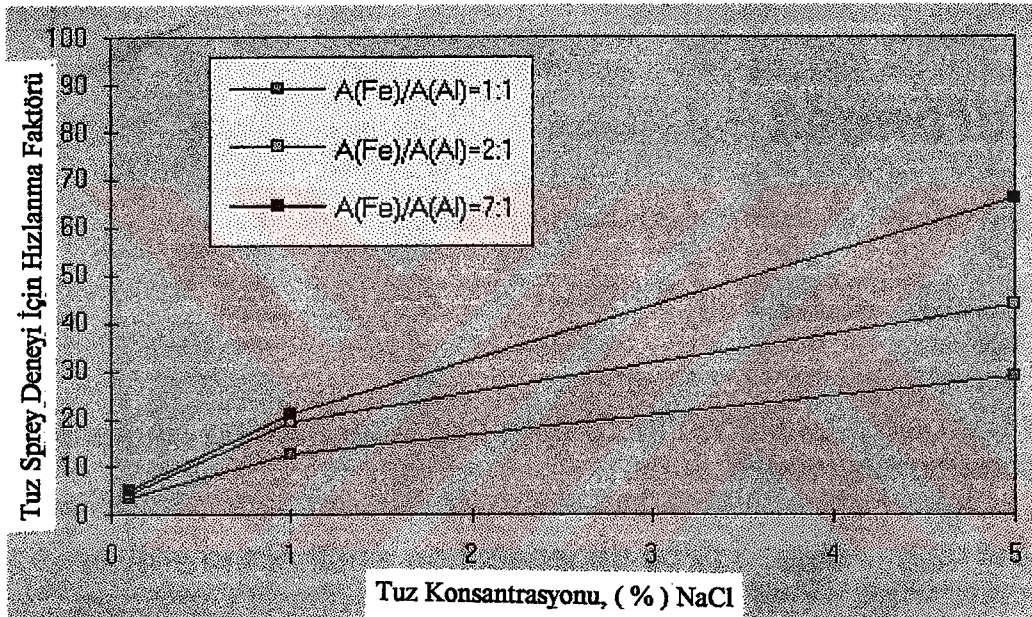
3.6.5 EXCO deneyi

Çözelti Kompozisyonu : 234 gr NaCl + 50 gr KNO₃ + 6,3 ml HNO₃ + Saf su

Deney Koşulları : ASTM G 34'e göre yapılır.

Deneyin Amacı : Endüstri ve deniz atmosferindeki korozyona karşı dayanım.

Yukarıda sıralanmış ve incelenmiş olan deneylerin sonuçlarına ait örnekler Şekil 3.27' de verilen grafik halinde gösterilebilir.



Şekil 3.27 % NaCl derişimi, tuz spre testi için hızlanma faktörü değişimi

(<http://www.alu-info.dk/Html/alulib/modul/A00217.htm>, 1998).

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Alüminyum - Bakır alaşımlarında, alaşımlama elementi olarak kullandığımız bakırın, alaşımın genel karakteristik özelliklerini ne şekilde etkilediğini, mekanik özellikleri hangi oranda değiştirdiğini ve çeşitli korozyon ortamlarındaki davranışlarını ve dayanımlarını nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

4.1 Alüminyum - Bakır Alaşımlarının Hazırlanması

Yapılacak olan deneysel çalışma için gerekli olan Alüminyum - Bakır alaşımlarının hazırlanmasında; esas malzeme olarak alüminyum ve alaşımlama elementi olarak da bakır kullanılmıştır. Alaşım içindeki bakır oranlarının belirlenen spesifik değerlerde olabilmesi amacıyla bir ön döküm çalışması yapılmıştır. Trakya Sanayi A.Ş.' den tedarik edilen ve Çizelge 4.1'de kimyasal kompozisyonu verilen alüminyumun test sertifikası Ek 1'de sunulmaktadır.

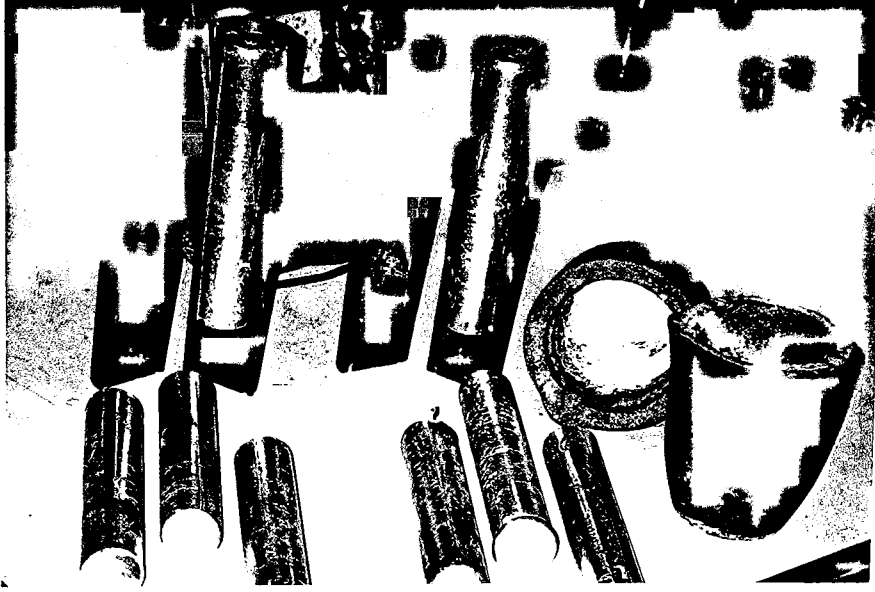
Çizelge 4.1 Trakya San.A.Ş.'den tedarik edilen alüminyumun kimyasal kompozisyonu

Al	Fe	Si	Ti	Mg	Mn
99,82	0,135	0,04	0,001	0,002	0,002

Alaşım elementi olarak, saflık derecesi % 99,9999 olan elektrolitik bakır kullanılmıştır.

4.1.1 Alüminyum - Bakır alaşımlarının dökümü

Alüminyum - Bakır alaşımlarının dökümünde, 35 mm çapında ve 180 mm boyunda, alt tarafı kapalı, koniklik verilmemiş, dökme çelikten yapılmış ve resmi Şekil 4.1'de verilen iki adet kokil kalıp kullanılmıştır. Kullanılan kokil kalıplardan bir tanesinin hacmi yaklaşık olarak 175 cm³ tür.



Şekil 4.1 Dökümlerin yapıldığı kokil kalıplar ve alaşım çubuklar

İlk dökümde, başlangıçta öngörülen yüzde bileşimler Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2 Öngörülen yüzde bileşimler

Alaşım	Al (%)	Cu (%)
Al - % 2 Cu	98	2
Al - % 4 Cu	96	4
Al - % 6 Cu	94	6
Al - % 8 Cu	92	8

Bir kalıbın doldurabileceği alaşım miktarı 500 gr olarak hesaplanmış ve buna göre, dökülecek olan alaşımların yüzde bileşimleri, ağırlıkça hesaplanmıştır. Ağırlık tartımları, 0,0001 gr hassasiyete sahip, Mettler Toledo AE 200 marka dijital terazi ile yapılmıştır. Yapılan ilk döküm çalışmasındaki yüzde bileşimlere göre hesaplanan ağırlıklar Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Öngörülen ağırlık miktarları

Alaşım	Al (gr)	Cu (gr)
Al - % 2 Cu	490	10
Al - % 4 Cu	480	20
Al - % 6 Cu	470	30
Al - % 8 Cu	460	40

Yapılan ilk deneme döküm çalışmasında, 2 kg kapasiteli Taco marka grafit pota kullanılmış ve döküm atmosfere açık ortamda gerçekleştirilmiştir. Deneme dökümün yapıldığı pota ve sistem Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Dökümün yapıldığı grafit pota ve ergitme işlemi.

Yapılan döküm işleminde alüminyum ergitilmiş ve bakırın alüminyum içindeki çözünme sıcaklıklarında küçük bakır parçacıkları ilave edilerek alaşımlama işlemi yapılmıştır. Her bir Al - Cu alaşımı hazırlanırken sıcaklık olarak ilk aşamada alüminyumun ergime derecesi olan 659°C’ ye çıkılmış ve sırası ile ilave edilme oranları % 2, % 4, % 6 ve % 8 olan bakırların alüminyum içinde çözünme sıcaklıkları olan değerlerde alaşımlama işlemi yapılmıştır. 250 - 300 °C sıcaklığa kadar ısıtılan kokil kalıplar içine döküm yapılmıştır. Döküm çubukları, katılaşana kadar kokil kalıpların içinde bekletilmiş ve daha sonra havada soğutulmuştur.

Döküm çubuklarının kimyasal bileşiminin belirlenmesi için, alt ve üst kısımlarından, uç noktalarına 30 - 40 mm uzaklıktaki bölümlerinden 3 er mm kalınlığında analiz numuneleri hazırlanmıştır. Analizler, Hilger Analytical marka optik emisyon spektrometresi ile yapılmış ve analiz sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Deneme döküm alaşımların kimyasal bileşimi.

Alaşım		Al (%)	Cu (%)
Al - % 2 Cu	Üst uç	98,11	1,56
Al - % 2 Cu	Alt uç	98,20	1,52
Al - % 2 Cu	Üst uç	97,97	1,63
Al - % 2 Cu	Alt uç	98,13	1,57
Al - % 4 Cu	Üst uç	96,28	3,07
Al - % 4 Cu	Alt uç	96,31	3,28
Al - % 4 Cu	Üst uç	96,47	3,15
Al - % 4 Cu	Alt uç	96,31	3,24
Al - % 6 Cu	Üst uç	94,64	4,94
Al - % 6 Cu	Alt uç	94,70	4,93
Al - % 6 Cu	Üst uç	94,68	4,97
Al - % 6 Cu	Alt uç	94,77	4,90
Al - % 8 Cu	Üst uç	92,70	6,95
Al - % 8 Cu	Alt uç	92,85	6,84
Al - % 8 Cu	Üst uç	92,89	6,80
Al - % 8 Cu	Alt uç	92,84	6,75

Analiz sonuçları göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda, alüminyum - bakır alaşımlarının dökümü sırasında meydana gelen bakır kayıplarının önlenmesi amacıyla başlangıçta öngörülen bileşimlerde sadece bakır oranında % 30'luk bir arttırım yapılmıştır.

Bakır kayıpları dikkate alınarak çalışma için gerekli olan alaşımlar için yapılan ikinci döküm çalışmasında yine Trakya San.A.Ş.'den temin edilen ticari saflıktaki alüminyum kullanılmıştır. Bu alüminyuma ait kimyasal bileşim Çizelge 4.5'te verilmektedir. Daha detaylı bilgi sunulması açısından gerekli görülen ve çalışmalarımızda referans olarak kullandığımız bu alüminyuma ait test ve kalite sertifikası Ek 2'de verilmektedir.

Çizelge 4.5 Trakya San.A.Ş.'den temin edilen ticari saflıktaki alüminyumun kimyasal bileşimi

Al	Fe	Si	Ti	Mg	Mn
99,825	0,130	0,04	0,001	0,002	0,002

Yapılmış olan ikinci döküm çalışmasında, ilk dökümdeki kayıplar dikkate alınarak hesaplanan ağırlıklar Çizelge 4.6'da verildiği gibidir.

Çizelge 4.6 Bakır kayıpları dikkate alınarak öngörülen ağırlık değerleri.

Alaşım	İstenen Bakır Oranı (%)	İlk Dökümdeki Ortalama Bakır Oranı (%)	Al (gr)	Cu (gr)
Al - % 2 Cu	2	1,57	490	13
Al - % 4 Cu	4	3,185	480	26
Al - % 6 Cu	6	4,935	470	37
Al - % 8 Cu	8	6,835	460	47

Yüzde olarak ağırlıkça hesaplanmış olan bu değerler, aynı kokil kalıp içindir. Yapılmış olan ikinci döküm çalışmasında da % 99,9999 saflık derecesine sahip elektrolitik bakır kullanılmıştır. Ergitme işlemi, atmosfere açık ortamda, indüksiyon ocağında ve 5 kg. kapasiteli Taco marka temizlenmiş grafit pota içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu işleme, öncelikle alüminyumun ergitilmesi ile başlanmıştır. Alüminyumun ergime sıcaklığı olan 659°C sıcaklığa kadar pota ısıtılmış ve pota bu sabit sıcaklık değerinde tutularak alüminyumlar ergitilmeye başlanmıştır. Her bir alaşım için aynı işlemler, sırasıyla % 2, % 4, % 6 ve % 8 oranında bakır içermesi istenen şekliyle ayrı ayrı yapılmıştır. Alaşımla işlemine Al - % 2 Cu alaşımından başlanmıştır. Grafit pota içerisinde ergitilen ve düzenli olarak sabit

sıcaklık değeri tutulan ergiyik alüminyum içine, bakırın ilave edilme işlemi yapılmıştır. Ergiyik alüminyumun sıcaklığı, ağırlıkça % 2 oranında ilave edilecek bakırın, alüminyum içinde çözünme sıcaklığı olan 680°C' de sabit tutulmuş ve belirlenen miktarlardaki küçük bakır parçacıkları ilave edilmiştir. Bu işlemler sırasıyla diğer yüzde oranlarına sahip alaşımlar için tekrarlanmıştır. Kokil kalıplar, 300 °C' a kadar ısıtılmış ve bu sıcaklıkta döküm yapılmıştır. Yapılmış olan alaşımlama işleminde, bakırın ağırlıkça yüzde oranlarına göre alüminyum içinde çözünme sıcaklıkları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Bakırın, alüminyum içinde çözünme sıcaklığı (ASM Handbook, Vol.8).

Alaşım	Al (%)	Cu (%)	Bakırın Çözünme Sıcaklığı (°C)
Al - % 2 Cu	98	2	680
Al - % 4 Cu	96	4	600
Al - % 6 Cu	94	6	550
Al - % 8 Cu	92	8	550

Elde edilen alüminyum - bakır alaşımlarına ait döküm çubuklarının kimyasal yapısının belirlenmesi için, çubukların uç noktalarına 30 mm uzaklıktaki yerlerden 3 er mm kalınlığında analiz numuneleri çıkarılmıştır. Bu numuneler, Hilger Analytical marka optik emisyon spektrometresinde analiz edilmiş ve analiz sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Hilger Analytical marka optik emisyon spektrometresine bağlı olan bir bilgisayar yardımıyla okunan değerlerin raporu alınmıştır. Bu rapor Ek 3'te sunulmaktadır.

Çizelge 4.8 Optik emisyon spektrometresinde yapılan analizlere göre alaşımların kimyasal bileşim sonuçları

		Al	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn
2.1	ÜU	97.70	1.93	0.007	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000
2.1	AU	97.72	1.91	0.007	0.248	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000
2.3	ÜU	97.619	1.970	0.007	0.176	0.202	0.009	0.017	0.000	0.000	0.000
2.3	AU	97.330	2.229	0.009	0.193	0.0212	0.009	0.017	0.000	0.000	0.000
4.1	ÜU	95.362	4.153	0.000	0.260	0.146	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000
4.1	AU	95.366	4.049	0.000	0.334	0.171	0.034	0.000	0.000	0.004	0.000
4.3	ÜU	95.400	4.127	0.000	0.282	0.157	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000
4.3	AU	95.467	4.087	0.000	0.260	0.151	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000
6.1	ÜU	93.568	5.934	0.000	0.159	0.257	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000
6.1	AU	93.831	5.703	0.000	0.238	0.149	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000
6.3	ÜU	93.722	5.864	0.000	0.272	0.138	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000
6.3	AU	93.650	5.917	0.000	0.159	0.270	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000
8.1	ÜU	91.187	8.313	0.000	0.232	0.185	0.033	0.000	0.039	0.000	0.000
8.1	AU	91.368	8.177	0.000	0.217	0.153	0.033	0.000	0.040	0.000	0.011
8.3	ÜU	91.569	7.984	0.000	0.187	0.188	0.034	0.000	0.038	0.000	0.000
8.3	AU	91.688	7.869	0.000	0.195	0.175	0.034	0.000	0.039	0.000	0.000

Çizelge3.8’de verilen kısaltmaları şu şekilde ifade etmemiz gerekmektedir.

2.1, 2.3 : Al - % 2 Cu alaşımının 1 ve 3 numaralı çubuğu,

4.1, 4.3 : Al - % 4 Cu alaşımının 1 ve 3 numaralı çubuğu,

6.1, 6.3 : Al - % 6 Cu alaşımının 1 ve 3 numaralı çubuğu,

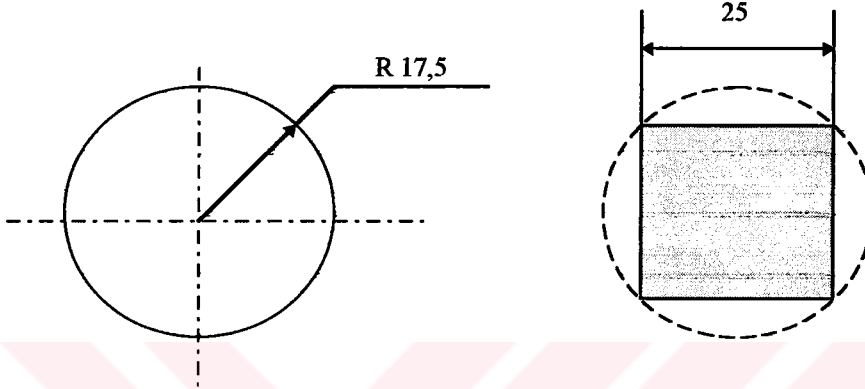
8.1, 8.3 : Al - % 8 Cu alaşımının 1 ve 3 numaralı çubuğu,

AU: Alt uç

ÜU: Üst uç

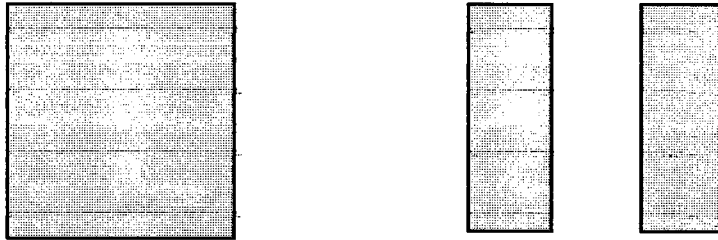
4.2 Haddeleme İşleminin Uygulanması

Haddeleme işleminin, alüminyum - bakır alaşımlarının mekanik ve korozyon özelliklerine ne gibi etkisi olduğunu belirlemek amacıyla yapılan bu işlemde, silindir şeklinde elde edilen alaşım çubukları, freze tezgahında işlenerek kare profil haline getirilmiştir. Yapılan bu işlem, Şekil 4.3'te çizim halinde belirtilmiştir.



Şekil 4.3 Silindir alaşım çubuğunun kare profil haline getirilmesi.

25 × 25 mm boyutuna ve kare prizma şekline getirilmiş olan alaşım çubukları, haddeleme işleminin kolaylıkla yapılabilmesi için uzunluğu boyunca ortalarından iki ayrı parçaya bölünmüştür. Bu işlem çizim halinde Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 Kare prizma şeklindeki çubuğun ikiye bölünmesi.

25 × 25 mm boyutlarındaki kare prizma şeklindeki çubuğun ikiye bölünmesi ile her bir çubuktan 25 × 11 mm boyutlarında ikişer adet haddeleme laması çıkarılmıştır. Düzenli ve hassas bir haddeleme işleminin yapılabilmesi için numunelerin yüzeyleri karşılıklı olarak birbirlerine paralel konuma getirilmiştir.

Haddeleme işlemi yapılmadan önce alaşım numunelerine, elektrik dirençli tavlama fırını içinde 450 °C sıcaklıkta, 2 saat süre ile homojenizasyon tavlaması uygulanmıştır (Çiğdem, 1998). Alaşım numunelerine öngörülen haddeleme yüzdesi % 60 olarak belirlenmiş (Akdoğan, 1998) ve haddeleme işlemine geçilmiştir. Numune kalınlıklarının, hadde makinesi silindirleri arasındaki mesafeden fazla olması ve hadde makinesinin bir defada istenen haddeleme yüzdesine uygun olmamasından dolayı, haddeleme işlemi kademeli şekilde yapılmıştır. Kademeli şekilde haddelenen numunelerin, kademelerdeki haddeleme yüzdesi ve kademeler arasındaki kalınlıkları ile son kalınlıkları Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Tavlama fırınında 450 °C sıcaklıkta sabit tutulan numuneler, fırından alındığı anda haddelenmiştir. Ara kademelerde ise; numune yine tavlama fırınında 450 °C sıcaklıkta bekletilerek rekristalizasyon tavlaması yapılmıştır.

Çizelge 4.9 Haddeleme işleminin kademeleri

Alaşım	İlk Kalınlık (mm)	1.Kademe		2.Kademe		3.Kademe	
		Haddeleme Yüzdesi	Kalınlık (mm)	Haddeleme Yüzdesi	Kalınlık (mm)	Haddeleme Yüzdesi	Kalınlık (mm)
Al - % 2 Cu (1)	11	27.27	8	22.50	6.2	21.774	4.85
Al - % 2 Cu (2)	11	27.72	7.95	23.27	6.1	20.61	4.85
Al - % 4 Cu (1)	11	26.36	8.1	24.69	6.1	21.80	4.77
Al - % 4 Cu (2)	11	26.36	8.1	24.69	6.1	21.80	4.77
Al - % 6 Cu (1)	11	27.27	8	25.00	6.0	19.66	4.82
Al - % 6 Cu (2)	11	26.36	8.1	25.30	6.05	20.33	4.82
Al - % 8 Cu (1)	11	27.27	8	23.75	6.1	18.03	5.00
Al - % 8 Cu (2)	11	27.72	7.95	23.27	6.1	18.03	5.00

4.3 Çökelme Sertleşmesi İşleminin Uygulanması

Çeşitli oranlarda bakır içeren, döküm halindeki Al - Cu deney alaşımlarının, hem mekanik hem de korozyon dayanımlarının incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Üç aşamada gerçekleştirilen bu işlemin safhalarını şöyle açıklayabiliriz.

1. Çözündürme ısıl işleminde; Alüminyum - Bakır alaşımı ikili faz diyagramından, alaşımlara uygulanacak olan ısıl işlem sıcaklıkları belirlenmiştir. Çözündürme tavlama ısıl işlem sıcaklık değerleri Çizelge 4.10' da verilmiştir. Bu işlem elektrik dirençli tavlama fırınında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.10 Çözme tavlama sıcaklık değerleri (Smith, 1993).

Alaşım	Al - % 2Cu	Al - % 4 Cu	Al - % 6 Cu	Al - % 8 Cu
Sıcaklık (°C)	515	500	480	480

2. Su verme işlemi ise; çözündürme tavlama uygulanmış olan numunelerin tavlama fırınından çıkarıldığı anda oda sıcaklığında (20 °C) bulunan su içine atılması ile gerçekleştirilmiştir.
3. Sudan çıkarılan numuneler, üç gün süre atmosfer ortamında doğal yaşlandırma işlemine bırakılmışlardır.

4.4 Korozyon Deneyleri

Alüminyum alaşımına, alaşımlama elementi olarak konmuş olan bakırın, elde edilen alaşımın kullanıldığı veya kullanılacağı çeşitli ortamlardaki korozyon dayanımının belirlenmesi amacıyla yapılmış olan bu deneysel çalışmalara, korozyon ortamlarının ve korozyon numunelerinin hazırlanması ile başlanmıştır.

4.4.1 Korozyon numunelerinin hazırlanması

İlk olarak yapılan deneme döküm çalışmasından elde edilen alaşım çubuklarından, deneysel çalışma için gerekli olan numuneler, birinci ve ikincisinden çıkarılmıştır. Her döküm çubuğunun yüzeyi torna tezgahına bağlanarak, bir paso işlemi ile, düzgün ve temiz yüzeyli hale getirilmiştir. Her bir korozyon çözeltisi için, ikişer adet, ortalama çapları 34,5 mm ve kalınlıkları 2,700 ile 4,830 mm arasında olan silindirik numuneler çıkarılarak, kenar kısımlarına yakın bir yerden 1 mm delik delinmiştir.

Deneme döküm çalışmasıyla elde edilen numuneler, korozyon çözeltilerinin ve konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla korozyon deneylerine tabi tutulmuşlardır. ikinci döküm çalışmasından çıkan alaşım çubuklarından çıkarılan numuneler. Referans olarak alınan her bir korozyon çözeltisi için döküm, çökelme sertleşmesi işlemi ve haddeme işlemi uygulanmış numuneler ayrı ayrı hazırlanmıştır.

İlk deneme döküm alaşımından elde edilen numunelerin boyutları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Korozyon çözeltileri ve konsantrasyonlarının belirlenmesi için kullanılan numunelerin boyutları.

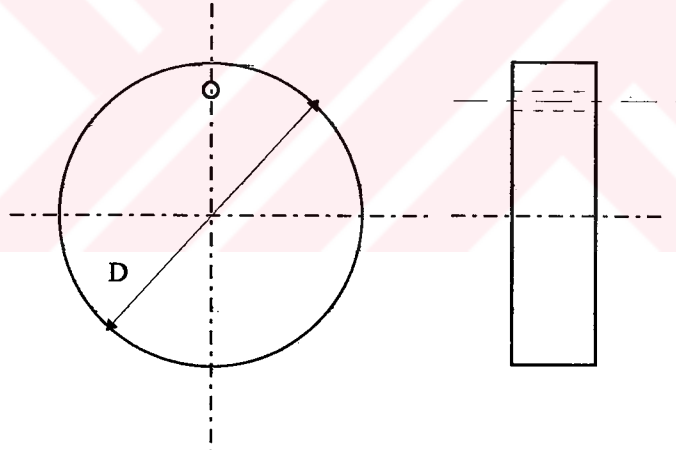
Döküm Al - % 2 Cu Alaşımı			
Numune No	Çap (mm)	Yarıçap (mm)	Kalınlık (mm)
1	34.47	17.235	4.185
2	34.30	17.150	4.515
3	34.30	17.150	4.185
4	34.49	17.245	3.770
5	32.98	16.490	4.820
6	33.80	16.900	4.830
7	34.53	17.265	4.560
8	34.37	17.185	2.700
Döküm Al - % 4 Cu Alaşımı			
Numune No	Çap (mm)	Yarıçap (mm)	Kalınlık (mm)
1	34.47	17.235	5.32
2	34.55	17.275	2.625
3	34.74	17.370	5.23
4	33.33	16.665	5.00
5	33.76	16.880	4.80
6	34.33	17.165	3.47
7	34.40	17.200	5.00
8	34.79	17.395	5.18

Çizelge 4.11 Korozyon çözeltileri ve konsantrasyonlarının belirlenmesi için kullanılan numunelerin boyutları (Devamı).

Döküm Al - % 6 Cu Alaşımı			
Numune No	Çap (mm)	Yarıçap (mm)	Kalınlık (mm)
1	33.95	16.975	4.74
2	33.71	16.855	5.00
3	34.54	17.270	3.55
4	34.52	17.260	4.04
5	34.52	17.260	5.27
6	34.72	17.360	4.23
7	34.23	17.115	2.72
8	35.18	17.590	6.40
Döküm Al - % 8 Cu Alaşımı			
Numune No	Çap (mm)	Yarıçap (mm)	Kalınlık (mm)
1	33.60	16.80	4.89
2	33.60	16.80	4.82
3	34.24	17.12	2.81
4	34.80	17.14	2.25
5	34.54	17.27	2.90
6	34.58	17.29	3.55
7	34.55	17.275	2.57
8	34.87	17.435	3.34

İkinci döküm çalışmasından elde edilen her bir alaşım gurubuna ait 4 alaşım çubuğunun birinci ve ikincisinden döküm halinde ve çökelme sertleşmesi uygulanmış halde korozyon deneylerine tabi tutmak için numuneler çıkarılmıştır.

Çubukların kesilmesinden önce, silindirik çubukların dış yüzeylerinin biraz gözenekli olmasından dolayı, torna tezgahında silindirik hale getirilmiş ve yüzeyleri tamamen düzeltilmiştir. Yüzey işlemleri bitirilen silindirik çubukların kesilmesi işlemi ile numuneler hazırlanmaya başlanmıştır. Ortalama kalınlıkları 3 mm ve ortalama çapları 33 mm olan silindirik numuneler, torna tezgahında yüzeyleri birbirine paralel olacak şekilde kesme kalemi ile kesilmişlerdir. Ortalama boyları 90 mm olan her bir alaşım çubuğundan ortalama olarak 18'er adet numune çıkarılmıştır. Çıkarılan bu numunelerin bir kısmı as - cast olarak bırakılmış ve diğer kalan yarı kısmına ise çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmıştır. Korozyon deneylerinde kullanılmış olan numunelerin çizimi Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.5 Hazırlanan korozyon numunelerinin çizimi

Alaşım çubuklarından üçüncüsüne ise haddeleme işlemi uygulanmış ve korozyon numuneleri hazırlanmıştır.

Korozyon deneyleri için hazırlanmış olan numunelerin boyutları Çizelge 4.12'de verilmektedir.

Çizelge 4.12 Korozyon deneyi için hazırlanan döküm numunelerin boyutları

Döküm Al - % 2 Cu Alaşımı			
Numune No	Çap (mm)	Yarı Çap (mm)	Kalınlık (mm)
1	29.80	14.90	2.83
2	29.80	14.90	2.46
3	29.80	14.90	2.90
4	29.80	14.90	2.73
5	29.80	14.90	2.73
6	29.80	14.90	2.61
7	29.80	14.90	2.68
8	33.05	16.525	2.73
9	33.05	16.525	2.90
10	33.05	16.525	2.77
11	33.05	16.525	2.94
12	33.05	16.525	2.98
13	33.05	16.525	2.80
14	33.05	16.525	2.70
15	33.05	16.525	2.77
16	33.05	16.525	2.40
17	33.05	16.525	2.90
18	33.05	16.525	2.65

Çizelge 4.12 Korozyon deneyi için hazırlanan döküm numunelerin boyutları (Devamı)

Döküm Al - % 4 Cu Alaşımı			
Numune No	Çap (mm)	Yarı Çap (mm)	Kalınlık (mm)
1	33.07	16.535	2.75
2	33.04	16.520	2.75
3	33.07	16.535	2.95
4	33.09	16.545	2.80
5	33.01	16.505	3.01
6	33.05	16.525	2.72
7	33.08	16.540	2.83
8	33.00	16.500	2.70
9	33.10	16.550	2.75
10	33.40	16.700	3.12
11	33.02	16.510	2.57
12	33.02	16.510	2.85
13	33.00	16.500	2.75
14	33.40	16.700	2.63
15	33.09	16.545	2.86
16	33.02	16.510	2.60
17	33.06	16.530	2.75
18	33.02	16.510	3.05

Çizelge 4.12 Korozyon deneyi için hazırlanan döküm numunelerin boyutları (Devamı)

Döküm Al - % 6 Cu Alaşımı			
Numune No	Çap (mm)	Yarı Çap (mm)	Kalınlık (mm)
1	33.55	16.775	2.80
2	33.55	16.775	2.65
3	32.95	16.475	2.43
4	33.05	16.525	2.46
5	33.55	16.775	2.84
6	33.55	16.775	2.75
7	33.00	16.500	2.40
8	33.05	16.525	2.73
9	33.55	16.775	3.00
10	32.95	16.475	2.85
11	33.55	16.775	2.38
12	33.55	16.775	2.69
13	32.95	16.475	2.39
14	32.95	16.475	2.22
15	32.95	16.475	2.78
16	33.55	16.775	2.90
17	32.95	16.475	2.60
18	32.95	16.475	2.73

Çizelge 4.12 Korozyon deneyi için hazırlanan döküm numunelerin boyutları (Devamı)

Döküm Al - % 8 Cu Alaşımı			
Numune No	Çap (mm)	Yarı Çap (mm)	Kalınlık (mm)
1	33.15	16.575	2.62
2	33.15	16.575	2.23
3	33.15	16.575	2.86
4	33.15	16.575	2.36
5	33.15	16.575	2.55
6	33.15	16.575	2.18
7	33.15	16.575	2.60
8	33.15	16.575	2.30
9	33.15	16.575	2.43
10	33.15	16.575	2.49
11	33.15	16.575	2.44
12	33.15	16.575	2.80
13	33.15	16.575	2.46
14	33.15	16.575	2.75
15	33.15	16.575	2.61
16	33.15	16.575	2.49
17	33.15	16.575	2.58
18	33.15	16.575	2.73

Çökelme sertleşmesi uygulanmış olan numunelere ait boyutlar da Çizelge 4.13'te verilmektedir.

Çizelge 4.13 Korozyon deneyi için hazırlanan çökelme sertleşmesi uygulanmış numunelerin boyutları

Çökelme Sertleşmesi Uygulanmış Al - % 2 Cu Alaşımı			
Numune No	Çap (mm)	Yarı Çap (mm)	Kalınlık (mm)
1	29.82	14.91	7.38
2	29.82	14.91	6.30
3	29.82	14.91	8.10
4	33.10	16.55	8.40
5	33.10	16.55	8.98
6	33.10	16.55	8.35
7	33.50	16.75	8.00
8	33.70	16.85	9.40
9	33.00	16.50	9.00
10	33.30	16.65	8.70
11	33.10	16.55	7.80
12	33.65	16.825	8.24
13	33.10	16.55	8.24
14	33.70	16.85	8.45
15	33.45	16.725	8.75
16	33.10	16.55	8.05
17	33.50	16.75	8.55
18	33.50	16.75	8.25

Çizelge 4.13 Korozyon deneyi için hazırlanan çökelme sertleşmesi uygulanmış numunelerin boyutları (Devamı)

Çökelme Sertleşmesi Uygulanmış Al - % 4 Cu Alaşımı			
Numune No	Çap (mm)	Yarı Çap (mm)	Kalınlık (mm)
1	33.50	16.75	7.11
2	33.50	16.75	8.15
3	33.00	16.50	7.46
4	33.50	16.75	7.68
5	33.00	16.50	9.05
6	33.00	16.50	7.78
7	33.00	16.50	5.26
8	33.50	16.75	6.89
9	33.50	16.75	6.18
10	33.50	16.75	6.35
11	33.50	16.75	8.10
12	33.50	16.75	6.30
13	33.50	16.75	8.90
14	33.00	16.50	8.65
15	33.50	16.75	8.32
16	33.50	16.75	7.31
17	33.50	16.75	8.31
18	33.50	16.75	2.77

Çizelge 4.13 Korozyon deneyi için hazırlanan çökelme sertleşmesi uygulanmış numunelerin boyutları (Devamı)

Çökelme Sertleşmesi Uygulanmış Al - % 6 Cu Alaşımı			
Numune No	Çap (mm)	Yarı Çap (mm)	Kalınlık (mm)
1	32.15	16.075	6.70
2	33.00	16.50	8.00
3	33.50	16.75	8.40
4	33.50	16.75	7.25
5	33.00	16.50	8.00
6	33.00	16.50	8.75
7	32.15	16.075	8.95
8	33.50	16.75	8.34
9	32.15	16.075	8.22
10	32.15	16.075	9.69
11	33.00	16.50	8.32
12	33.50	16.75	8.01
13	33.00	16.50	8.51
14	32.15	16.50	7.72
15	32.15	16.075	7.49
16	32.15	16.075	7.69
17	32.15	16.075	8.05
18	33.00	16.50	7.75

Çizelge 4.13 Korozyon deneyi için hazırlanan çökelme sertleşmesi uygulanmış numunelerin boyutları (Devamı)

Çökelme Sertleşmesi Uygulanmış Al - % 8 Cu Alaşımı			
Numune No	Çap (mm)	Yarı Çap (mm)	Kalınlık (mm)
1	32.50	16.25	5.80
2	33.10	16.55	5.52
3	33.10	16.55	7.72
4	33.10	16.55	3.67
5	33.10	16.55	8.18
6	33.10	16.55	6.00
7	33.00	16.50	7.15
8	33.10	16.55	6.27
9	33.10	16.55	6.20
10	32.50	16.25	7.25
11	32.50	16.25	5.47
12	33.00	16.50	5.71
13	33.10	16.55	5.36
14	32.10	16.55	9.08
15	32.50	16.25	6.21
16	33.10	16.55	7.33
17	33.10	16.55	6.06
18	33.00	16.50	6.18

Tüm ölçümler, 0,01 mm hassasiyetine sahip, Mitutoyo 500 - 151 U CD - 15 C Digimatic Caliper dijital kumpası ile yapılmıştır.

Haddemeleme deney numunelerinin boyutları ise; Çizelge 4.14'te verilmektedir.

Çizelge 4.14 Haddemeleme işlemi uygulanmış deney numunelerinin boyutları

Haddemeleme İşlemi Uygulanmış Al - % 2 Cu Alaşımı			
Numune No	Genişlik a (mm)	Boy b (mm)	Kalınlık t (mm)
1	16.00	30.45	4.85
↓	16.00	30.45	4.85
17	16.00	15.15	4.85
18	16.00	15.15	4.85
Haddemeleme İşlemi Uygulanmış Al - % 4 Cu Alaşımı			
Numune No	Genişlik a (mm)	Boy b (mm)	Kalınlık t (mm)
1	16.00	32.04	4.77
↓	16.00	32.04	4.77
18	16.00	32.04	4.77
Haddemeleme İşlemi Uygulanmış Al - % 6 Cu Alaşımı			
Numune No	Genişlik a (mm)	Boy b (mm)	Kalınlık t (mm)
1	16.00	29.80	4.82
↓	16.00	29.80	4.82
18	16.00	29.80	4.82
Haddemeleme İşlemi Uygulanmış Al - % 8 Cu Alaşımı			
Numune No	Genişlik a (mm)	Boy b (mm)	Kalınlık t (mm)
1	16.00	30.22	5.00
↓	16.00	30.22	5.00
18	16.00	30.22	5.00

4.4.1.1 Döküm, çökelme sertleşmesi işlemi ve haddelme işlemi uygulanmış numunelerin yüzeylerinin hazırlanması

Döküm, çökelme sertleşmesi işlemi ve haddelme işlemi uygulanmış numunelerin yüzeyleri, her üç durum için de aynı şekilde hazırlanmıştır.

Numune yüzeyleri önce, sırasıyla; 60, 120, 280, 320, 400, 500 ve 600 numaralı aşındırıcı zımparalar ile zımparalanmış ve yüzeylerdeki zımpara izleri giderilinceye kadar çuha üzerinde önce krom oksit (Cr_2O_3), sonra alüminyum oksit (Al_2O_3) ile parlatılmışlardır. % 50 metil alkol + % 50 di isopropil eter çözeltisinde yıkanarak yağları giderilen numunelerin Çap ve kalınlıkları 0.01 mm hassasiyetindeki Miyutoyo 500 - 151 U CD - 15 C Digimatic Caliper dijital kumpası ile ölçülmüştür. Aseton ile yıkanarak havada kurutulan numuneler, deney yapılıncaya kadar desikatörde saklanmışlardır (Akdoğan, 1987).

4.4.2 Korozyon ortamlarının ve şartların belirlenmesi

Yapılmış olan deneysel çalışmada, ilk olarak korozyon ortamlarının belirlenmesi amacıyla, kullanılan çözelti ve konsantrasyonları literatür çalışması sonucunda belirlenmiştir.. Bu çözelti, Hidroklorik asit (HCl), sülfürik asit (H_2SO_4), sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum klorür (NaCl) tuz çözeltileri olarak belirlenmiş ve bu çözeltilerin derişimleri % 10 olarak tespit edilmiştir (Akdoğan, 1987). Çözeltiler deney süresince karıştırılmamış ve buharlaşmanın önlenmesi amacıyla ağızları kapatılmıştır. Numuneler, korozyon çözeltilerine çelik tele geçirilerek bağlanmıştır. Numunelerin, çözeltilerin içinde; 25 ± 2 °C sabit sıcaklıkta, 100 saat süre ile bekletilmesi planlanmıştır. Ancak referans olarak seçilen çözelti konsantrasyonlarının çok fazla miktarda ve alüminyum - bakır alaşımlarının, literatürde de belirtildiği gibi asit ve bazlara karşı korozyon dayanımlarının çok hassas olması dolayısıyla (Akdoğan, 1997), numuneler 12 saat gibi kısa bir süre içinde tamamen bozunmaya uğramışlardır.

Yapılan bu ön korozyon deneylerinden sonra, hazırlanan yeni numuneler için, yeni korozyon ortamlarının belirlenmesi çalışması yapılmıştır. İkinci ön deneysel çalışmada

referans alınan korozyon çözeltileri ve konsantrasyonları, sırasıyla; % 2, % 4,5 ve % 6 lık NaCl çözeltileri ve yine sırasıyla; % 2 ve %4,5 luk sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltileridir.

Yapılan ikinci deneysel çalışmada, çözelti miktarlarının belirlenmesi için;

$$s = 2\pi \times (R^2 + R \times t + r \times t) \quad (4.1)$$

bağıntısından faydalanılarak, numunelerin yüzey alanları hesaplanmıştır. Birim alan için (cm^2) 40ml çözelti esas alınmıştır (ASTM Standarts, 1983; Akdoğan, 1987). Yukarıdaki bağıntıda;

- S : Numune yüzeyinin kesit alanı, (cm^2)
 D : Numune çapı, (cm)
 d : Delik çapı (cm)
 t : Numune kalınlığıdır. (cm)

Yapılan literatür çalışmaları sonucunda, daha önce yapılmış olan bu tip alüminyum - bakır alaşımlarının korozyon dayanımlarının incelendiği çalışmalar dikkate alınarak (Gest vd., 1973; Muller vd., 1977; Yinsel vd., 1988, Akdoğan, 1998), korozyon ortamları, sırasıyla; % 2, % 3,5 ve % 5 lik sodyum klorür (NaCl) çözeltisi ve % 2 ile % 3,5 luk sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisi olarak belirlenmiştir.

Bunlara ek olarak; yine yapılan literatür taraması sonucu elde edilen bilgiler ışığında (<http://www.alu-info.dk/Html/alulib/modul/A00214.htm>) alüminyum - bakır alaşımlarına uygulanabilecek bir test yöntemi olan EXCO test yöntemi (ASTM G 34) denenmiştir.

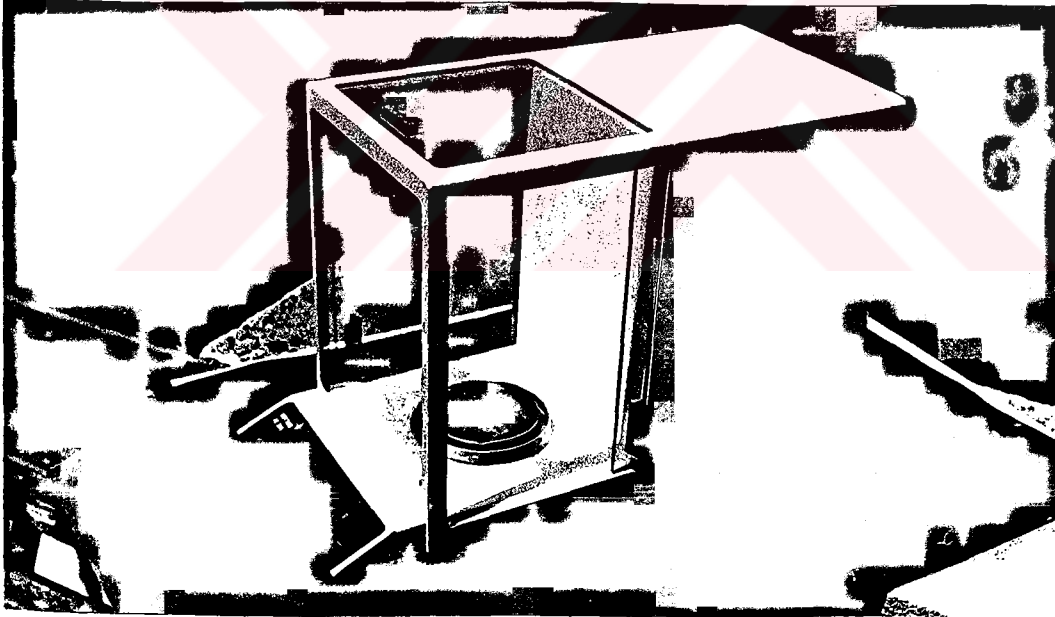
EXCO çözelti bileşimi; 234 gr NaCl + 50 gr KNO_3 + 6,3 ml konsantre HNO_3 'ün 1 litre su içinde çözündürülmesiyle elde edilmektedir. $6,5 cm^2$ lik alan başına en az 50 ml çözelti kullanılmaktadır.

Korozyon ortamlarının hazırlanmasında, Merck ve Riedel De Haen marka kimyasal maddeler kullanılmıştır.

4.5 Deneyin Yapılışı

Her bir alaşıma ait olan; döküm, çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış ve haddeleme işlemi uygulanmış numuneler, % 2, % 3,5 ve % 5 NaCl, % 2 ve % 3,5 H₂SO₄ ve EXCO çözeltilerinde ayrı ayrı korozyona uğratılmışlardır.

Deney için hazırlanan numuneler; Şekil 4.6'da gösterilen ve 0,0001 gr hassasiyetindeki Mettler Toledo AE 200 marka dijital terazide tartılmış, misinaya geçirilerek gerekli miktarlarda çözeltiler bulunan 1'er litrelik beher kapları içine daldırılmışlardır. Beherlerin ağızları styropor köpük ile sıkıca kapatılmış, 25 ± 2 °C sıcaklıktaki etüvde 100 saat bekletilmiştir (Akdoğan, 1987).



Şekil 4.6 Tartımların yapıldığı dijital terazi

ASTM G34'e göre yapılan EXCO testinde de aynı yöntem kullanılmış, fakat deney süresi olarak 48 saat referans alınmıştır.

Deney sonucunda çözeltilerin içerisinde çıkarılan numuneler, önce saf suda sonra asetonda yıkanmış, havada asılarak kurutulmuş ve ilk tartımları alınmıştır. Temizleme çözeltisi olarak 450 ml H_2SO_4 (% 98) + 50 ml saf su karışımı hazırlanmıştır. Bu çözelti içinde 3'er dakika bekletilen her numune, kıl fırça ile fırçalanarak yüzeyindeki korozyon tabakası giderilmeye çalışılmıştır. Aseton ile yıkanıp, havada kurutulan numunelerin ikinci tartımları alınmıştır.

Bu işlemler sonunda, numune yüzeylerinde kalması muhtemel olan son korozyon tabakasının giderilmesi için numuneler sıvı sabun çözeltisinde tekrar fırçalanarak, saf su ile yıkanmışlardır. Aseton ile yıkanan numuneler, havada kurutularak son kez tartılmışlardır.

ASTM G 34'e göre hazırlanan EXCO çözeltisi içinden çıkarılan çözeltiler, ASTM G1 standardına göre, oda sıcaklığındaki saf nitrik asit (HNO_3) içinde korozyon tabakası giderilinceye kadar bekletilmiştir. Her numune için, deneyden önceki ve sonraki son tartım değerleri dikkate alınarak ağırlık kaybı ve korozyon hızı değerleri hesaplanmıştır. Korozyon hızı;

$$Korozyon\ Hızı = \frac{(K \times W)}{(S \times T)} \quad (4.2)$$

bağıntısı yardımıyla (Akdoğan, 1987), $gr / m^2 \cdot saat$ birimi cinsinden (Doruk, 1987) hesaplanmıştır. Bu bağıntıda;

K : Alışma bağlı sabit değer

W : Ağırlık kaybı (gr)

T : Zaman (saat)

S : Yüzey alanı (m^2)

Yukarıda verilen bağıntıdaki K sabit değeri; korozyon hızının ($gr / m^2 \cdot saat$) cinsinden hesaplandığı koşullarda;

$$K = 10^4 \times \gamma \quad (4.3)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmaktadır (Doruk, 1987).

Bu bağıntıda;

γ : Alaşım yoğunluğu (gr / cm³)' nu ifade etmektedir.

Her bir alaşıma ait yoğunluklar, alaşımlardan kesilen parçalar yardımıyla gr / cm³ cinsinden hesaplanmış ve Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15 Alaşımların yoğunlukları

Alaşım	Al - % 2 Cu	Al - % 4 Cu	Al - % 6 Cu	Al - % 8 Cu
Yoğunluk (gr/cm ³)	2.715961221	2.774721377	2.790803957	2.80660671

Her bir alaşımın yoğunluğu hesaplandıktan sonra, (4.3) bağıntısı yardımıyla K sabit değerleri hesaplanmış ve bu değerler Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16 Her bir alaşımın hesaplanan K sabit değeri

Alaşım	Al - % 2 Cu	Al - % 4 Cu	Al - % 6 Cu	Al - % 8 Cu
K	27159.61221	27747.21377	27908.03957	28066.0671

İlk yapılan döküm ve korozyon çalışmasına bağlı kalarak elde edilen ağırlık tartımları Çizelge 4. 17'de verilmektedir.

Korozyon çözeltilerinde 100 saat ve EXCO çözeltisi içinde 48 saat bekletilerek korozyona uğratılan numunelerin, ağırlık kayıpları Çizelge 4.18'de ve hesaplanan korozyon hızları da Çizelge 19' da gösterilmektedir.

Çizelge 4.17 Numunelerinin, deney öncesi ve sonrasındaki ağırlıkları.

DÖKÜM, Al – % 2 Cu Alaşımı				
Numune No	W ₀ (gr)	W ₁ (gr)	W ₂ (gr)	ÇÖZELTİ
1	5.2177	5.2168	5.2159	% 2 NaCl
2	4.6500	4.6493	4.6482	
3	5.2486	5.2479	5.2468	
4	5.0084	5.0068	5.0066	% 3,5 NaCl
5	5.1718	5.1706	5.1703	
6	4.6246	4.6231	4.6226	
7	5.0903	5.0874	5.0867	% 5 NaCl
8	6.2956	6.2934	6.2922	
9	6.6469	6.6437	6.6434	
10	6.4775	6.4221	6.4214	% 2 H ₂ SO ₄
11	6.8334	6.7777	6.7771	
12	6.8322	6.7769	6.7763	
13	6.3943	6.3392	6.3364	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	6.2856	6.2279	6.2272	
15	6.4078	6.3528	6.3489	
16	5.2505	5.2298	5.2288	EXCO
17	6.8842	6.8642	6.8633	
18	6.1142	6.0989	6.0936	

W₀ : Deneye başlamadan önceki ağırlık değeri (gr),

W₁ : Çözeltiden çıkarılıp, ilk temizleme işlemi yapıldıktan sonraki ağırlık değeri (gr)

W₂ : Son tartım değeri (gr)

Çizelge 4.17 Numunelerinin, deney öncesi ve sonrasındaki ağırlıkları (Devamı).

DÖKÜM, Al - % 4 Cu Alaşımı				
Numune No	W₀ (gr)	W₁ (gr)	W₂ (gr)	ÇÖZELTİ
1	6.7059	6.7033	6.7027	% 2 NaCl
2	6.4089	6.3949	6.3946	
3	7.0292	7.0196	7.0191	
4	6.8759	6.8688	6.85833	% 3,5 NaCl
5	7.2562	7.2425	7.2388	
6	6.6634	6.6517	6.6457	
7	6.9985	6.9846	6.9794	% 5 NaCl
8	6.3833	6.3651	6.3646	
9	6.6873	6.7063	6.7061	
10	7.4165	7.3750	7.3738	% 2 H ₂ SO ₄
11	6.0652	6.0224	6.0221	
12	6.4985	6.4559	6.4553	
13	6.5062	6.4328	6.4244	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	6.3790	6.3001	6.2969	
15	6.8949	6.8181	6.8127	
16	6.1187	6.0951	6.0877	EXCO
17	6.5659	6.5437	6.5350	
18	7.1681	7.1463	7.1368	

Çizelge 4.17 Numunelerinin, deney öncesi ve sonrasındaki ağırlıkları (Devamı).

DÖKÜM, Al - % 6 Cu Alaşımı				
Numune No.	W₀ (gr)	W₁ (gr)	W₂ (gr)	ÇÖZELTİ
1	6.7896	6.7882	6.7847	% 2 NaCl
2	6.5515	6.5496	6.5466	
3	5.4790	5.4771	5.4742	
4	5.8776	5.8754	5.8705	% 3,5 NaCl
5	6.9434	6.9405	6.9365	
6	6.5285	6.5251	6.5213	
7	5.5815	5.4920	5.4881	% 5 NaCl
8	6.3076	6.2225	6.2176	
9	7.1542	7.1492	7.1449	
10	5.8446	5.7953	5.7892	% 2 H ₂ SO ₄
11	5.8546	5.8082	5.7997	
12	6.3909	6.2819	6.2812	
13	5.6435	5.5662	5.5638	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	5.1549	5.0793	5.0758	
15	6.5105	6.4353	6.4316	
16	5.1549	6.7733	6.7609	EXCO
17	6.8018	5.9465	5.9326	
18	6.1438	6.1111	6.1026	

Çizelge 4.17 Numunelerinin, deney öncesi ve sonrasındaki ağırlıkları (Devamı).

DÖKÜM, Al - % 8 Cu Alaşımı				
Numune No.	W ₀ (gr)	W ₁ (gr)	W ₂ (gr)	ÇÖZELTİ
1	6.0250	6.0226	6.0198	% 2 NaCl
2	5.2029	5.2012	5.1977	
3	6.5898	6.5874	6.5847	
4	5.5192	5.5161	5.5118	% 3,5 NaCl
5	6.1478	6.1449	6.1403	
6	5.1583	5.1553	5.1509	
7	6.2549	6.2476	6.2422	% 5 NaCl
8	5.4882	5.4805	5.4766	
9	5.8395	5.8306	5.8272	
10	5.7801	5.7060	5.7042	% 2 H ₂ SO ₄
11	6.7803	6.7047	6.7040	
12	6.7906	6.7124	6.7119	
13	5.9269	5.8274	5.8230	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	6.5551	6.4565	6.4508	
15	6.4177	6.3171	6.3140	
16	6.0512	6.0226	6.0078	EXCO
17	6.1400	6.1098	6.0972	
18	6.6108	6.5853	6.5671	

Çizelge 4.17 Numunelerinin, deney öncesi ve sonrasındaki ağırlıkları (Devamı).

ÇÖKELME SERTLEŞMESİ UYGULANMIŞ, Al - % 2 Cu Alaşımı				
Numune No	W₀ (gr)	W₁ (gr)	W₂ (gr)	ÇÖZELTİ
1	13.7075	13.7040	13.7039	% 2 NaCl
2	11.8530	11.8515	11.8495	
3	14.5923	14.5915	14.5886	
4	19.5376	19.5334	19.5333	% 3,5 NaCl
5	20.9795	20.9774	20.9751	
6	18.6628	18.6599	18.6587	
7	19.0770	19.0724	19.0721	% 5 NaCl
8	21.4397	21.4351	21.4346	
9	20.6563	20.6519	20.6513	
10	19.4468	19.4386	19.4363	% 2 H₂SO₄
11	17.8523	17.8168	17.8141	
12	19.0384	19.1518	19.0275	
13	19.2949	19.1521	19.1511	% 3,5 H₂SO₄
14	20.4792	20.3376	20.3369	
15	20.6289	20.4875	20.4857	
16	18.0800	18.0437	18.0429	EXCO
17	20.0993	20.0638	20.0625	
18	5.2095	5.1734	5.1726	

Çizelge 4.17 Numunelerinin, deney öncesi ve sonrasındaki ağırlıkları (Devamı).

ÇÖKELME SERTLEŞMESİ UYGULANMIŞ, Al - % 4 Cu Alaşımı				
Numune No.	W₀ (gr)	W₁ (gr)	W₂ (gr)	ÇÖZELTİ
1	18.6824	18.6713	18.6697	% 2 NaCl
2	19.4529	19.4460	19.4554	
3	17.8010	17.7878	17.7998	
4	18.3354	18.3228	18.3386	% 3,5 NaCl
5	21.4655	21.4487	21.4484	
6	18.2768	18.2548	18.2713	
7	12.5003	12.4863	12.5047	% 5 NaCl
8	16.5647	16.5477	16.5672	
9	14.8228	14.8050	14.8228	
10	15.2401	15.1574	15.2401	% 2 H₂SO₄
11	19.5013	19.4117	19.4933	
12	15.2922	15.2078	15.2759	
13	21.1080	20.9587	21.0993	% 3,5 H₂SO₄
14	20.3798	20.2457	20.2388	
15	19.9487	19.7974	19.9364	
16	17.5566	17.5138	17.5119	EXCO
17	19.6066	17.8496	17.8470	
18	6.7412	6.6975	6.6966	

Çizelge 4.17 Numunelerinin, deney öncesi ve sonrasındaki ağırlıkları (Devamı).

ÇÖKELME SERTLEŞMESİ UYGULANMIŞ, Al - % 6 Cu Alaşımı				
Numune No	W₀ (gr)	W₁ (gr)	W₂ (gr)	ÇÖZELTİ
1	14.9963	14.9836	14.9831	% 2 NaCl
2	18.9367	18.9236	18.9230	
3	20.2480	20.2357	20.2341	
4	17.5489	17.5368	17.5362	% 3,5 NaCl
5	18.4295	18.4181	18.4162	
6	20.6388	20.6266	20.6259	
7	20.1963	20.1845	20.1814	% 5 NaCl
8	20.2360	20.2262	20.2216	
9	18.5497	18.5367	18.5350	
10	19.7905	19.7110	19.6977	% 2 H ₂ SO ₄
11	18.7726	18.6817	18.6794	
12	17.8356	16.9158	16.9106	
13	21.8480	21.6866	21.6839	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	18.6182	18.4535	18.4534	
15	16.1420	15.9871	15.9776	
16	17.3286	17.2692	17.2677	EXCO
17	17.8915	17.8321	17.8304	
18	18.3826	18.3227	18.3219	

Çizelge 4.17 Numunelerinin, deney öncesi ve sonrasındaki ağırlıkları (Devamı).

ÇÖKELME SERTLEŞMESİ UYGULANMIŞ, Al - % 8 Cu Alaşımı				
Numune No	W ₀ (gr)	W ₁ (gr)	W ₂ (gr)	ÇÖZELTİ
1	12.6228	12.6104	12.6098	% 2 NaCl
2	12.5231	12.5092	12.5088	
3	17.1796	17.1600	17.1545	
4	8.1584	8.1468	8.1457	% 3,5 NaCl
5	19.8296	19.8155	19.8136	
6	14.5627	14.5457	14.5449	
7	17.3442	17.3270	17.3258	% 5 NaCl
8	14.9794	14.9569	14.9553	
9	15.0317	14.9973	14.9964	
10	17.0487	16.9560	16.9548	% 2 H ₂ SO ₄
11	11.8075	11.8020	11.7087	
12	13.4362	13.3087	13.3061	
13	20.1491	20.0162	19.9978	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	21.1994	21.7380	21.0152	
15	14.6219	14.4438	14.4412	
16	17.3984	17.3264	17.3250	EXCO
17	14.1438	14.0721	14.0707	
18	14.4434	14.3713	14.3701	

Çizelge 4.17 Numunelerinin, deney öncesi ve sonrasındaki ağırlıkları (Devamı).

HADDELEME İŞLEMİ UYGULANMIŞ, Al - % 2 Cu Alaşımı				
Numune No.	W₀ (gr)	W₁ (gr)	W₂ (gr)	ÇÖZELTİ
1	5.8535	5.8523	5.8515	% 2 NaCl
2	6.6767	6.6750	6.6746	
3	5.5850	5.5833	5.5829	
4	5.9459	5.9422	5.9420	% 3,5 NaCl
5	6.9294	6.9292	6.9289	
6	5.8344	5.8336	5.8331	
7	5.5183	5.5148	5.5140	% 5 NaCl
8	5.5132	5.5097	5.5088	
9	5.5565	5.5526	5.5522	
10	5.5004	5.4790	5.4787	% 2 H ₂ SO ₄
11	5.5814	5.5594	5.5593	
12	5.9151	5.8941	5.8938	
13	6.7078	6.6767	6.6764	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	5.5906	5.5590	5.5588	
15	5.6915	5.6606	5.6600	
16	5.7404	5.7359	5.7351	EXCO
17	2.6831	2.6785	2.6777	
18	2.4510	2.4462	2.4456	

Çizelge 4.17 Numunelerinin, deney öncesi ve sonrasındaki ağırlıkları (Devamı).

HADDELEME İŞLEMİ UYGULANMIŞ, Al - % 4 Cu Alaşımı				
Numune No	W₀ (gr)	W₁ (gr)	W₂ (gr)	ÇÖZELTİ
1	5.6264	5.6238	5.6223	% 2 NaCl
2	5.4535	5.4507	5.4495	
3	6.1645	6.1621	6.1605	
4	6.6027	6.6028	6.6021	% 3,5 NaCl
5	6.2056	6.2007	6.1995	
6	6.3761	6.3715	6.3701	
7	5.9411	5.9356	5.9344	% 5 NaCl
8	5.8356	5.8297	5.8290	
9	4.8422	4.8364	4.8355	
10	5.6310	5.6041	5.6038	% 2 H ₂ SO ₄
11	5.3291	5.3034	5.3021	
12	6.1186	6.0924	6.0917	
13	6.2107	6.1728	6.1704	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	5.7786	5.7397	5.7385	
15	5.9109	5.8721	5.8709	
16	5.1575	5.1472	5.1429	EXCO
17	6.2141	6.2016	6.1991	
18	5.8721	5.8592	5.8573	

Çizelge 4.17 Numunelerinin, deney öncesi ve sonrasındaki ağırlıkları (Devamı).

HADDELEME İŞLEMİ UYGULANMIŞ, Al - % 6 Cu Alaşımı				
Numune No	W ₀ (gr)	W ₁ (gr)	W ₂ (gr)	ÇÖZELTİ
1	5.8194	5.8197	5.8155	% 2 NaCl
2	6.3859	6.3867	6.3817	
3	5.9678	5.9649	5.9635	
4	6.0068	6.0047	6.0002	% 3,5 NaCl
5	5.7411	5.7395	5.7347	
6	5.1844	5.1806	5.1779	
7	5.7563	5.7543	5.7490	% 5 NaCl
8	5.7269	5.7256	5.7197	
9	5.3352	5.3297	5.3281	
10	6.0150	5.9699	5.9678	% 2 H ₂ SO ₄
11	5.9075	5.8629	5.8605	
12	6.3393	6.2963	6.2920	
13	5.8030	5.7482	5.7439	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	6.0162	5.9584	5.9568	
15	5.9414	5.8887	5.8824	
16	5.8607	5.8371	5.8307	EXCO
17	6.0746	6.0517	6.0449	
18	5.9195	5.8924	5.8897	

Çizelge 4.17 Numunelerinin, deney öncesi ve sonrasındaki ağırlıkları (Devamı).

HADDELEME İŞLEMİ UYGULANMIŞ, Al - % 8 Cu Alaşımı				
Numune No	W₀ (gr)	W₁ (gr)	W₂ (gr)	ÇÖZELTİ
1	5.8100	5.8078	5.8030	% 2 NaCl
2	6.1416	6.1396	6.1345	
3	6.3158	6.3152	6.3087	
4	5.9471	5.9412	5.9392	% 3,5 NaCl
5	6.2488	6.2456	6.2410	
6	6.5214	6.5198	6.5136	
7	6.2757	6.2711	6.2674	% 5 NaCl
8	5.4130	5.4073	5.4048	
9	5.9420	5.9385	5.9337	
10	6.6012	6.5416	6.5384	% 2 H ₂ SO ₄
11	6.5242	6.4724	6.4620	
12	6.3787	6.3232	6.3165	
13	6.2215	6.1409	6.1372	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	5.7901	5.7123	5.7052	
15	5.3960	5.3254	5.3113	
16	5.6129	5.5831	5.5788	EXCO
17	6.0914	6.0635	6.0575	
18	6.0246	5.9965	5.9904	

Çizelge 4.18 Korozyon deneyi sonucunda alaşımların ağırlık kayıpları (ΔW).

Numune No	DÖKÜM ALAŞIMLARIN AĞIRLIK KAYIPLARI				Çözelti
	Al - % 2 Cu	Al - % 4 Cu	Al - % 6 Cu	Al - % 8 Cu	
	ΔW (gr)	ΔW (gr)	ΔW (gr)	ΔW (gr)	
1	0.0018	0.0032	0.0049	0.0052	% 2 NaCl
2	0.0018	0.0030	0.0049	0.0052	
3	0.0018	0.0031	0.0048	0.0051	
4	0.0018	0.0176	0.0205	0.0274	% 3,5 NaCl
5	0.0018	0.0174	0.0208	0.0275	
6	0.0020	0.0177	0.0206	0.0274	
7	0.0036	0.0191	0.0294	0.0327	% 5 NaCl
8	0.0034	0.0187	0.0294	0.0326	
9	0.0035	0.0188	0.0293	0.0323	
10	0.0554	0.0427	0.0554	0.0759	% 2 H ₂ SO ₄
11	0.0562	0.0431	0.0549	0.0763	
12	0.0559	0.0432	0.0548	0.0787	
13	0.0579	0.0818	0.0797	0.1039	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	0.0584	0.0821	0.0791	0.1043	
15	0.0589	0.0822	0.0789	0.1037	
16	0.0217	0.0310	0.0409	0.0434	EXCO
17	0.0209	0.0309	0.0412	0.0428	
18	0.0206	0.0313	0.0412	0.0437	

Çizelge 4.18 Korozyon deneyi sonucunda alaşımların ağırlık kayıpları (Devamı).

Numune No	ÇÖKELME SERTLEŞMESİ UYGULANMIŞ ALAŞIMLAR				Çözelti
	Al - % 2 Cu	Al - % 4 Cu	Al - % 6 Cu	Al - % 8 Cu	
	ΔW (gr)	ΔW (gr)	ΔW (gr)	ΔW (gr)	
1	0.0036	0.0127	0.0132	0.0151	% 2 NaCl
2	0.0035	0.0123	0.0137	0.149	
3	0.0037	0.0129	0.0139	0.0153	
4	0.0043	0.0169	0.0238	0.0317	% 3,5 NaCl
5	0.0044	0.0171	0.0229	0.315	
6	0.0041	0.0170	0.0234	0.0312	
7	0.0049	0.0212	0.0449	0.0564	% 5 NaCl
8	0.0051	0.0214	0.0443	0.0568	
9	0.0050	0.0212	0.0447	0.0564	
10	0.1005	0.0832	0.0928	0.1321	% 2 H ₂ SO ₄
11	0.1012	0.0824	0.0932	0.1310	
12	0.1009	0.0833	0.0925	0.1301	
13	0.1438	0.1417	0.1641	0.1823	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	0.1423	0.1410	0.1648	0.1832	
15	0.1431	0.1408	0.1644	0.1807	
16	0.0371	0.0447	0.0609	0.0734	EXCO
17	0.0368	0.0445	0.0611	0.0731	
18	0.0369	0.0446	0.0607	0.0733	

Çizelge 4.18 Korozyon deneyi sonucunda alaşımların ağırlık kayıpları (Devamı).

Numune No	HADDELEME İŞLEMİ UYGULANMIŞ ALAŞIMLAR				Çözelti
	Al - % 2 Cu	Al - % 4 Cu	Al - % 6 Cu	Al - % 8 Cu	
	ΔW (gr)	ΔW (gr)	ΔW (gr)	ΔW (gr)	
1	0.0020	0.0041	0.0043	0.0070	% 2 NaCl
2	0.0021	0.0040	0.0042	0.0071	
3	0.0021	0.0040	0.0043	0.0071	
4	0.0039	0.0060	0.0066	0.0079	% 3,5 NaCl
5	0.0040	0.0061	0.0064	0.0078	
6	0.0041	0.0060	0.0065	0.0078	
7	0.0043	0.0067	0.0073	0.0083	% 5 NaCl
8	0.0044	0.0066	0.0072	0.0082	
9	0.0043	0.0067	0.0073	0.0083	
10	0.0217	0.0272	0.0472	0.0628	% 2 H ₂ SO ₄
11	0.0221	0.0270	0.0470	0.0622	
12	0.0218	0.0269	0.0473	0.0622	
13	0.0314	0.0403	0.0591	0.0843	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	0.0318	0.0401	0.0594	0.0849	
15	0.0315	0.0400	0.0590	0.0845	
16	0.0053	0.0146	0.0300	0.0341	EXCO
17	0.0054	0.0150	0.0297	0.0339	
18	0.0054	0.0148	0.0298	0.0342	

Çizelge 4.19 Korozyon hızları (KH).

Numune No	DÖKÜM ALAŞIMLAR				Çözelti
	Al - % 2 Cu	Al - % 4 Cu	Al - % 6 Cu	Al - % 8 Cu	
	KH (gr/m ² h)	KH (gr/m ² h)	KH (gr/m ² h)	KH (gr/m ² h)	
1	2.929552098	4.412624836	6.599842689	7.270744292	% 2 NaCl
2	2.993780565	4.143784976	6.652113216	7.425528448	
3	2.917709485	4.229732406	6.818639531	7.040608079	
4	2.946637777	24.17804404	28.91025371	38.85112727	% 3,5 NaCl
5	2.946637777	24.01837238	27.95707736	38.59545249	
6	3.297117198	24.47372818	27.81914255	39.23390512	
7	5.91051132	26.21162040	41.71412108	45.77072308	% 5 NaCl
8	4.734429513	25.95668292	40.30912528	46.37514979	
9	4.691933946	25.88073123	39.05518519	45.62584651	
10	74.77989441	56.70289233	76.94401362	106.7674482	% 2 H ₂ SO ₄
11	75.18027715	60.17600635	75.60869459	107.7205398	
12	74.62169062	59.42086475	74.23827082	108.9913429	
13	78.02998798	113.2405931	113.4642254	146.5281372	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	79.12380620	111.8584517	113.6613306	144.8280447	
15	79.50425597	112.5643451	109.9913989	145.0729623	
16	62.24745395	90.02568615	114.1695965	127.3069623	EXCO
17	58.36989254	88.81926781	120.8154987	124.9417380	
18	58.30161652	88.75251341	119.9764851	126.5522425	

Çizelge 4.19 Korozyon hızları (Devamı).

Numune No	ÇÖKELME SERTLEŞMESİ UYGULANMIŞ ALAŞIMLAR				Çözelti
	Al - % 2 Cu	Al - % 4 Cu	Al - % 6 Cu	Al - % 8 Cu	
	KH (gr/m ² h)	KH (gr/m ² h)	KH (gr/m ² h)	KH (gr/m ² h)	
1	4.630875633	13.90951369	15.86931507	18.6730767	% 2 NaCl
2	4.736842504	12.89756821	14.90540688	18.08499172	
3	4.607384004	14.27513261	14.51118835	16.85278742	
4	4.456034511	18.06889054	26.06163820	42.08301750	% 3,5 NaCl
5	4.454067711	17.72246378	24.91487720	38.39024805	
6	4.257478348	18.55919718	24.68784748	37.04542754	
7	5.060337328	25.88587754	49.03049073	63.97423421	% 5 NaCl
8	4.931672358	23.66077276	46.36066722	66.62638586	
9	5.082406372	24.18112416	50.30863628	66.36518437	
10	101.8742804	94.18611932	98.37061996	153.0664932	% 2 H ₂ SO ₄
11	107.5089294	86.58053342	100.0668793	164.5157376	
12	102.4211922	94.50827708	98.11873297	157.3534172	
13	149.9990835	144.1557873	174.8257165	222.9204865	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	142.8713632	148.5025046	181.4152953	190.8784782	
15	143.7031556	146.6195291	190.8799812	219.2888721	
16	81.25887433	101.1286821	146.0452580	171.2439960	EXCO
17	77.42046718	96.57942986	144.2935495	180.3336575	
18	78.58086924	124.9691289	139.8587089	180.7865518	

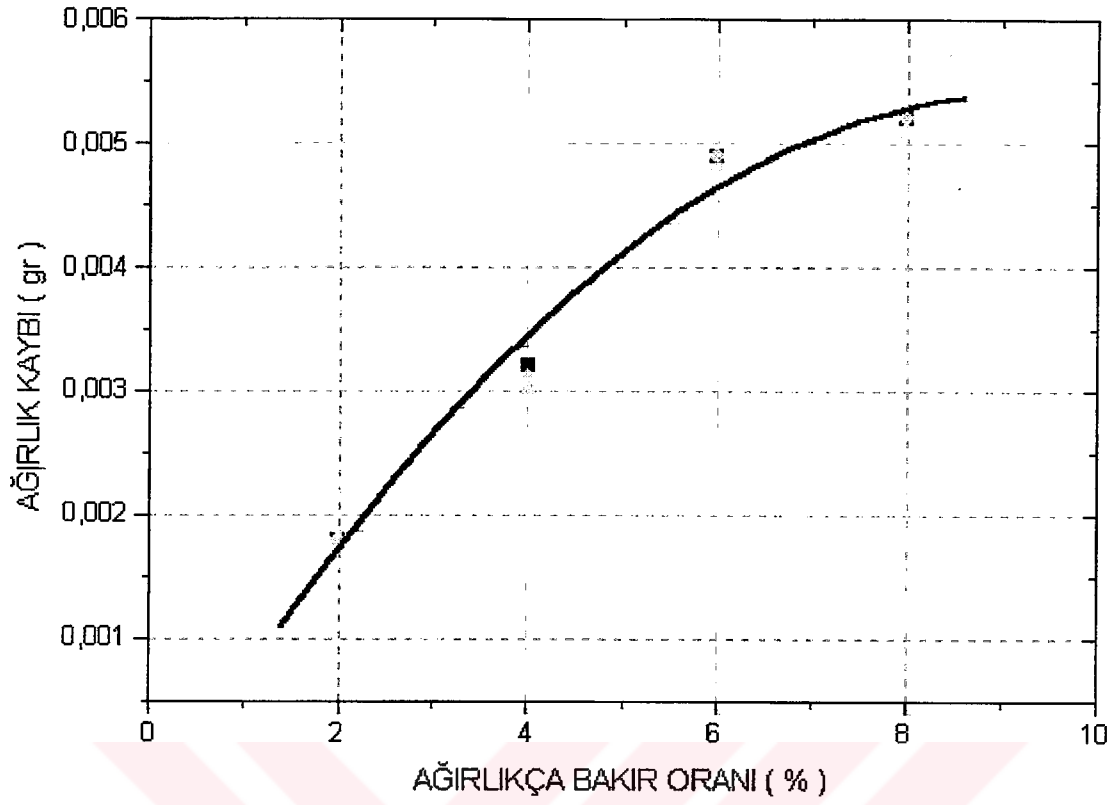
Çizelge 4.19 Korozyon hızları (Devamı).

Numune No	HADDELEME İŞLEMİ UYGULANMIŞ ALAŞIMLAR				Çözelti
	Al - % 2 Cu	Al - % 4 Cu	Al - % 6 Cu	Al - % 8 Cu	
	KH (gr/m ² h)	KH (gr/m ² h)	KH (gr/m ² h)	KH (gr/m ² h)	
1	3.771640071	7.591491341	8.509427104	13.59651736	% 2 NaCl
2	3.960222075	7.406333016	8.311533451	13.79075332	
3	3.960222075	7.406333016	8.509427104	13.79075332	
4	7.354698138	11.10949952	13.06098114	15.34464102	% 3,5 NaCl
5	7.543280142	11.29465785	12.66519383	15.15040506	
6	7.731862145	11.10949952	12.86308748	15.15040506	
7	8.109026153	12.40560780	14.44623671	16.12158487	% 5 NaCl
8	8.297421118	12.22044948	14.24834306	15.92734891	
9	8.109026153	12.40560780	14.44623671	16.12158487	
10	40.92229477	50.36306451	93.40580449	121.9801843	% 2 H ₂ SO ₄
11	41.67662278	49.99274786	93.01001718	120.8147685	
12	41.11087677	49.80758953	93.60369815	120.8147685	
13	59.21474911	74.61880514	117.5981031	163.7409162	% 3,5 H ₂ SO ₄
14	59.96907713	74.24848848	117.5488302	164.9063320	
15	59.40333112	74.06333016	116.7572556	164.1293881	
16	3.738350631	56.31899064	123.6835335	137.9884649	EXCO
17	3.808885549	57.86197669	122.4466982	137.1791484	
18	3.808885549	57.09048366	122.8589766	138.3931231	

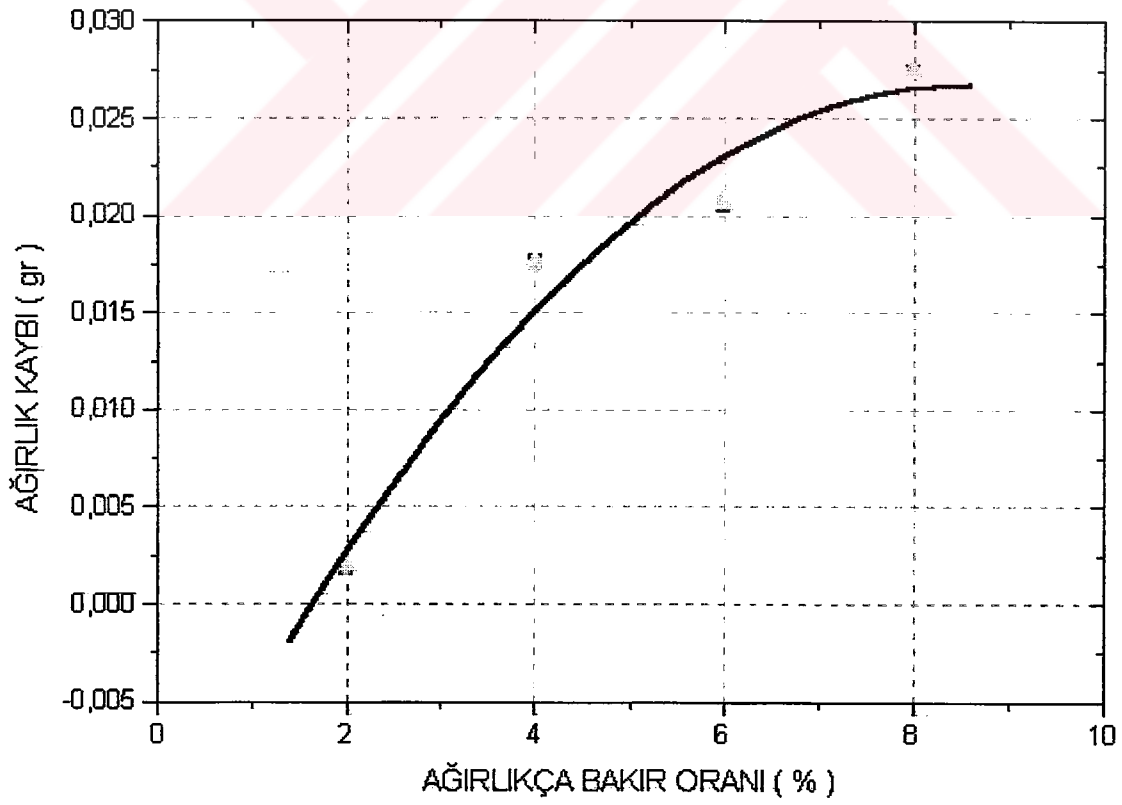
KH : Korozyon Hızı

ΔW : Ağırlık Kaybı

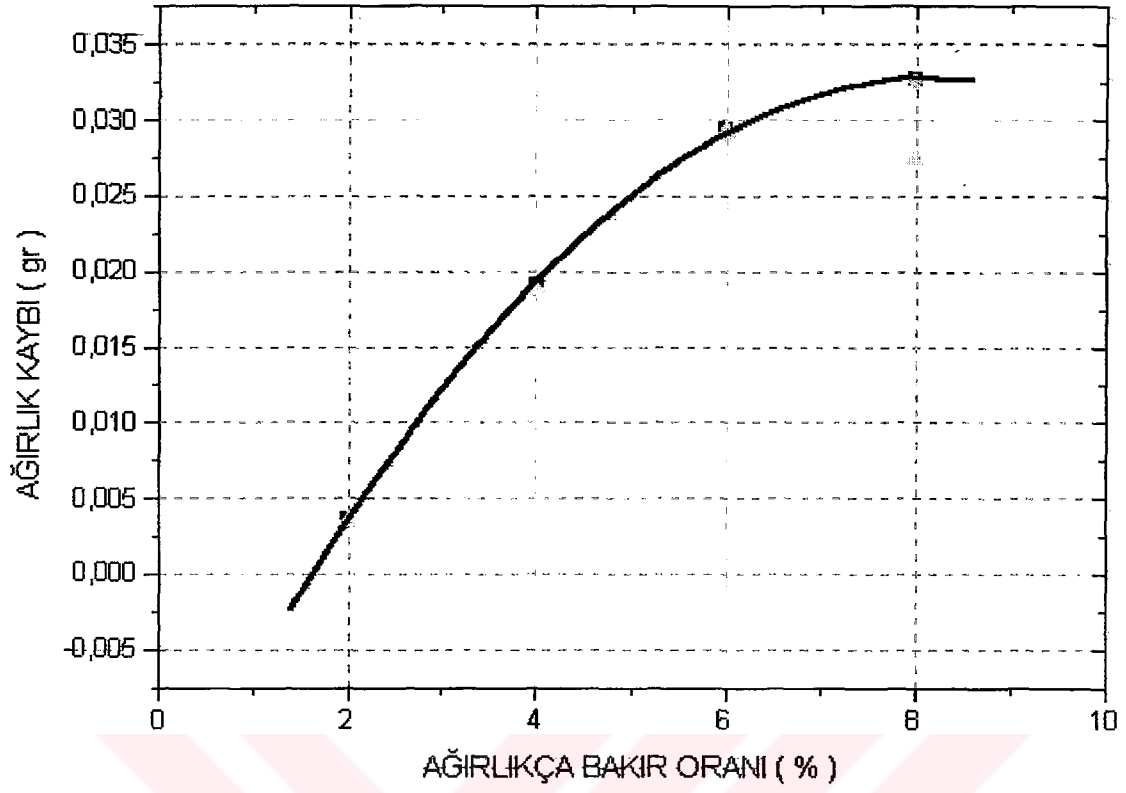
Yapılan deneylerle elde edilen sonuçlara göre ağırlık kayıplarının ve korozyon hızlarının grafikleri çizilmiş ve bu grafikler Şekil 4.20 ile Şekil 4.80 arasında verilmiştir.



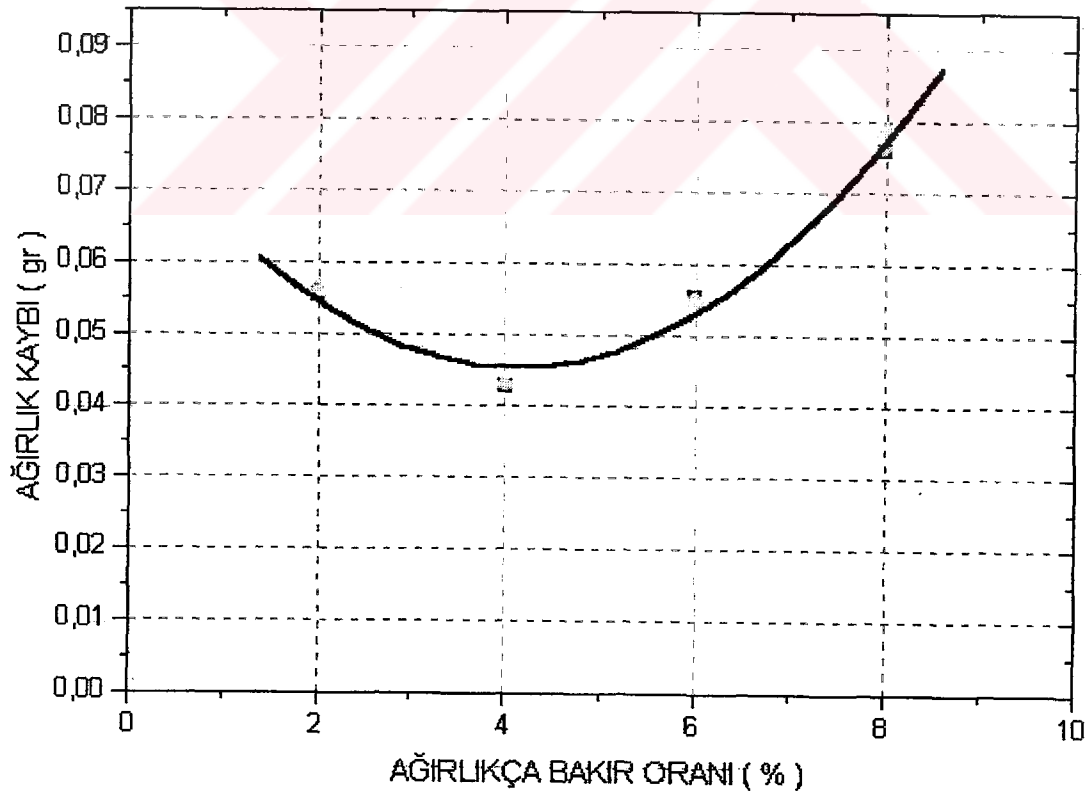
Şekil 4.20 Döküm alaşımlarının % 2 NaCl içindeki ağırlık kayıpları



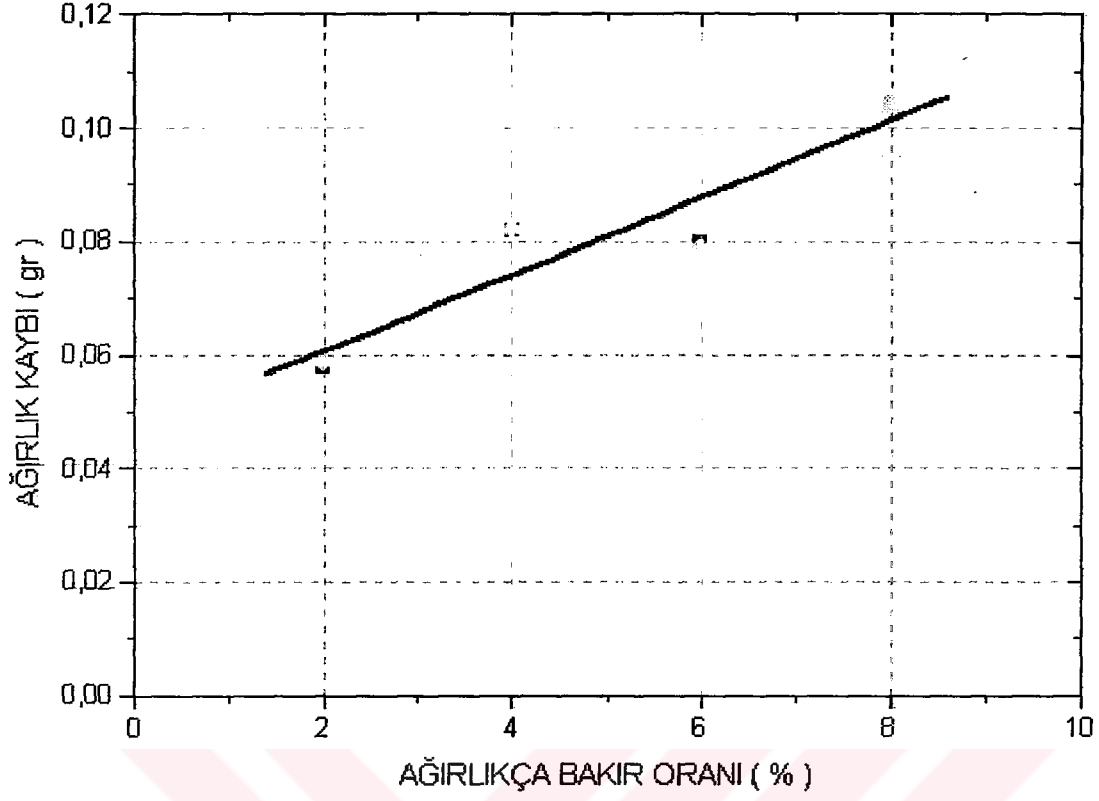
Şekil 4.21 Döküm alaşımlarının % 3,5 luk NaCl içindeki ağırlık kayıpları



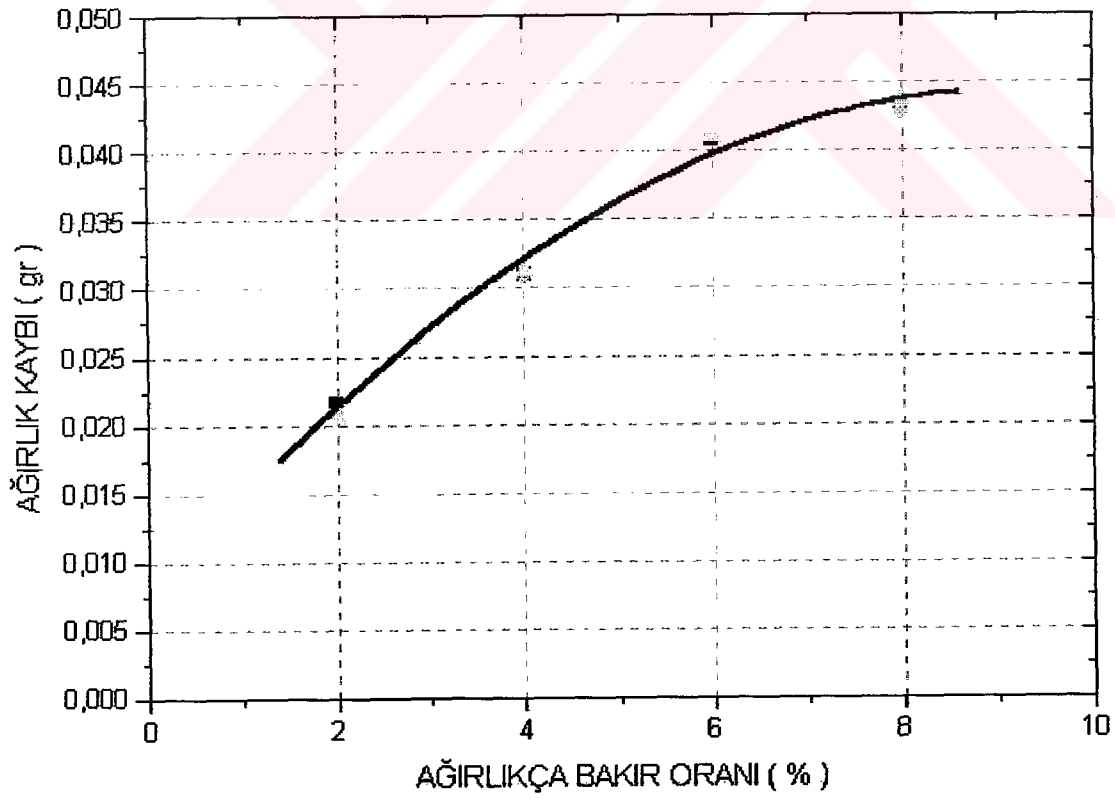
Şekil 4.22 Döküm alaşımlarının % 5 lik NaCl içindeki ağırlık kayıpları



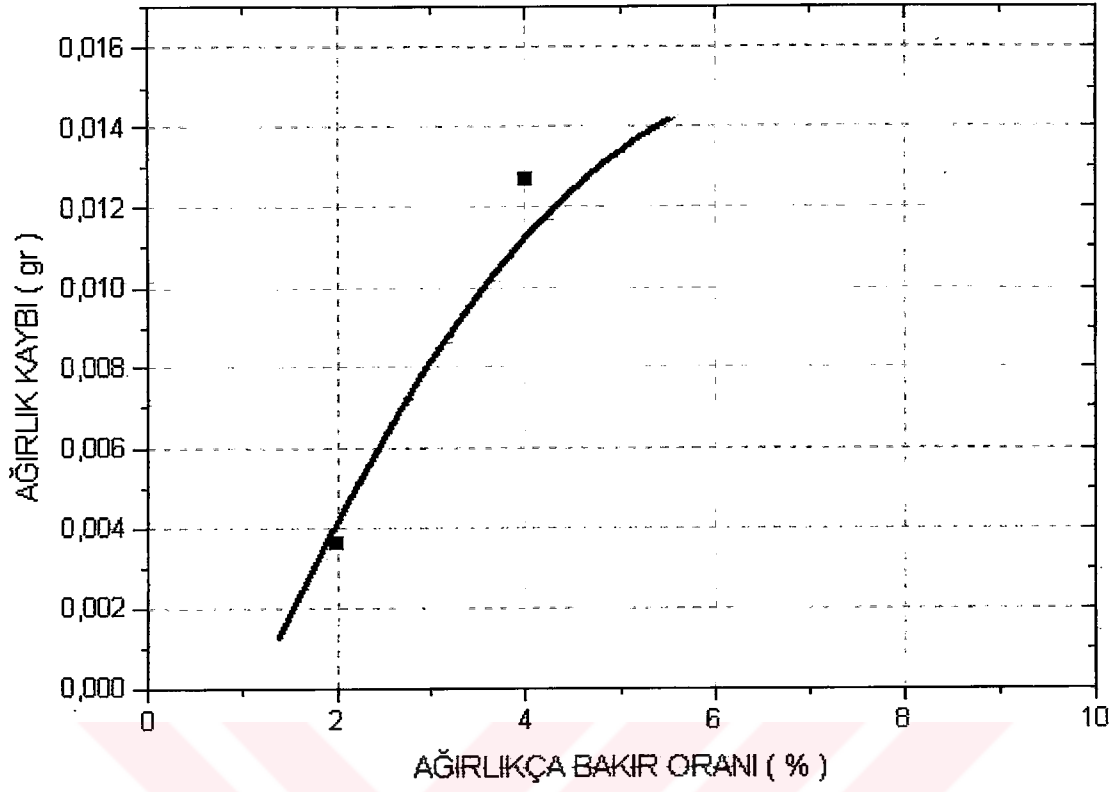
Şekil 4.23 Döküm alaşımlarının % 2 lik H₂SO₄ içindeki ağırlık kayıpları



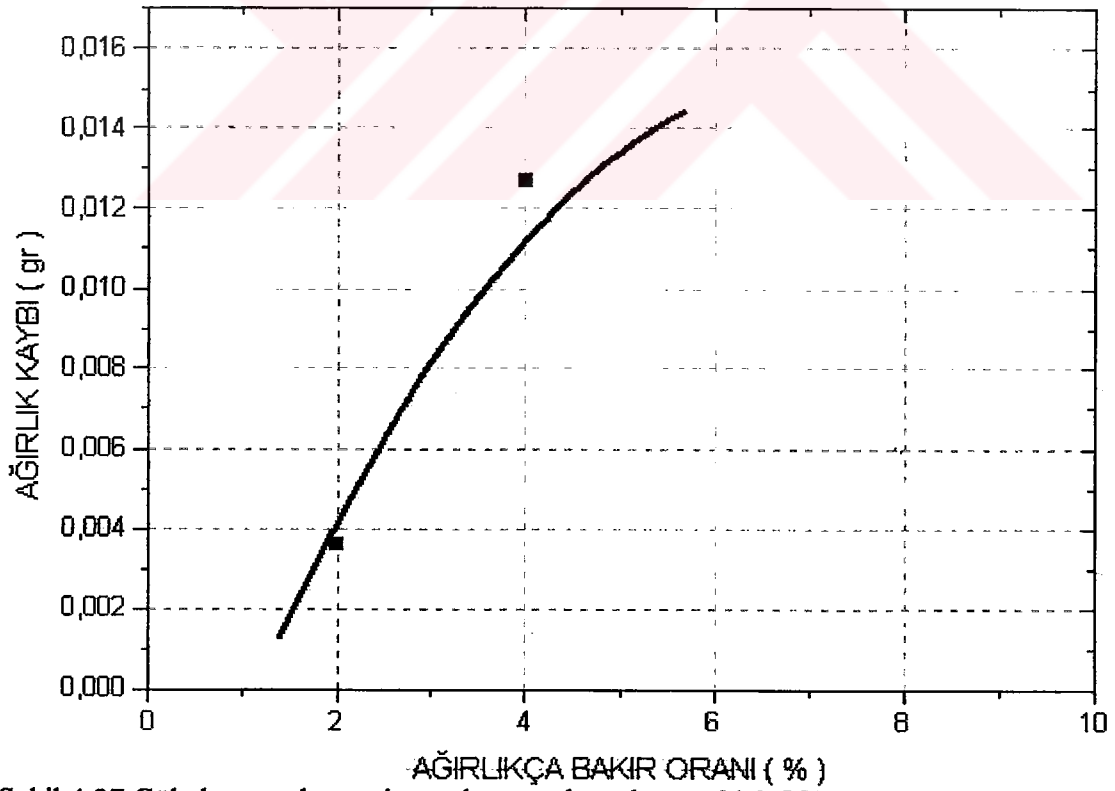
Şekil 4.24 Döküm alaşımlarının % 3,5 lik H₂SO₄ içindeki ağırlık kayıpları



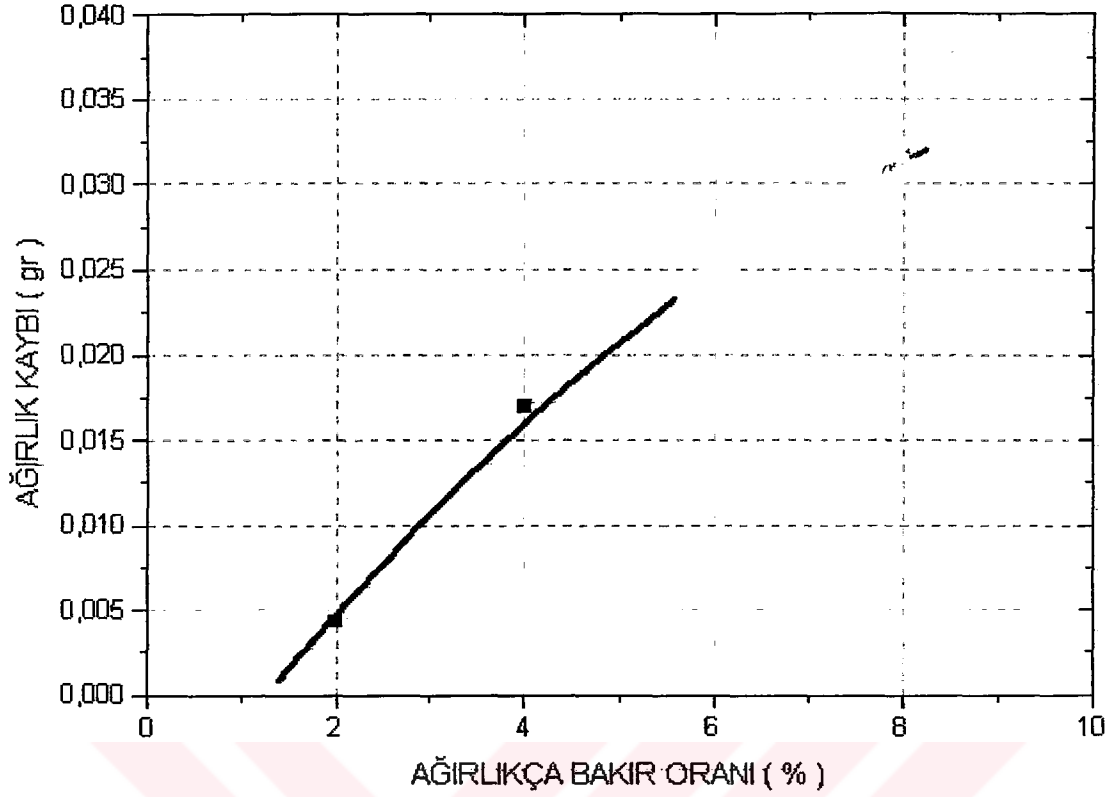
Şekil 4.25 Döküm alaşımlarının EXCO içindeki ağırlık kayıpları



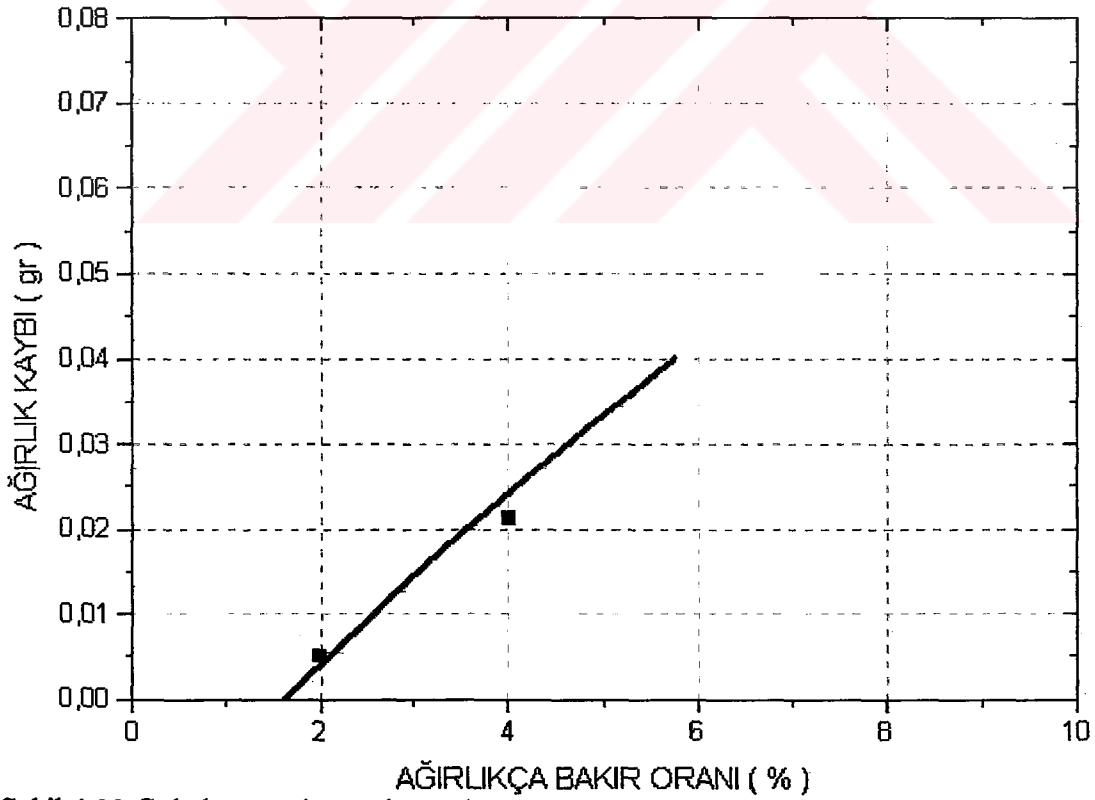
Şekil 4.26 Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış alaşımlarının % 2 lik NaCl içindeki ağırlık kayıpları.



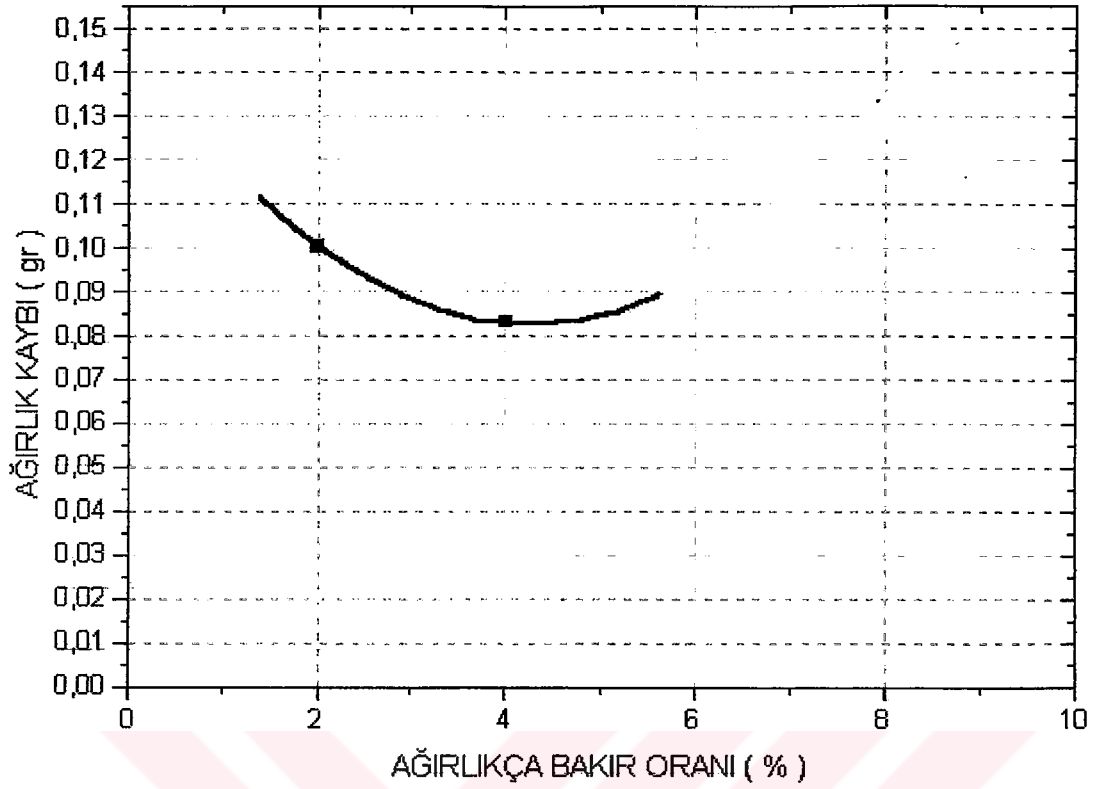
Şekil 4.27 Çökelme sertleşmesi uygulanmış alaşımlarının % 3.5 NaCl içindeki ağırlık kayıpları



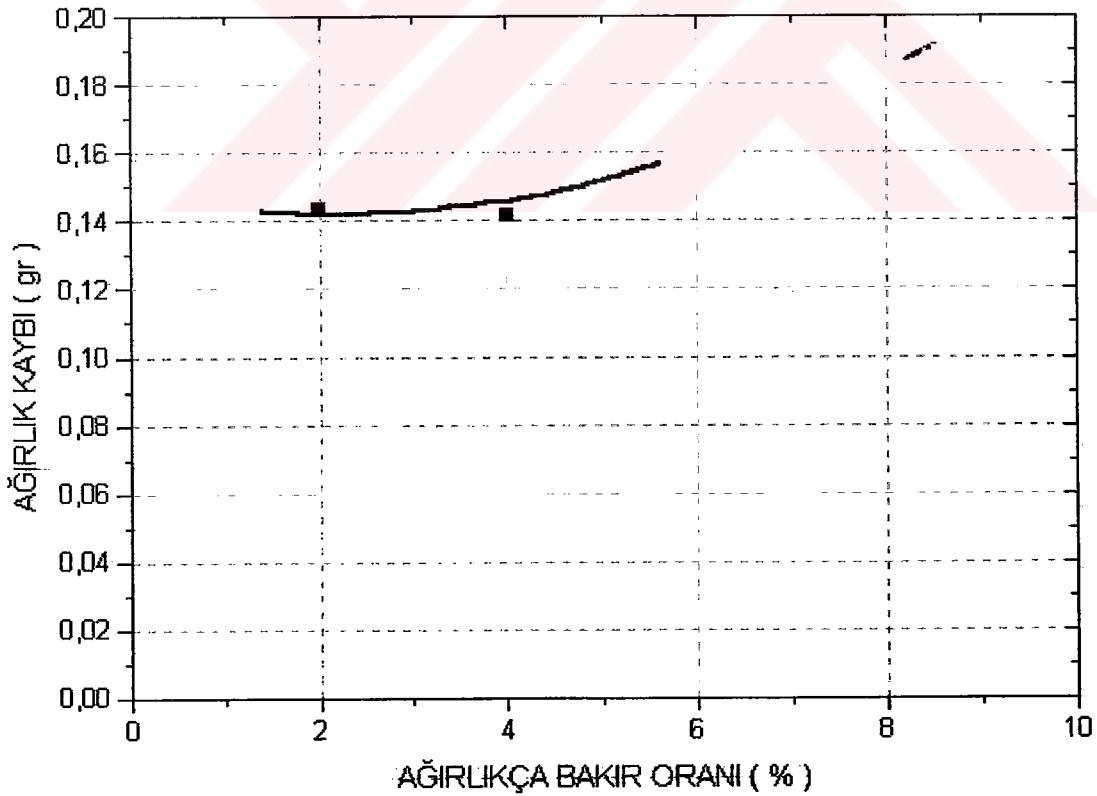
Şekil 4.28 Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış alaşımlarının % 5 lik NaCl içindeki ağırlık kayıpları.



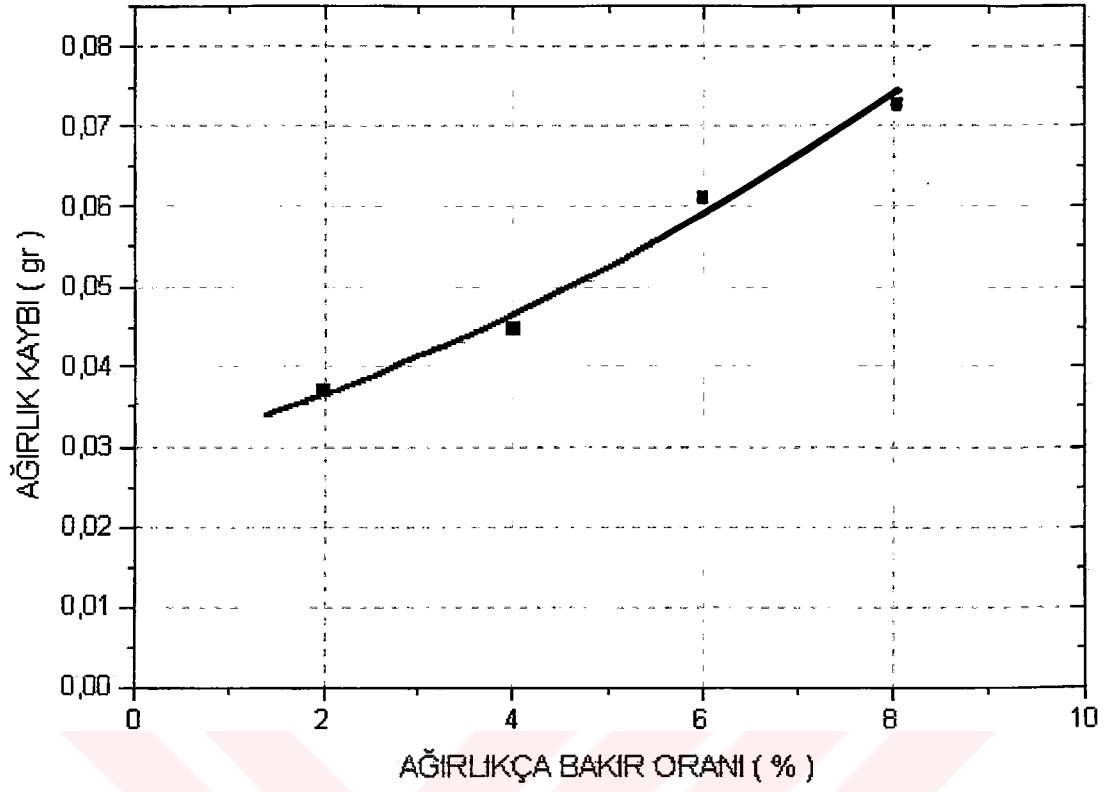
Şekil 4.29 Çökelme sertleşmesi uygulanmış alaşımlarının % 2 H₂SO₄ içindeki ağırlık kayıpları



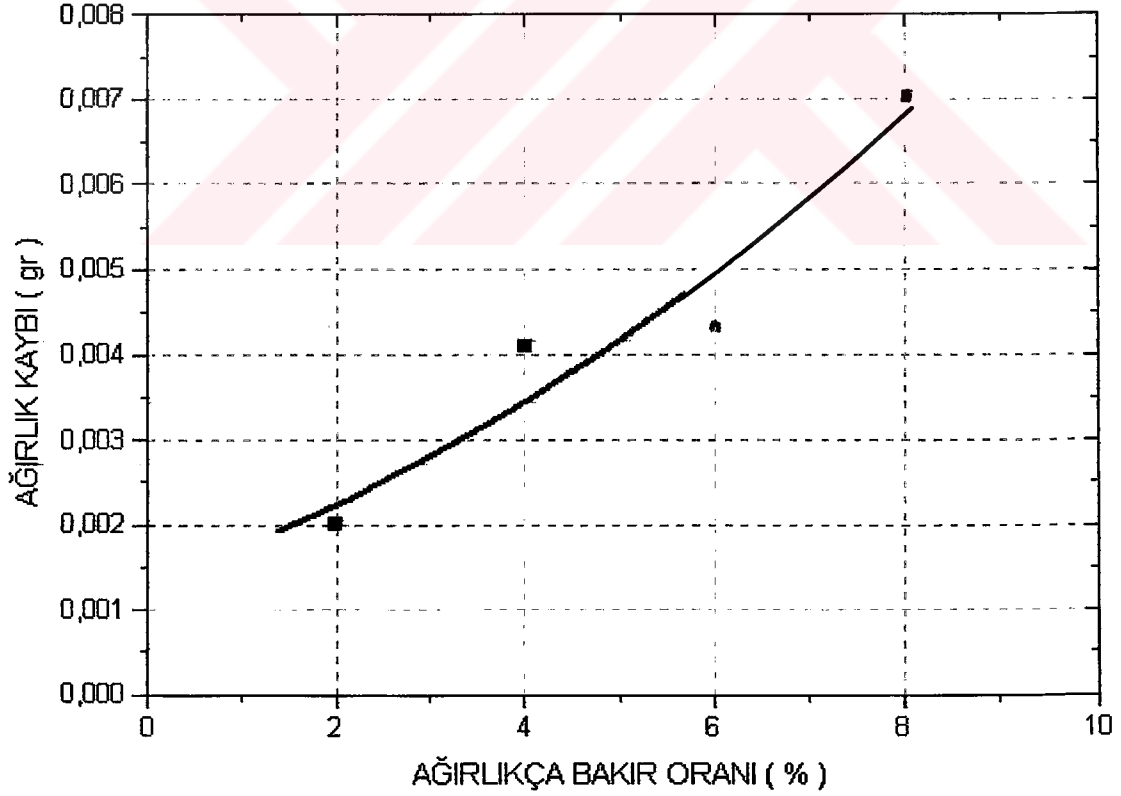
Şekil 4.30 Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış alaşımlarının % 3,5 lik H₂SO₄ içindeki ağırlık kayıpları



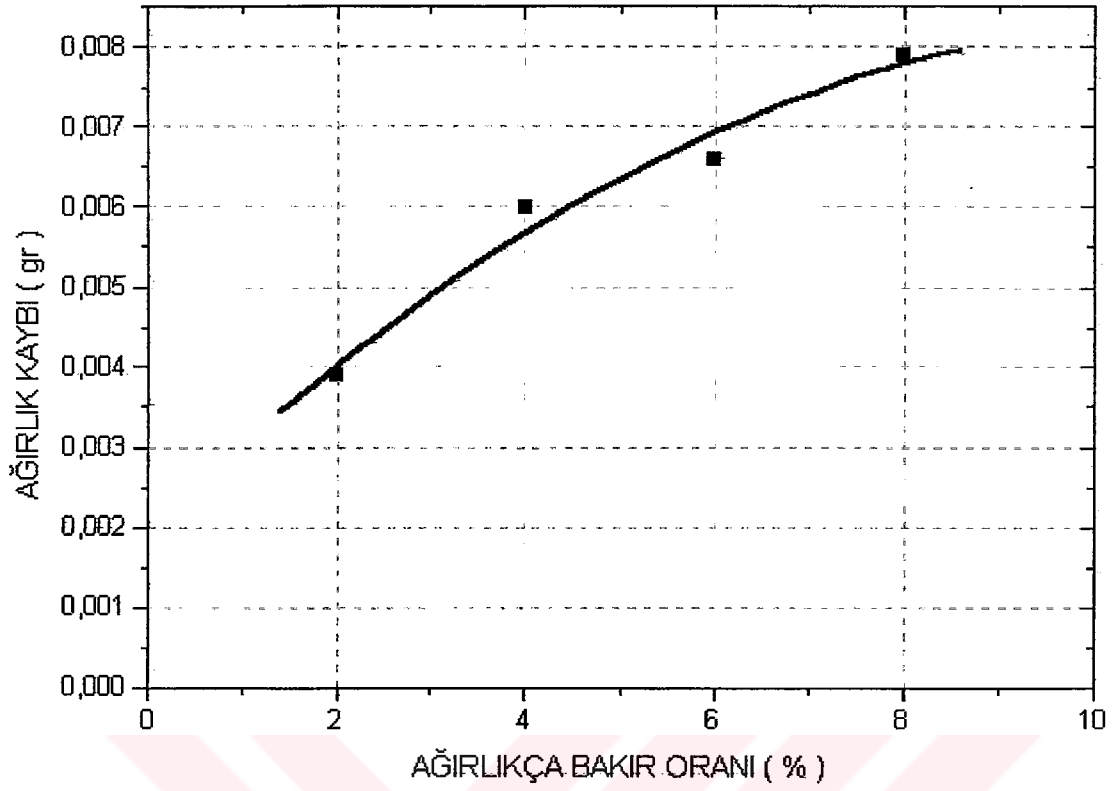
Şekil 4.31 Çökelme sertleşmesi uygulanmış alaşımlarının EXCO içindeki ağırlık kayıpları



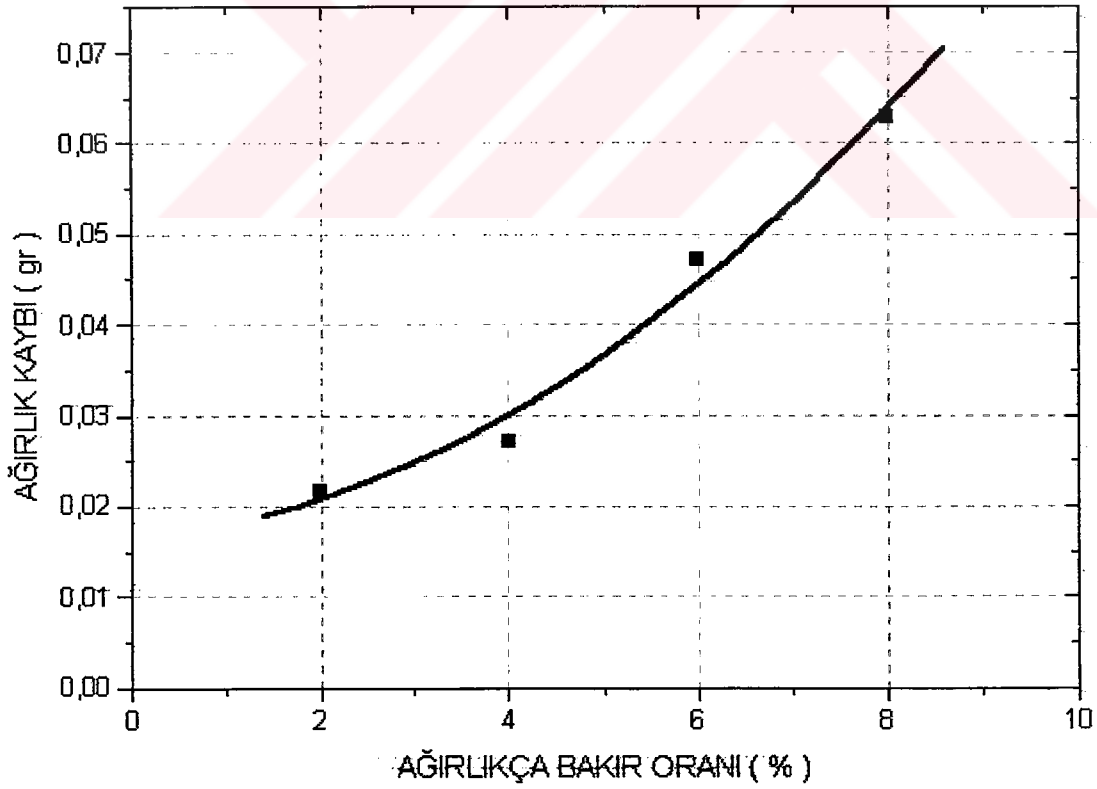
Şekil 4.32 Haddeme işlemi uygulanmış alaşımlarının % 2 lik NaCl içindeki ağırlık kayıpları



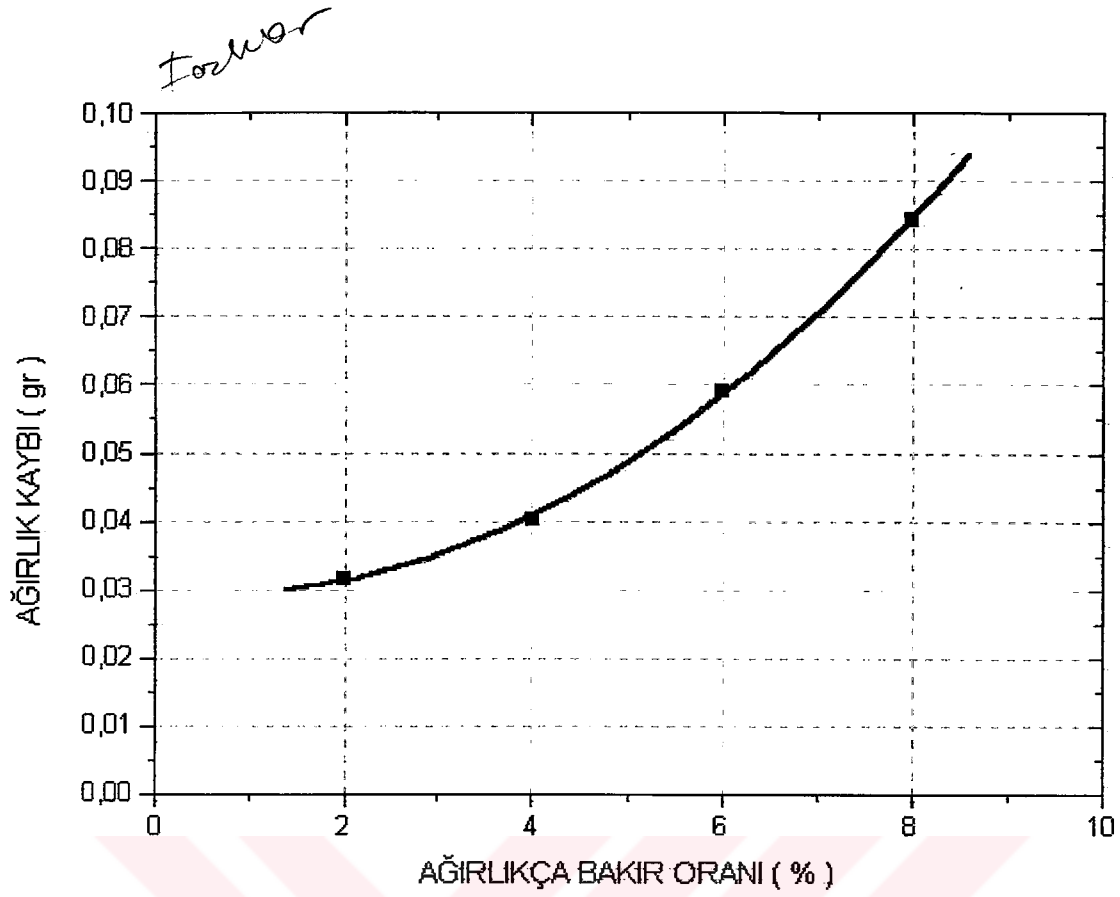
Şekil 4.33 Haddeme işlemi uygulanmış alaşımlarının % 3,5 luk NaCl içindeki ağırlık kayıpları



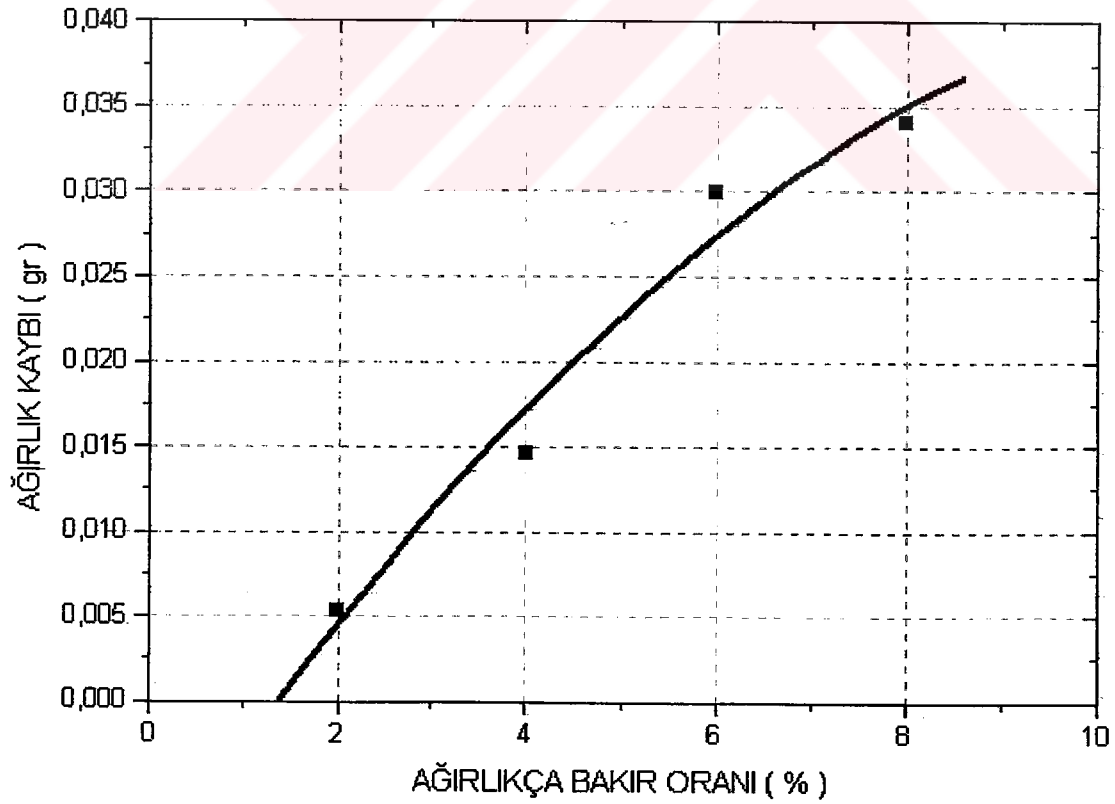
Şekil 4.34 Haddeme işlemi uygulanmış alaşımlarının % 5 lik NaCl içindeki ağırlık kayıpları



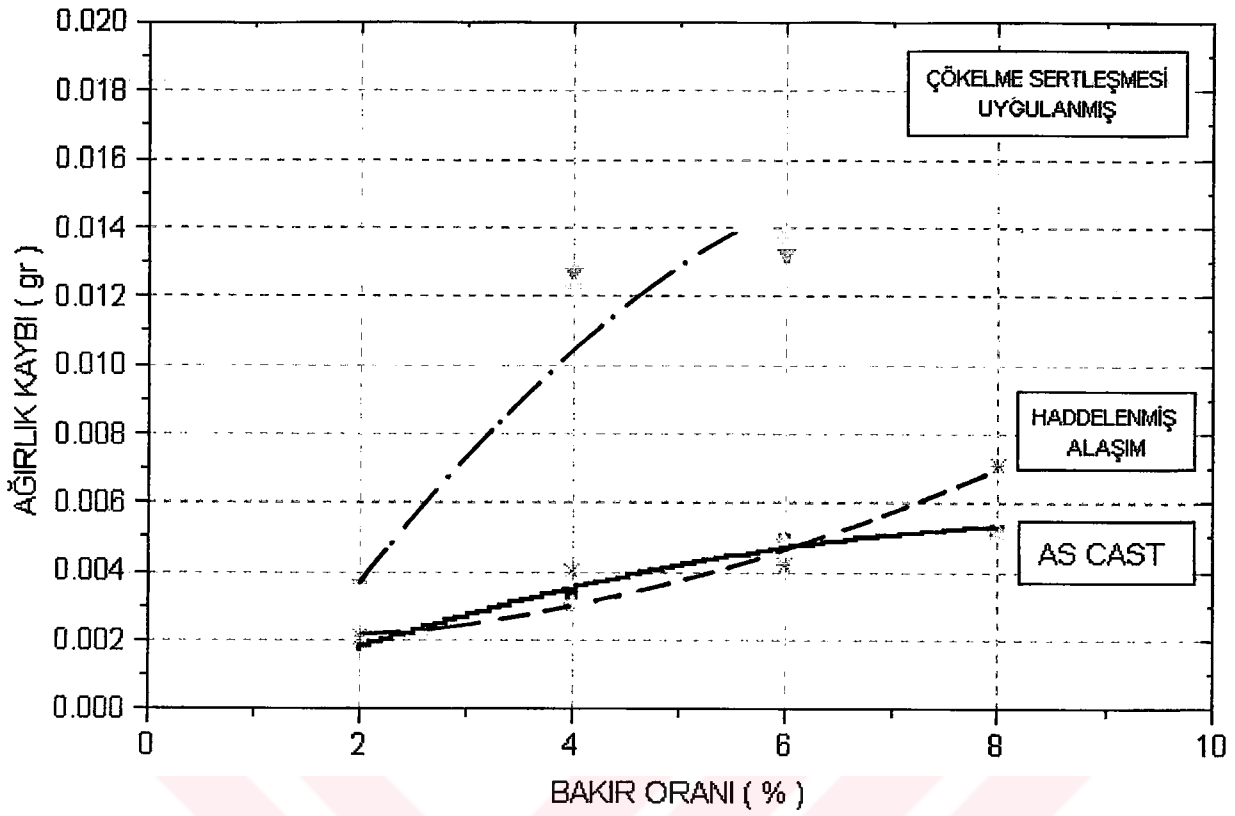
Şekil 4.35 Haddeme işlemi uygulanmış alaşımlarının % 2 lik H₂SO₄ içindeki ağırlık kayıpları



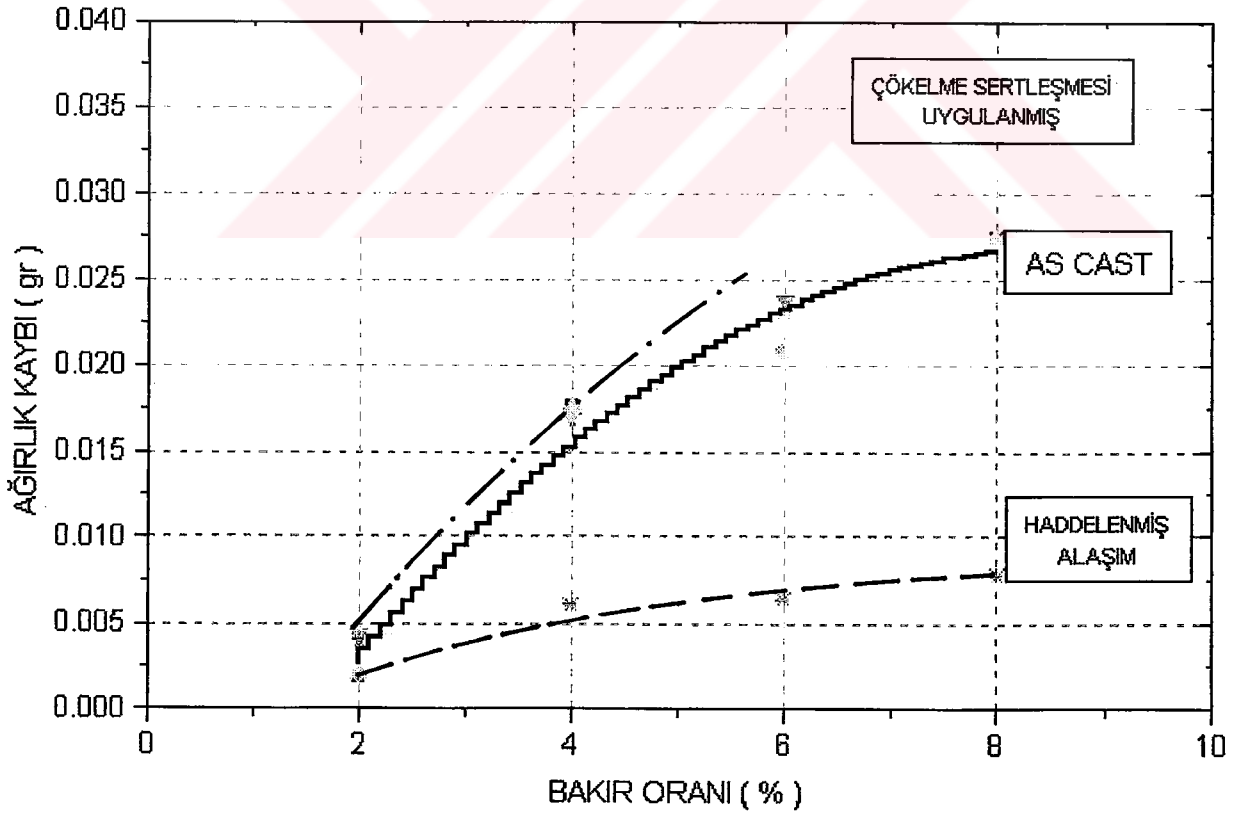
Şekil 4.36 Haddelme işlemi uygulanmış alaşımlarının % 3,5 luk H_2SO_4 içindeki ağırlık kayıpları.



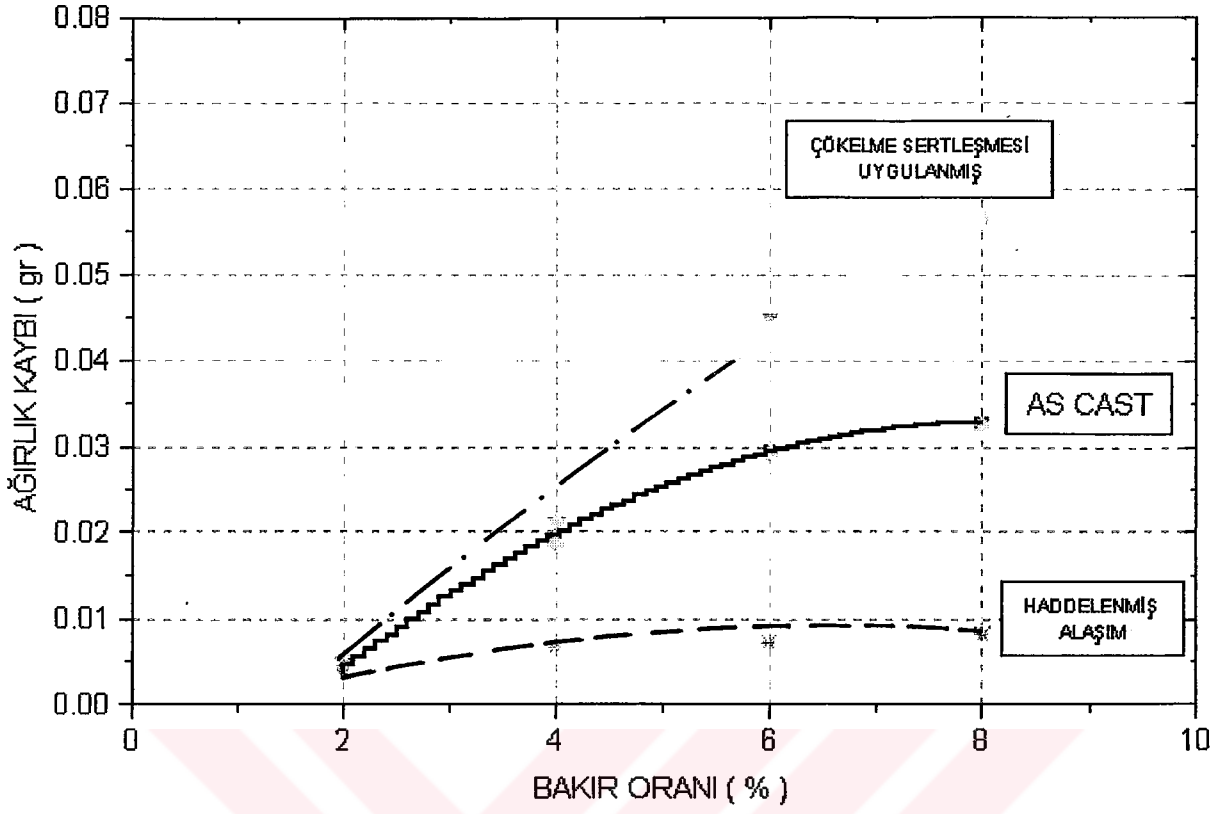
Şekil 4.37 Haddelme işlemi uygulanmış alaşımlarının EXCO içindeki ağırlık kayıpları



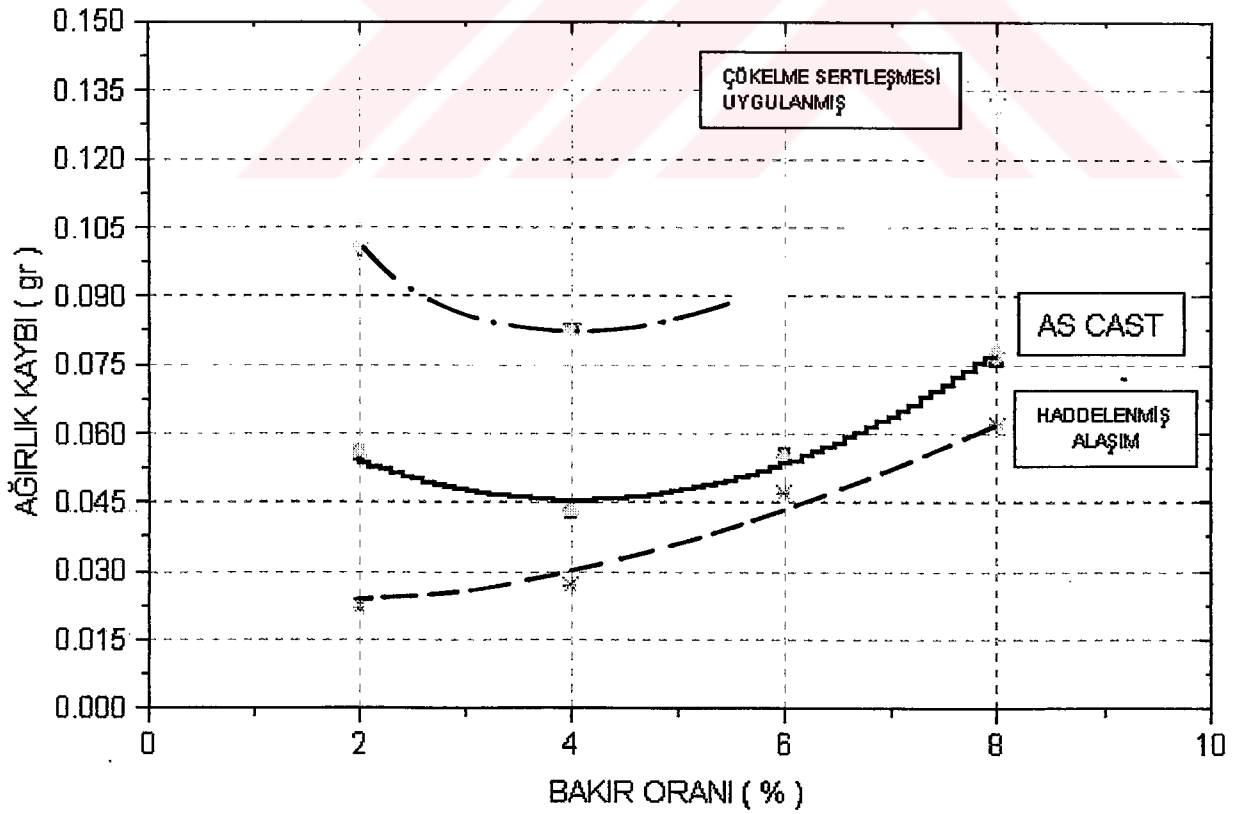
Şekil 4.38 Alaşımlarının % 2 lik NaCl içindeki ağırlık kayıpları



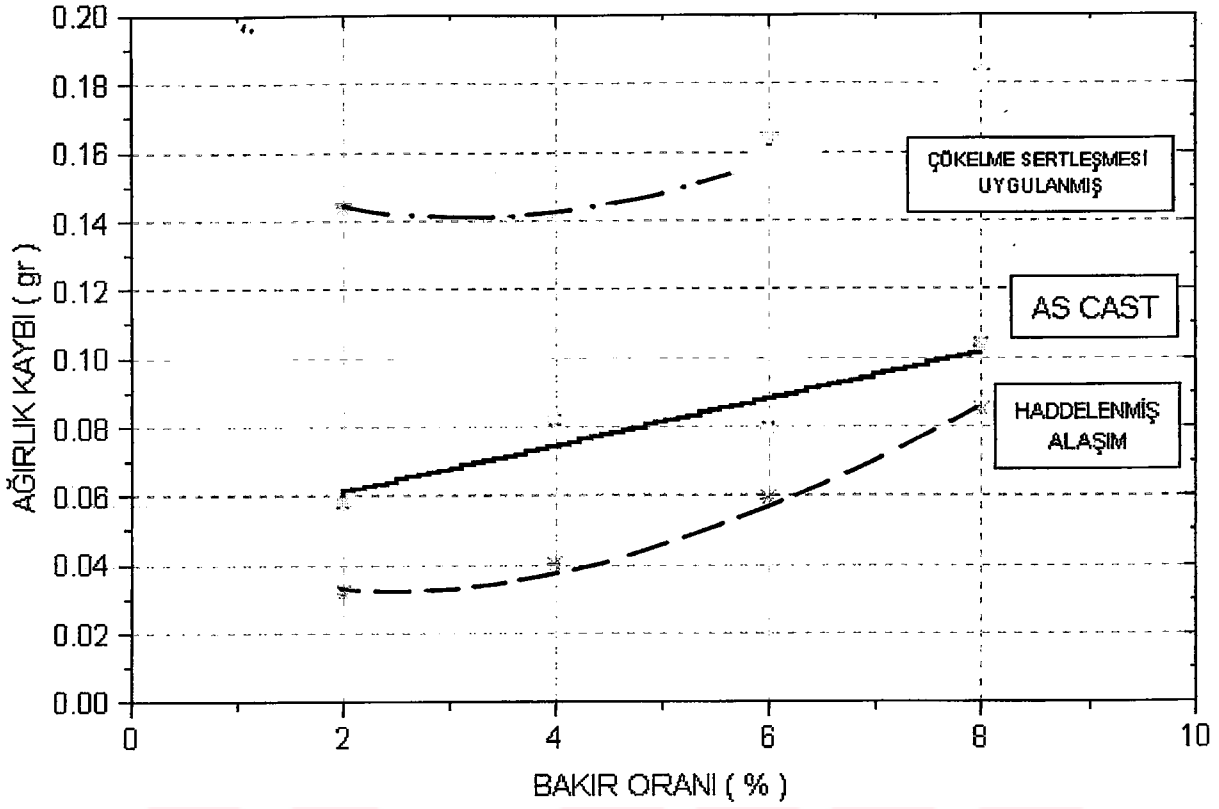
Şekil 4.39 Alaşımlarının % 3,5 lik NaCl içindeki ağırlık kayıpları



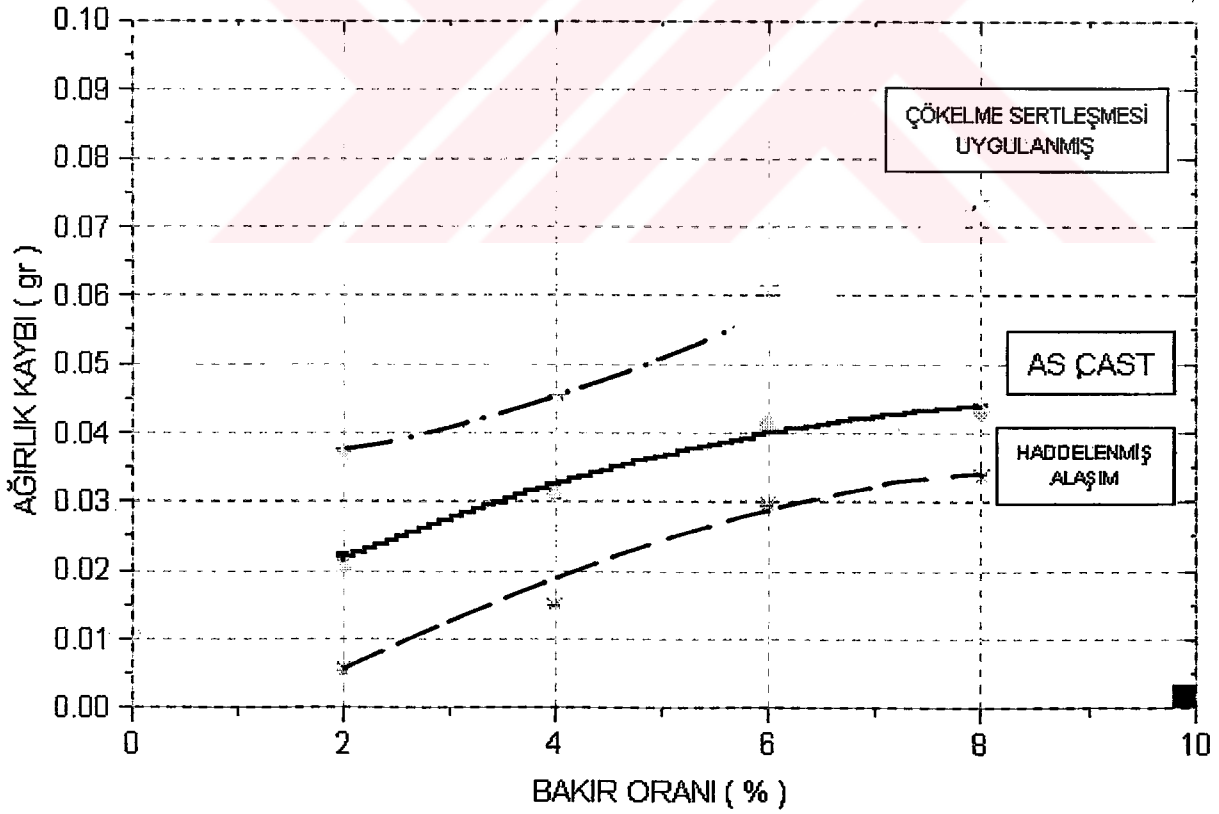
Şekil 4.40 Alaşımlarının % 5 lik NaCl içindeki ağırlık kayıpları



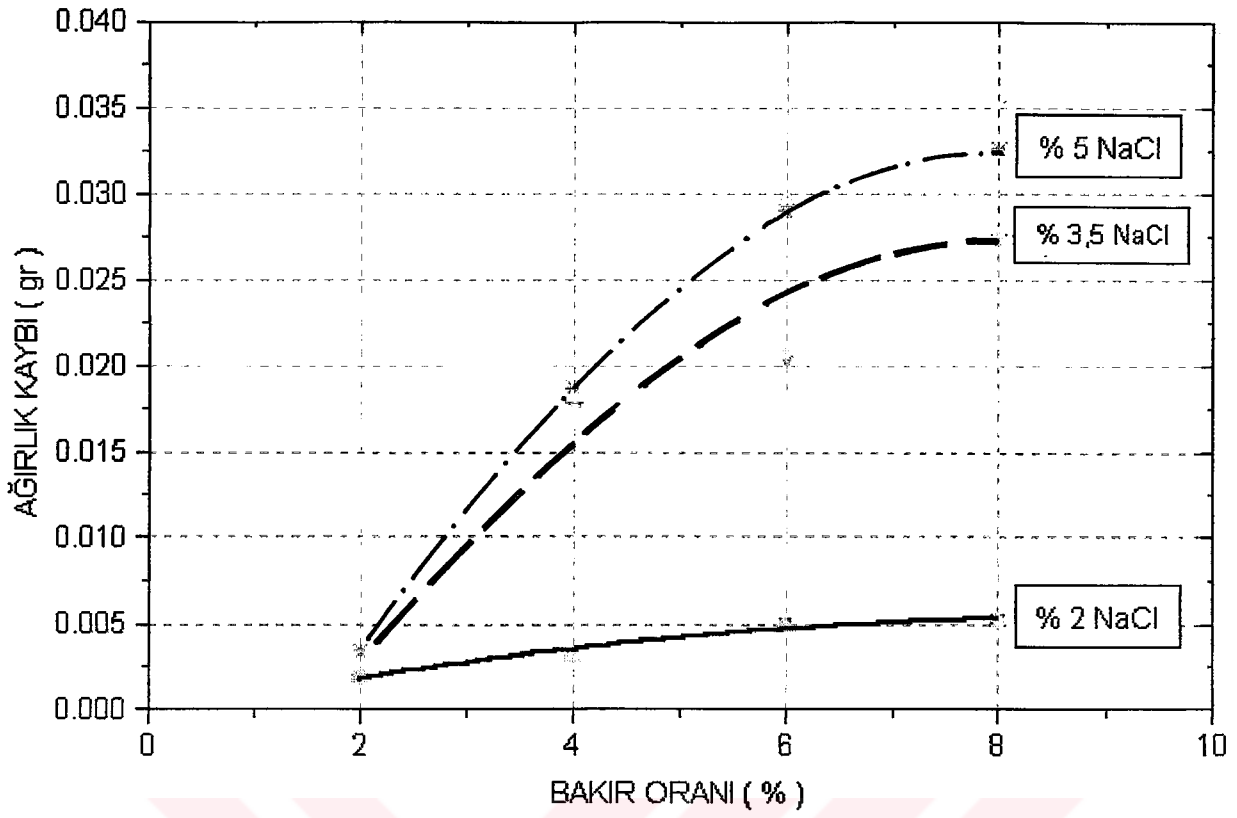
Şekil 4.41 Alaşımlarının % 2 lik H₂SO₄ içindeki ağırlık kayıpları



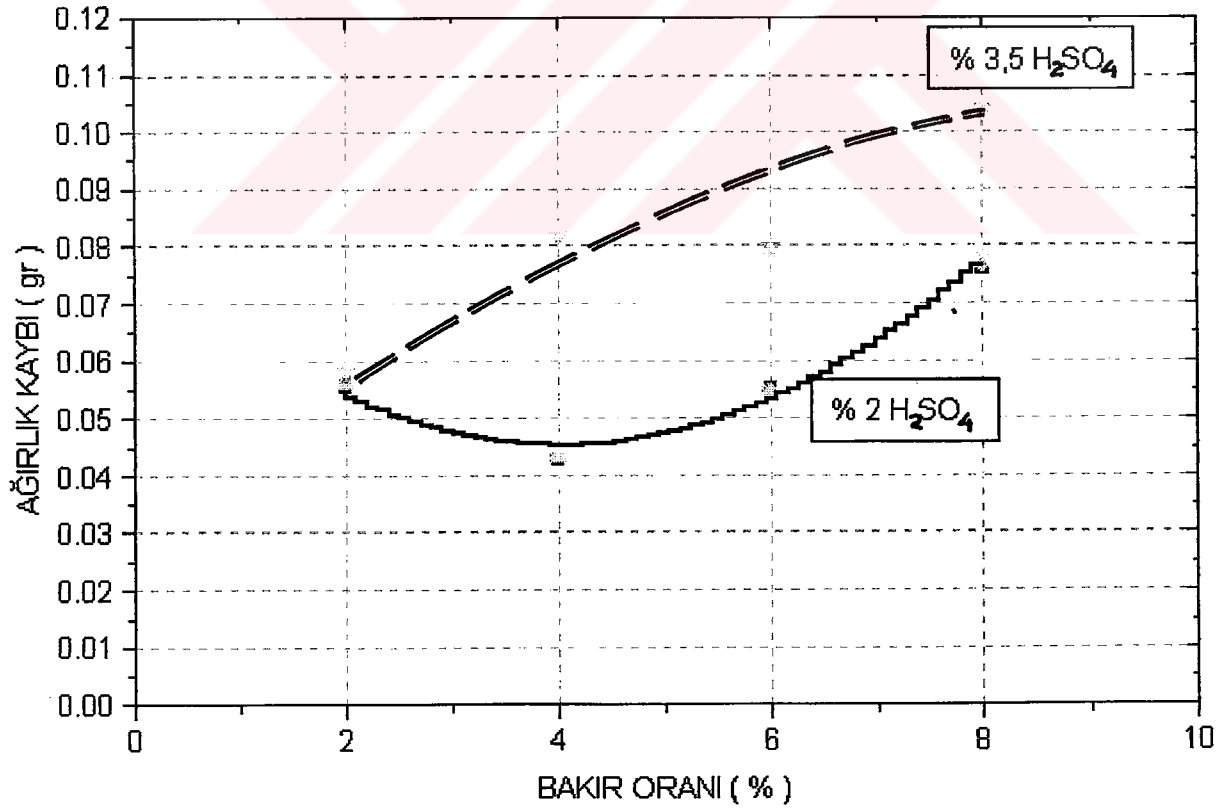
Şekil 4.42 Alaşımlarının % 3,5 luk H_2SO_4 içindeki ağırlık kayıpları



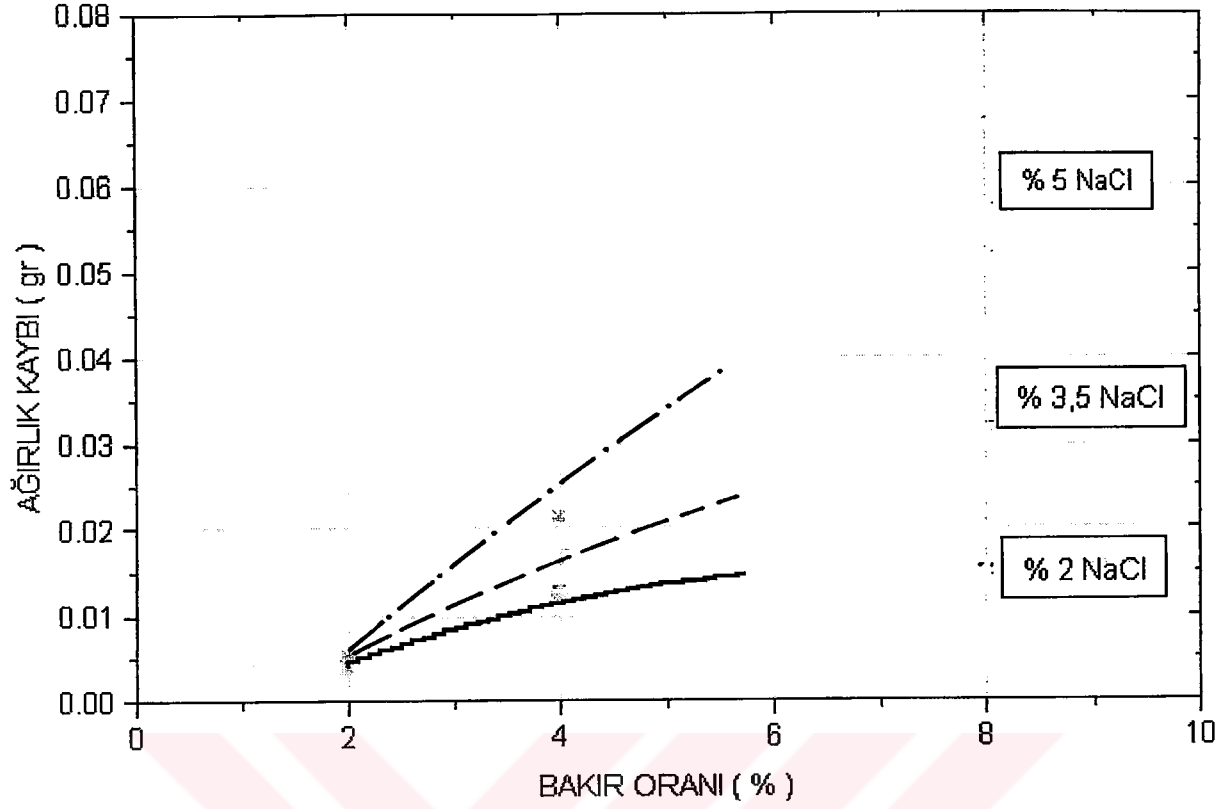
Şekil 4.43 Alaşımlarının EXCO içindeki ağırlık kayıpları



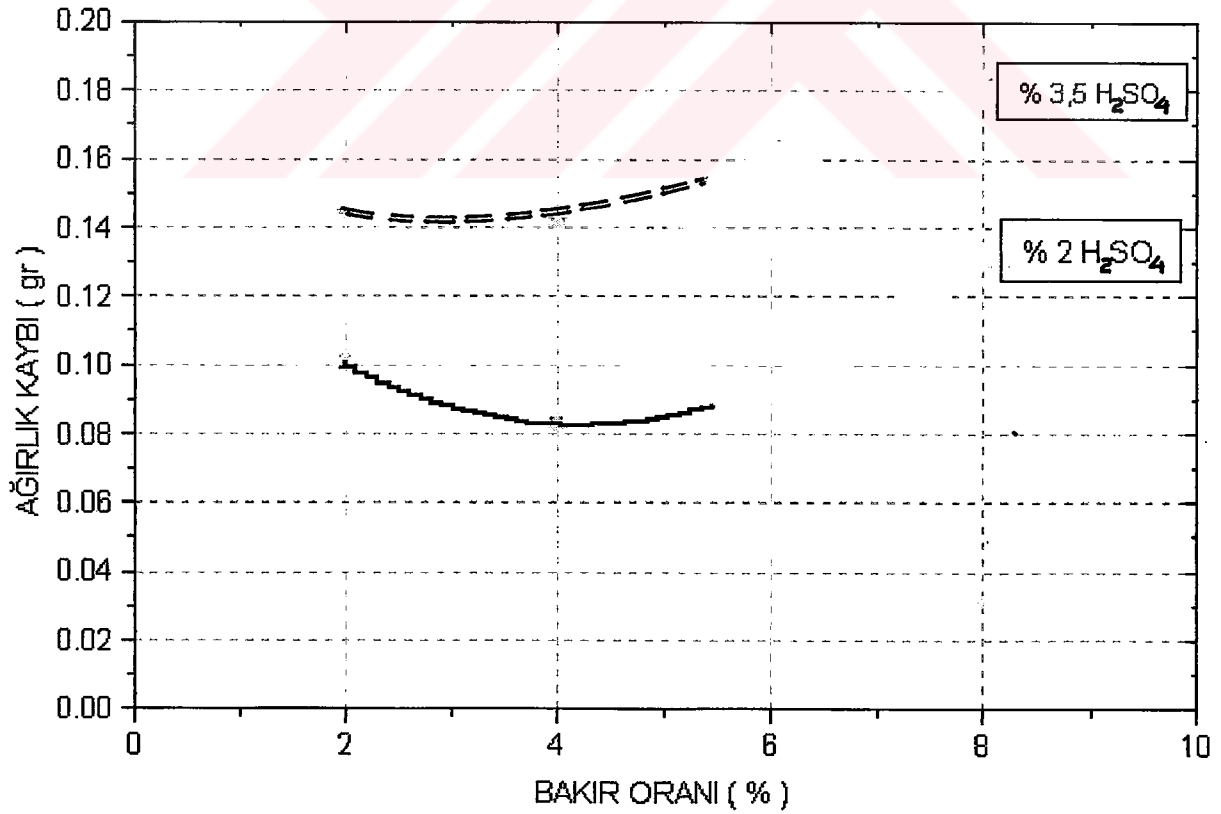
Şekil 4.44 Döküm alaşımlarının %2-% 3,5 ve %5 NaCl içindeki ağırlık kayıpları



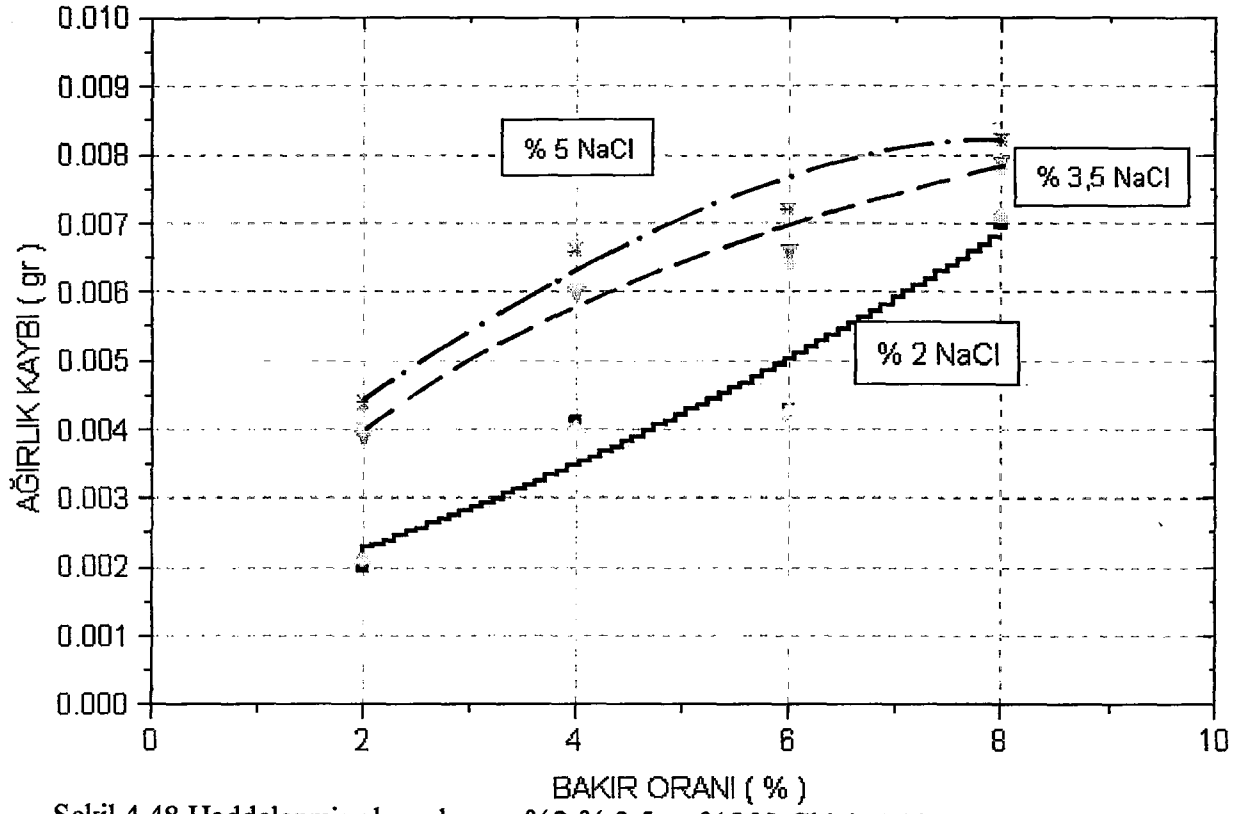
Şekil 4.45 Döküm alaşımlarının % 2 - % 3,5 luk H₂SO₄ içindeki ağırlık kayıpları



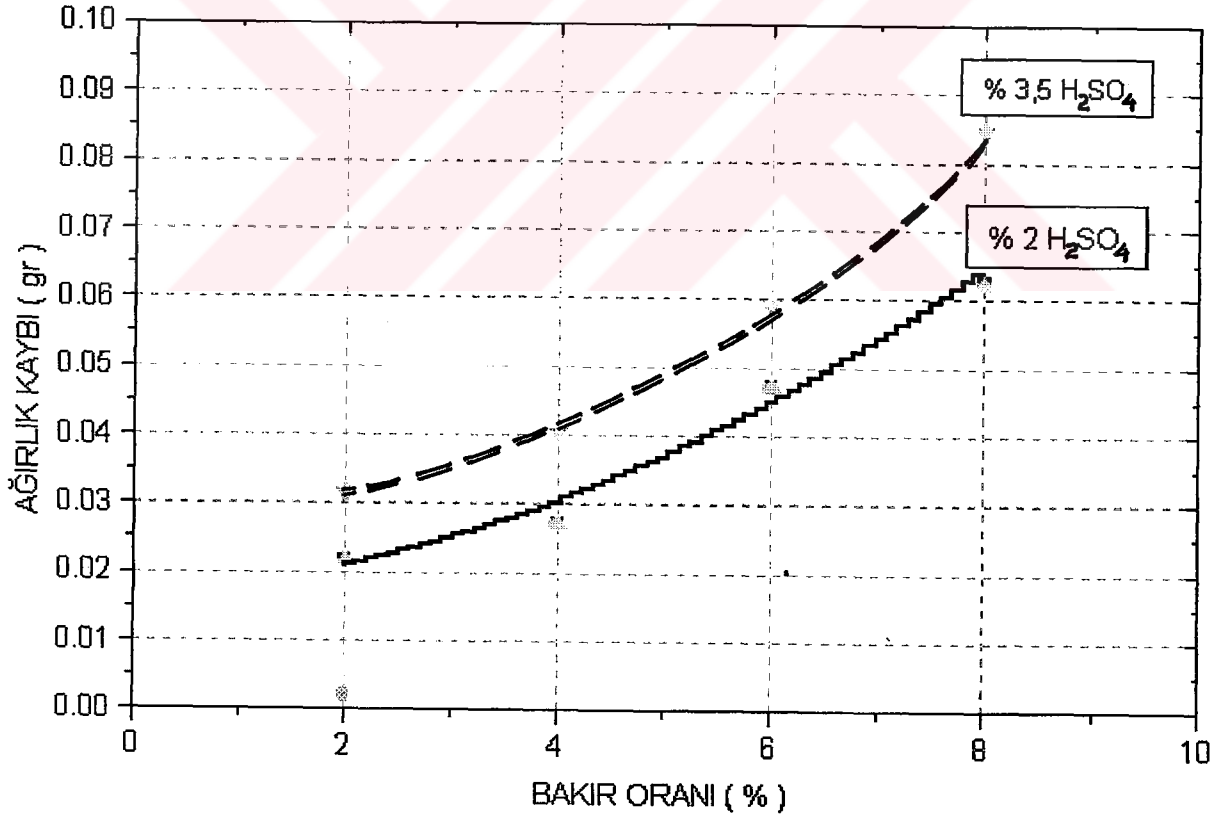
Şekil 4.46 Çökelme sertleşmesi uygulanmış alaşımlarının %2-% 3,5 ve %5 NaCl içindeki ağırlık kayıpları



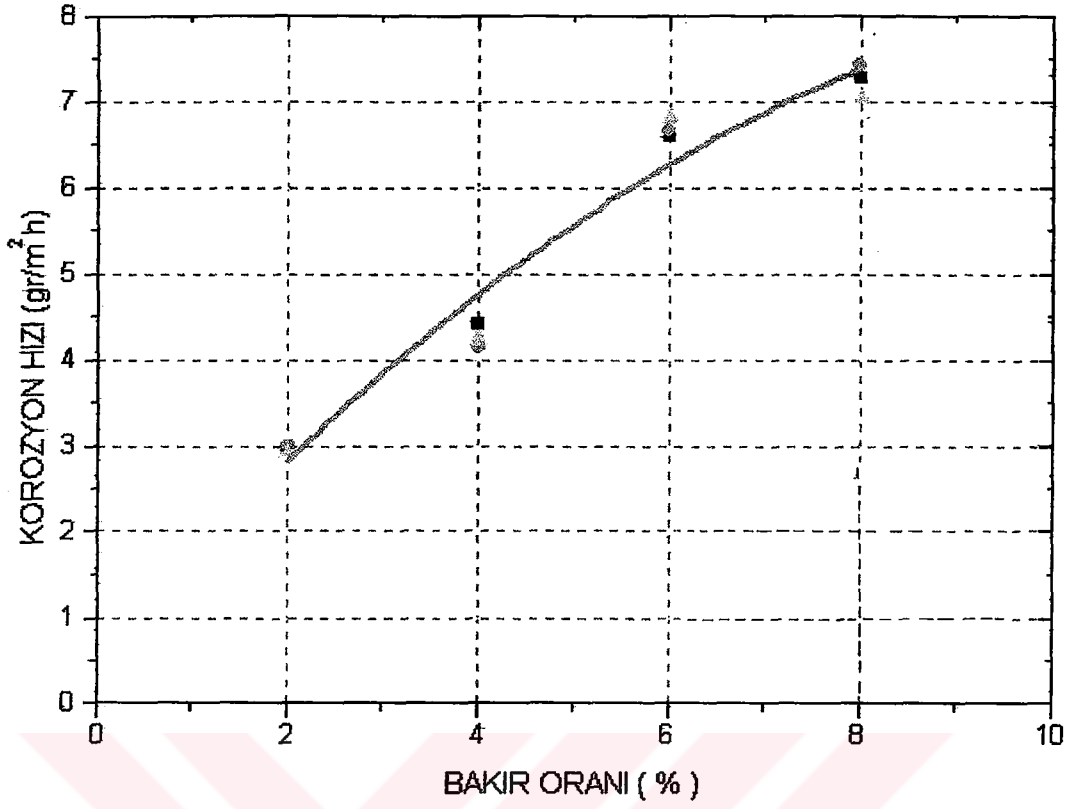
Şekil 4.47 Çökelme sertleşmesi uygulanmış alaşımlarının % 2 - % 3,5 luk H₂SO₄ içindeki ağırlık kayıpları



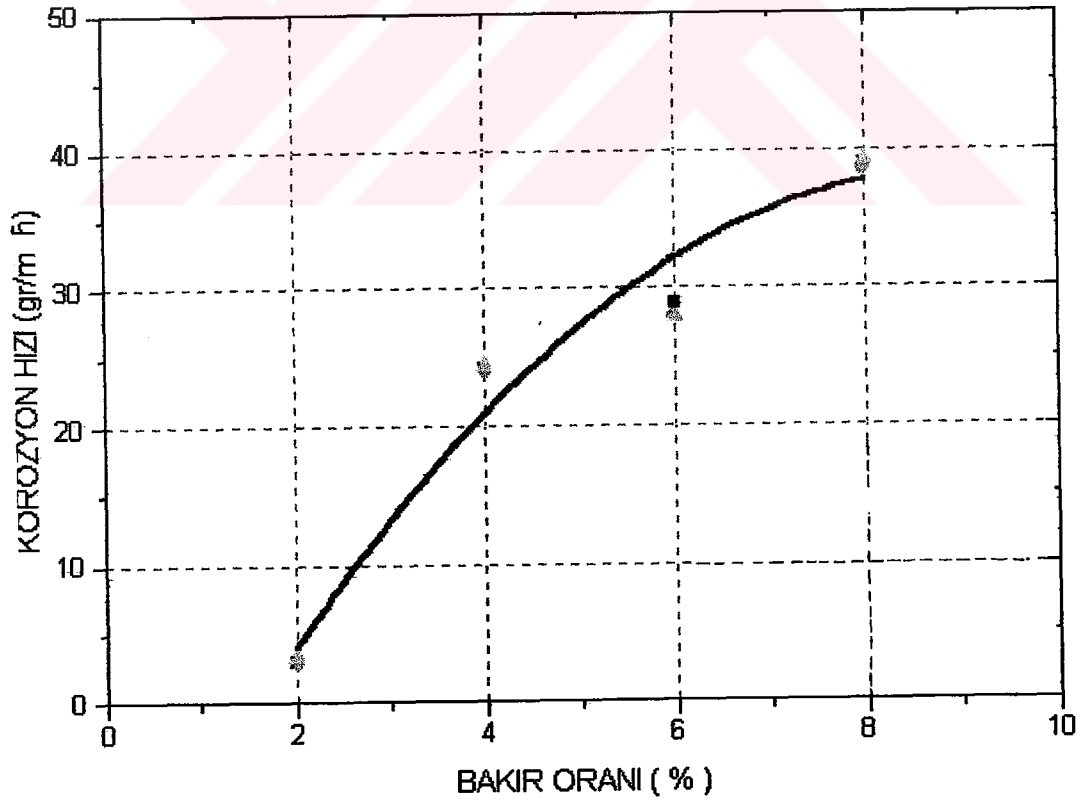
Şekil 4.48 Haddelenmiş alaşımlarının %2-% 3,5 ve %5 NaCl içindeki ağırlık kayıpları



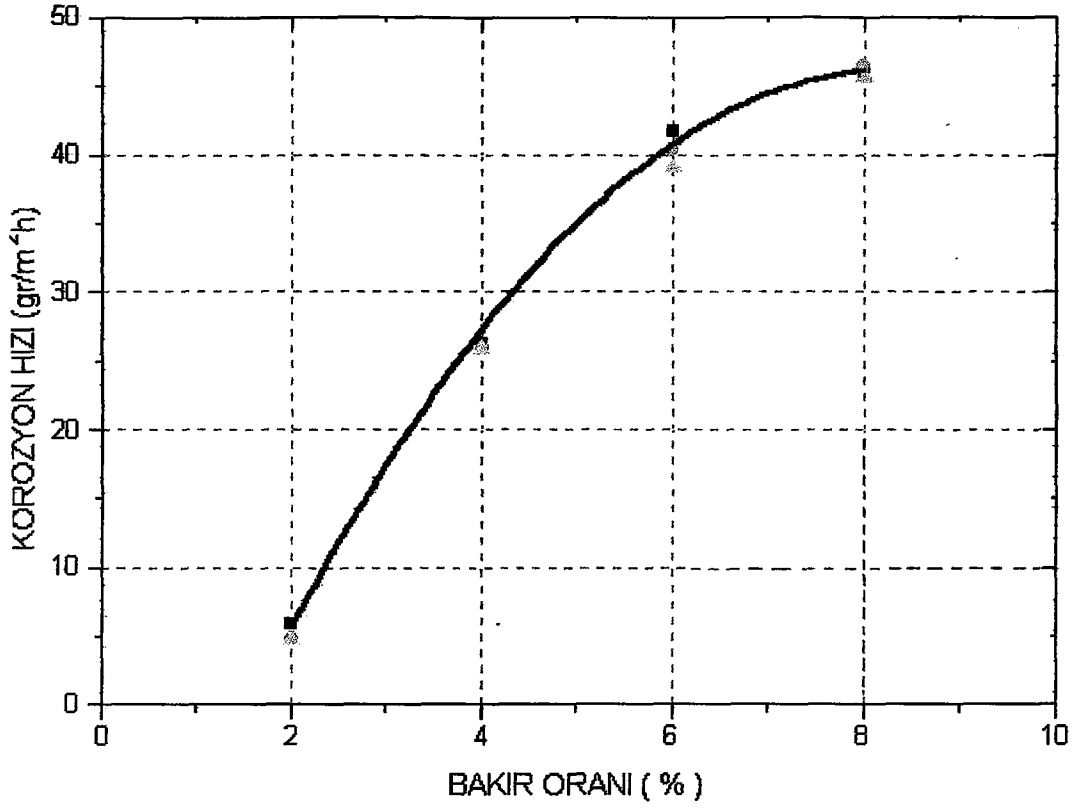
Şekil 4.49 Haddelenmiş alaşımlarının % 2 - % 3,5 luk H₂SO₄ içindeki ağırlık kayıpları



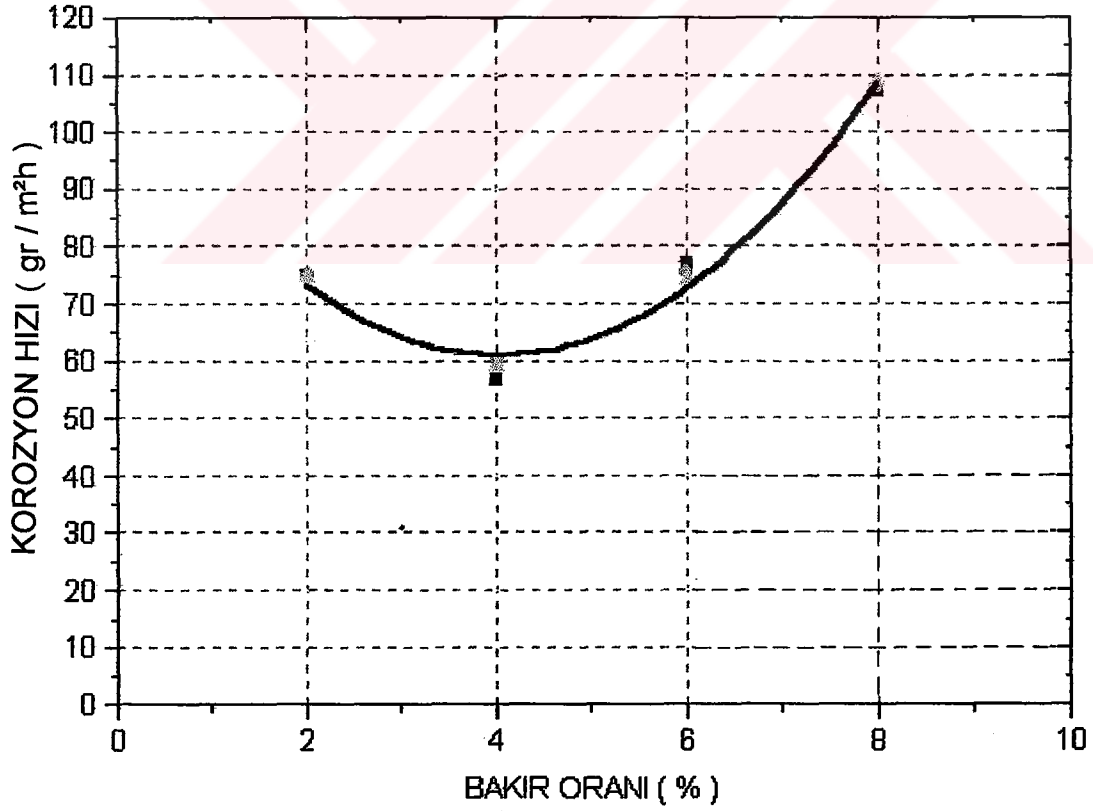
Şekil 4.50 Döküm alaşımlarının %2 lik NaCl içindeki korozyon hızları



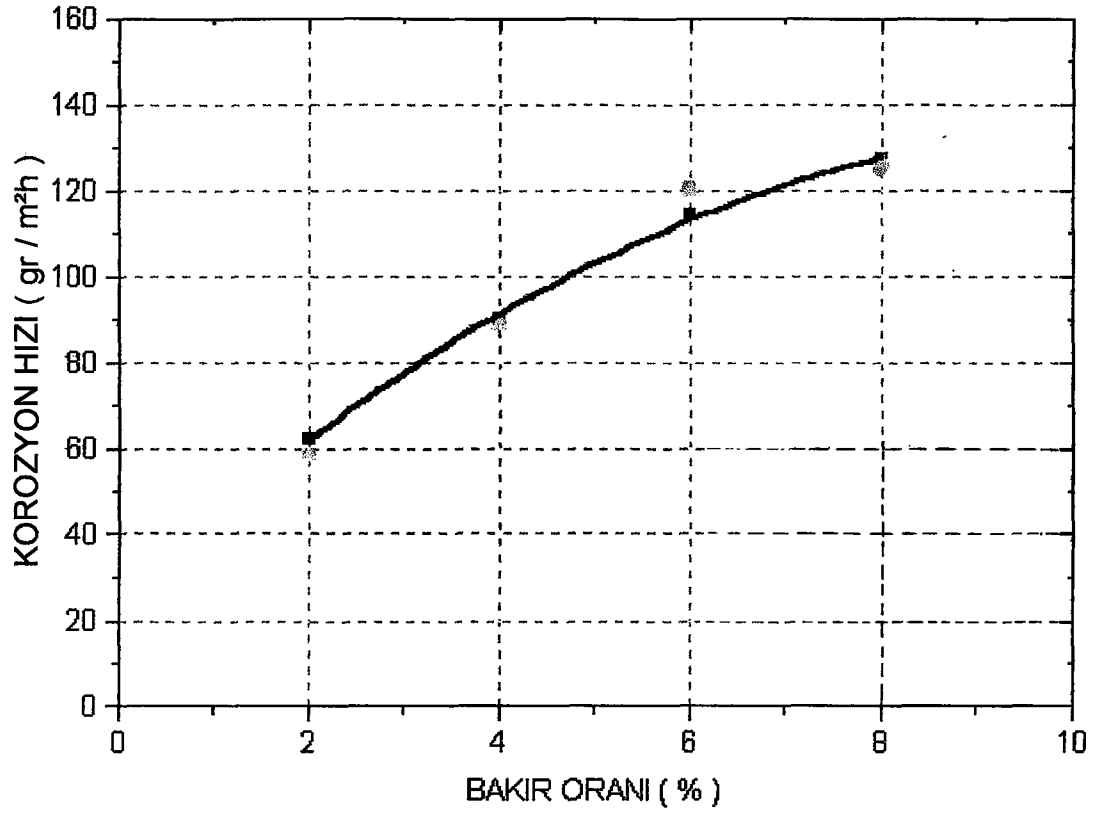
Şekil 4.51 Döküm alaşımlarının % 3,5 luk NaCl içindeki korozyon hızları



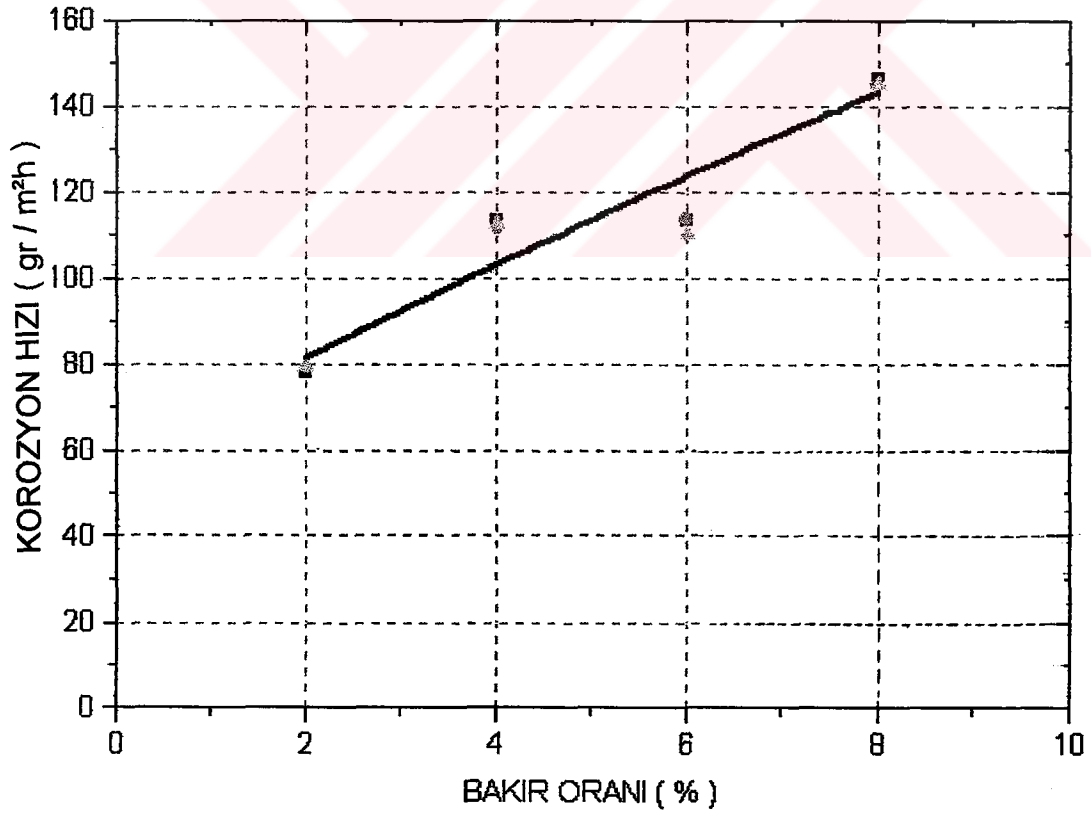
Şekil 4.52 Döküm alaşımlarının %5 lik NaCl içindeki korozyon hızları



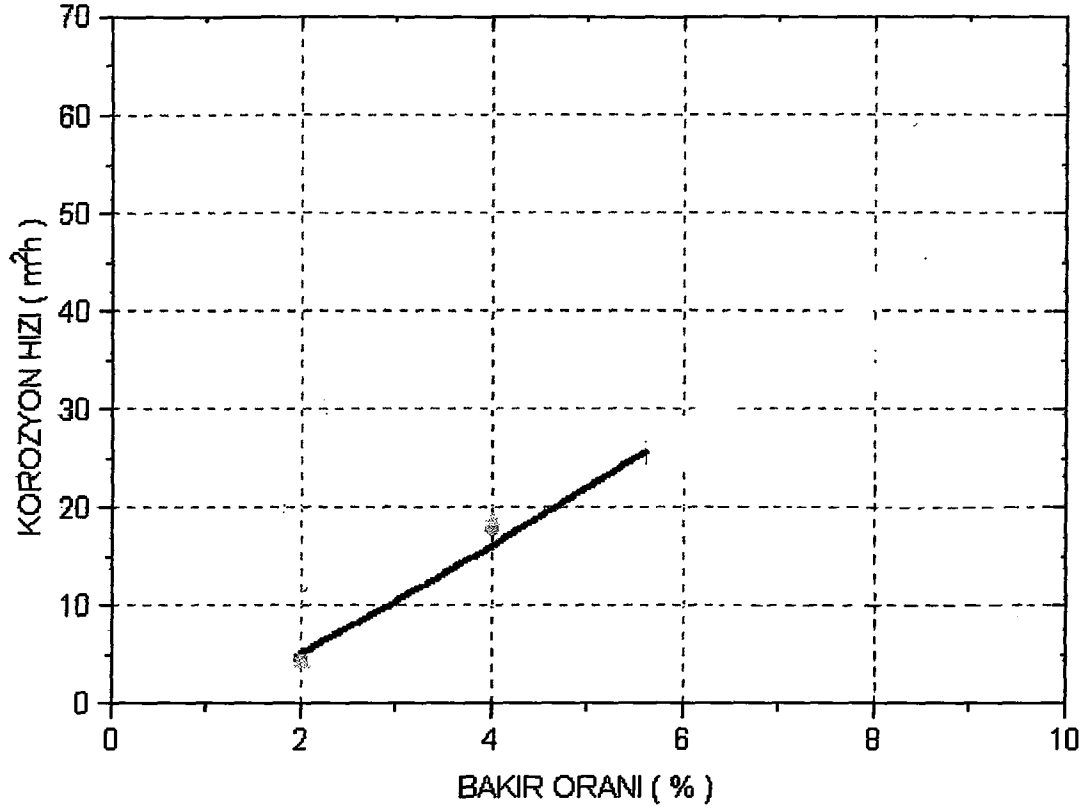
Şekil 4.53 Döküm alaşımlarının % 2 lik H_2SO_4 içindeki korozyon hızları



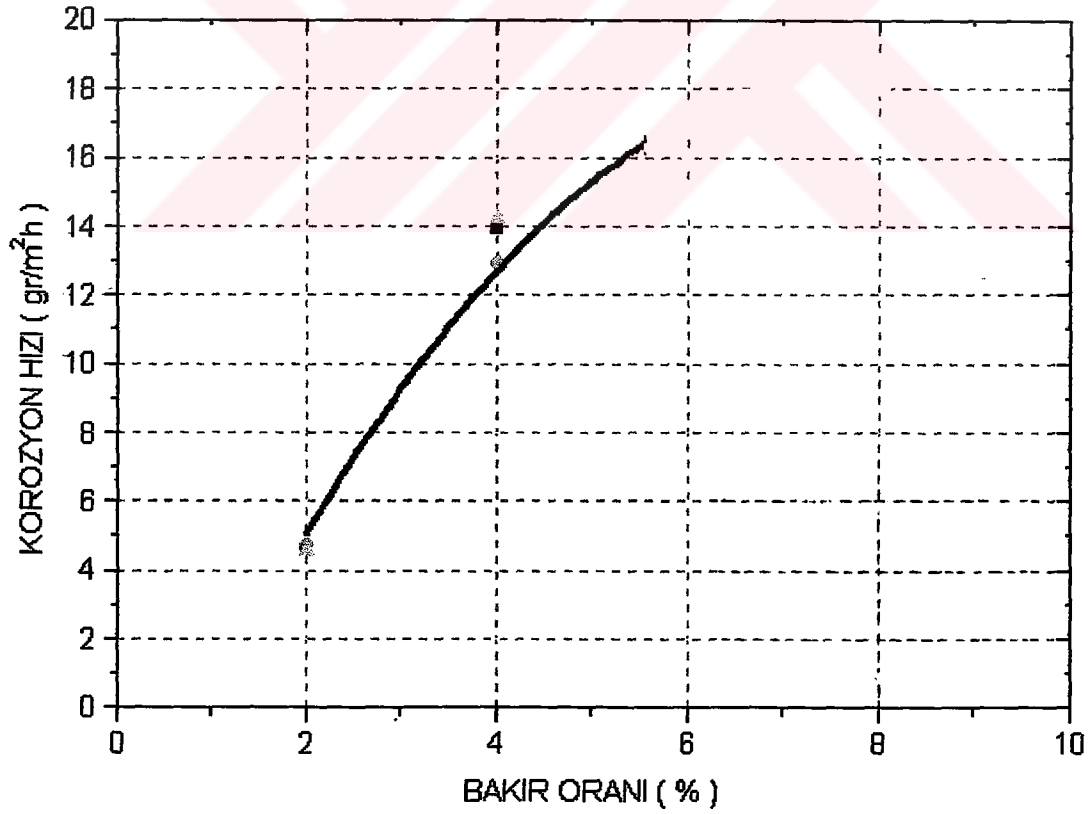
Şekil 4.54 Döküm alaşımlarının %3,5 lik H_2SO_4 içindeki korozyon hızları



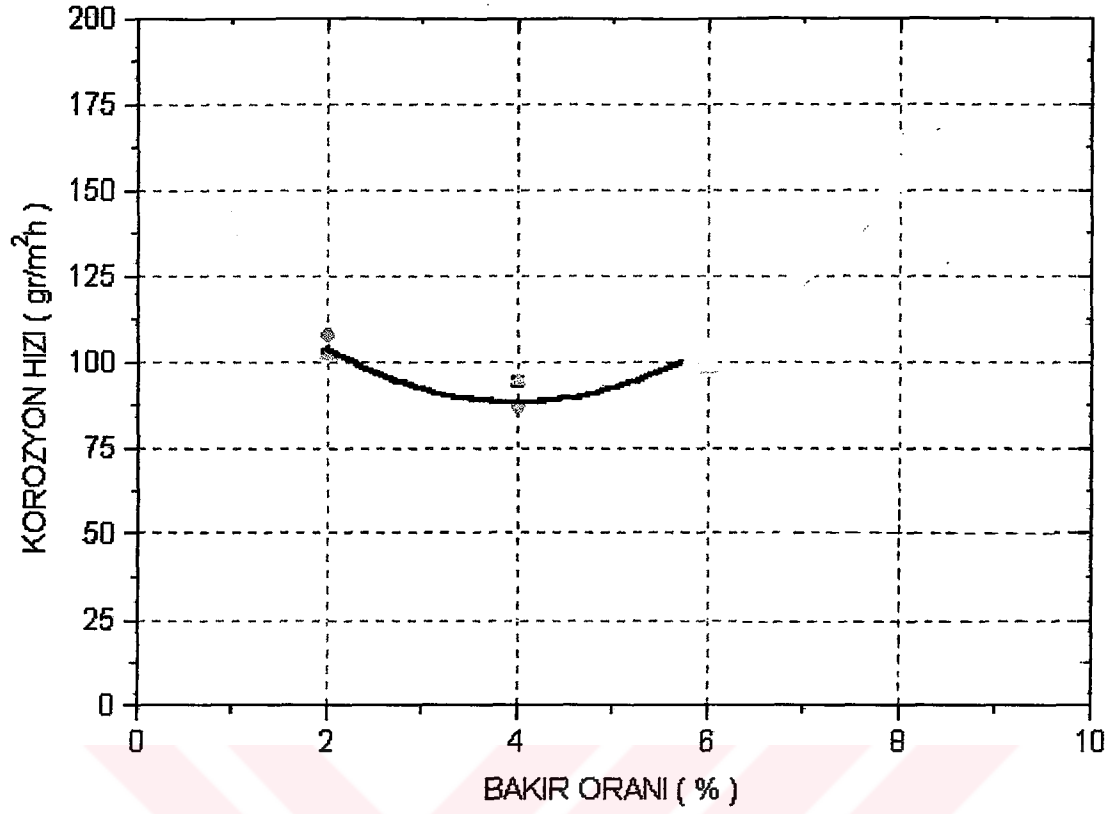
Şekil 4.55 Döküm alaşımlarının EXCO içindeki korozyon hızları



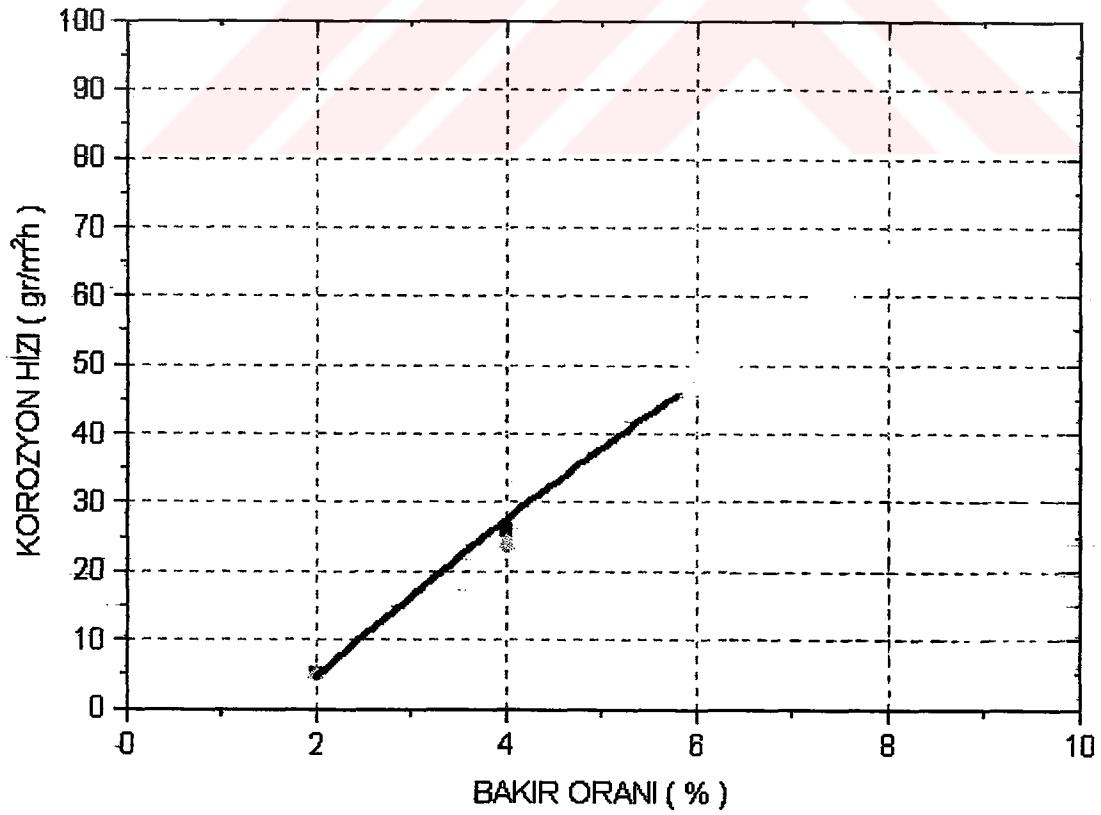
Şekil 4.56 Çökelme sertleşmesi uygulanmış alaşımların %2 lik NaCl içindeki korozyon hızları



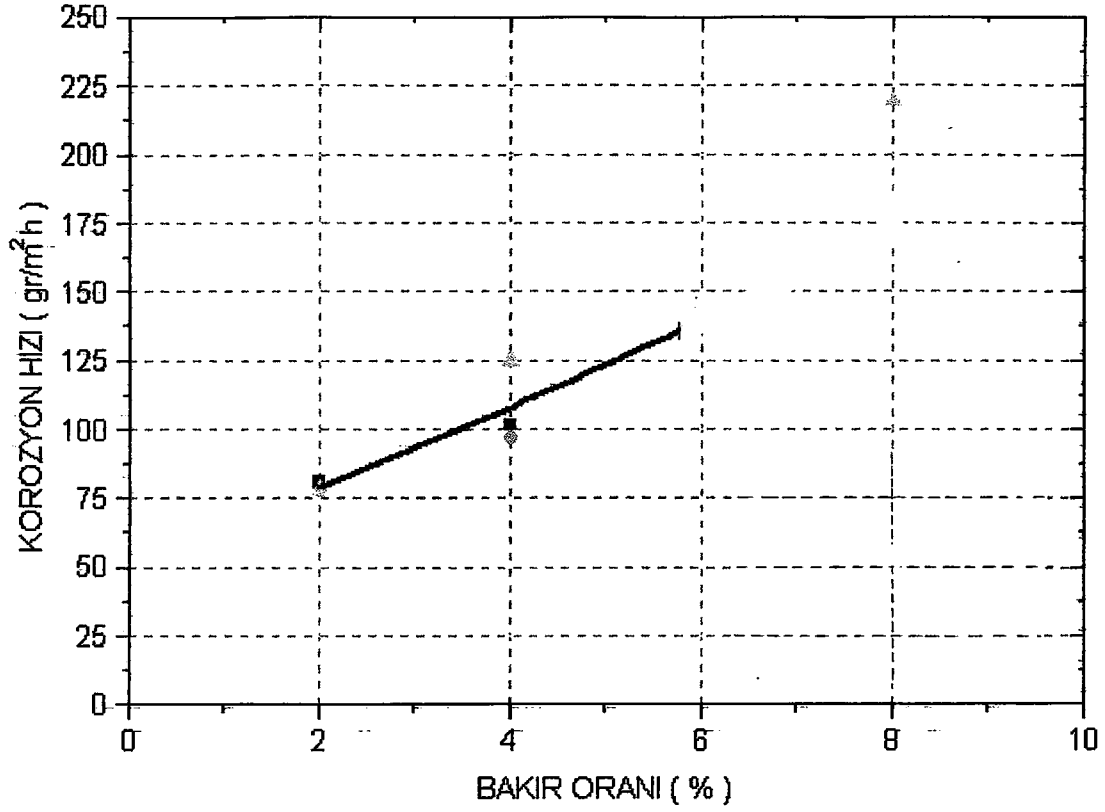
Şekil 4.57 Çökelme sertleşmesi uygulanmış alaşımların % 3,5 NaCl içindeki korozyon hızları



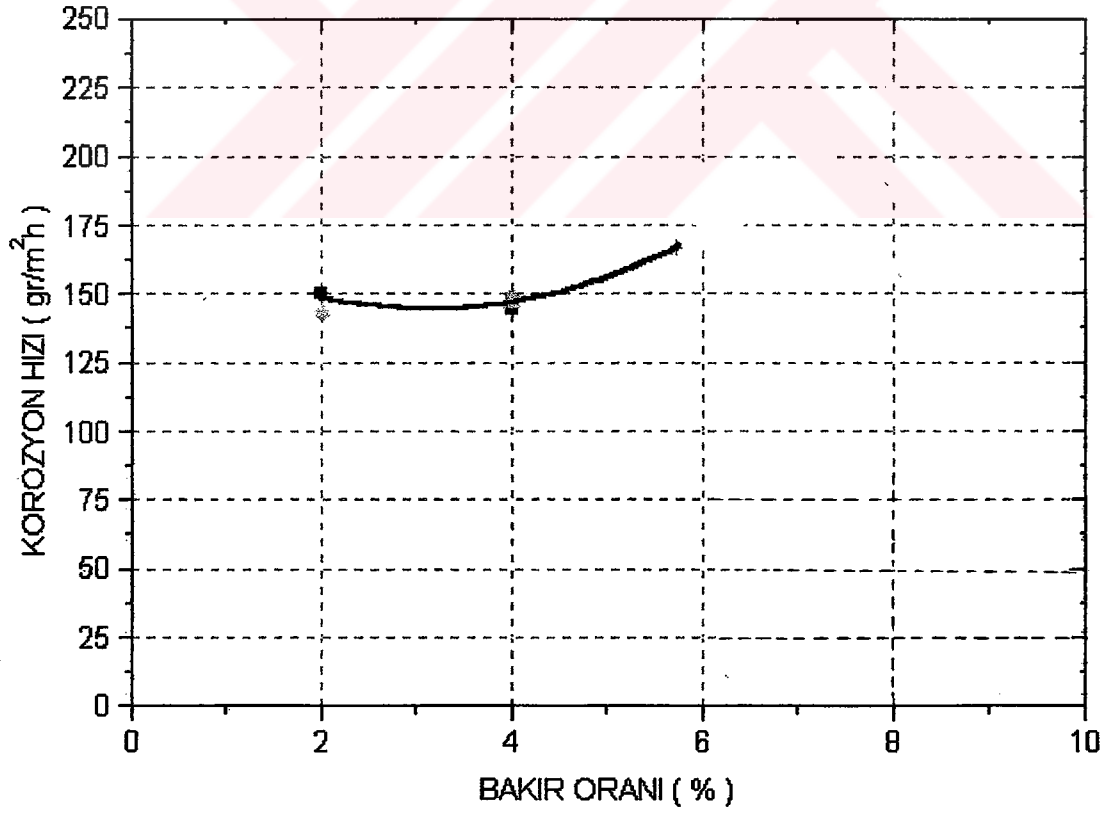
Şekil 4.58 Çökelme sertleşmesi uygulanmış alaşımların %5 lik NaCl içindeki korozyon hızları



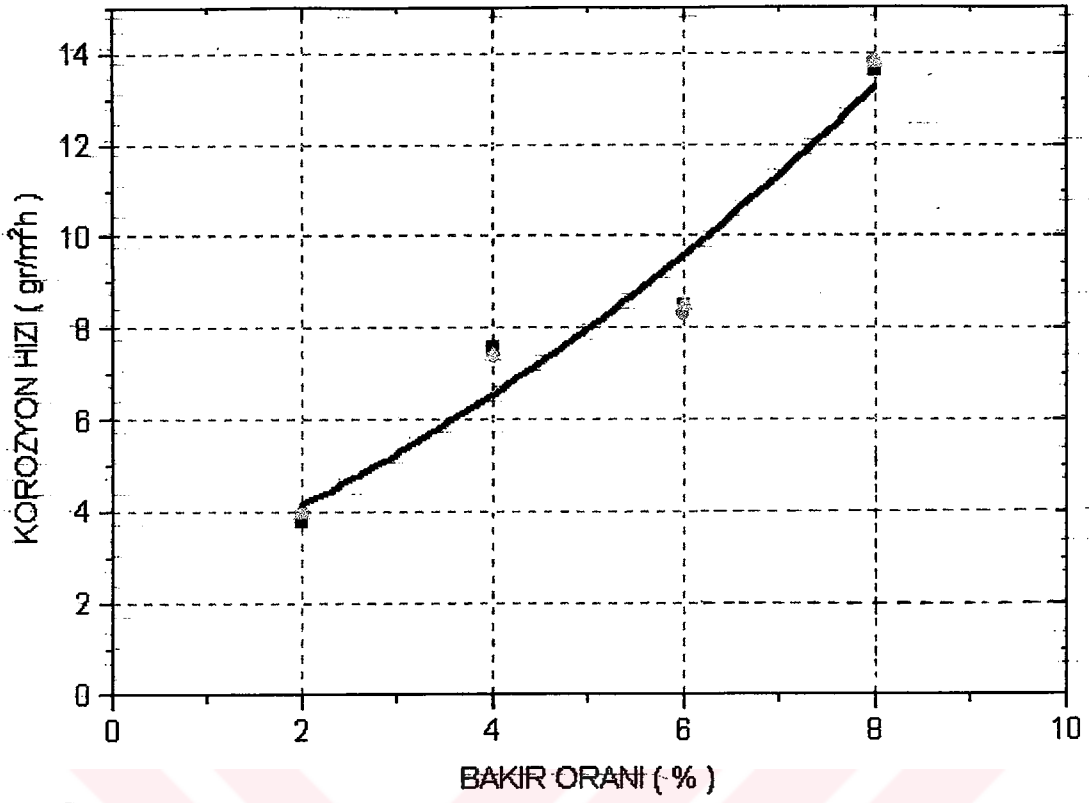
Şekil 4.59 Çökelme sertleşmesi uygulanmış alaşımların % 2 H_2SO_4 içindeki korozyon hızları



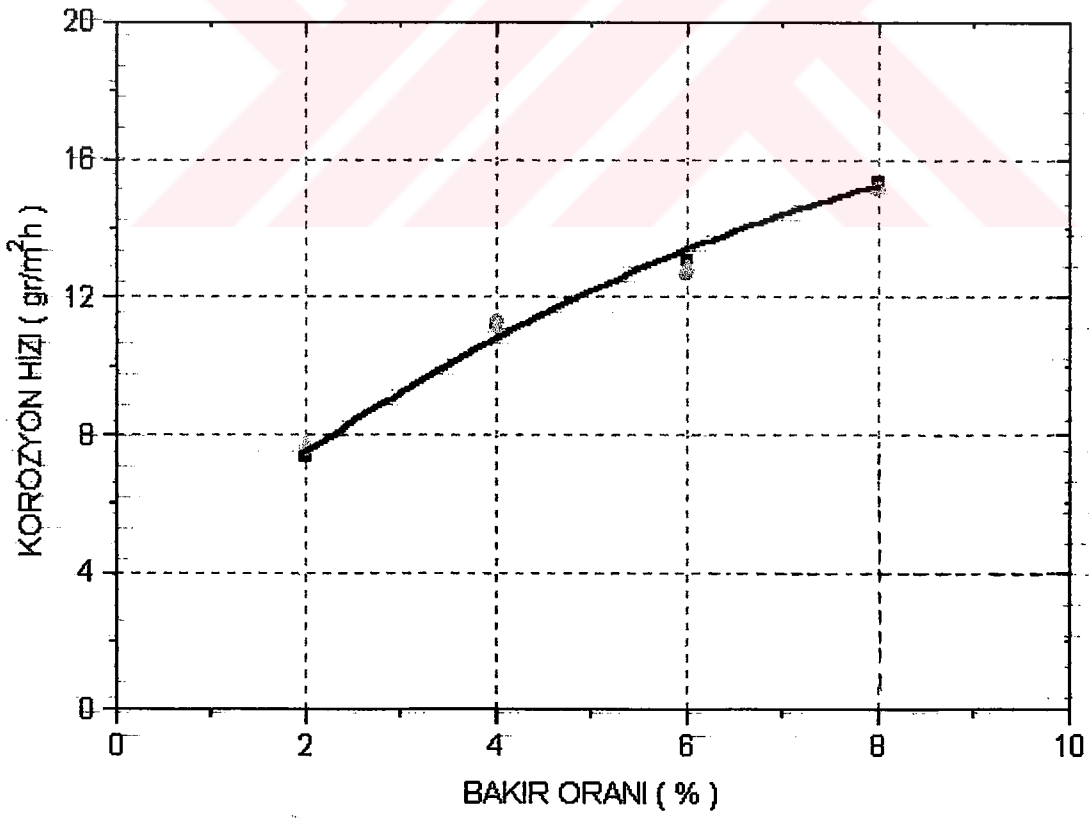
Şekil 4.60 Çökelme sertleşmesi uygulanmış alaşımların %3,5 luk H_2SO_4 içindeki korozyon hızları



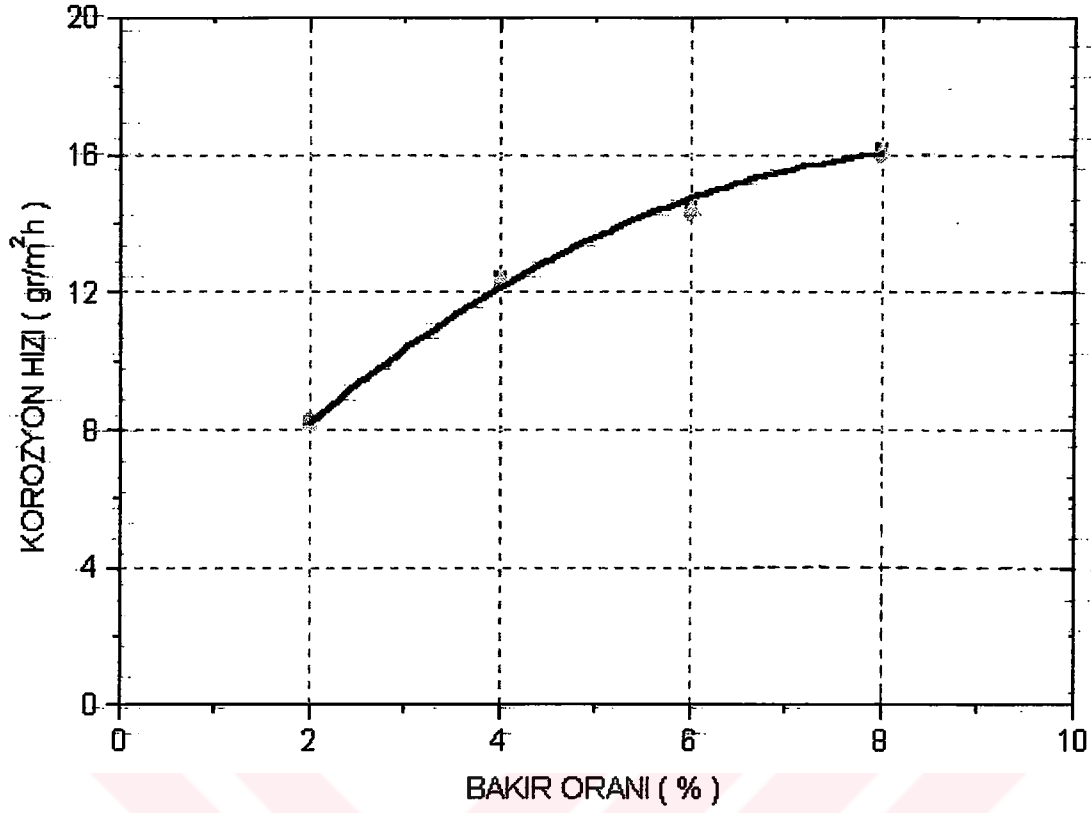
Şekil 4.61 Çökelme sertleşmesi uygulanmış alaşımların EXCO içindeki korozyon hızları



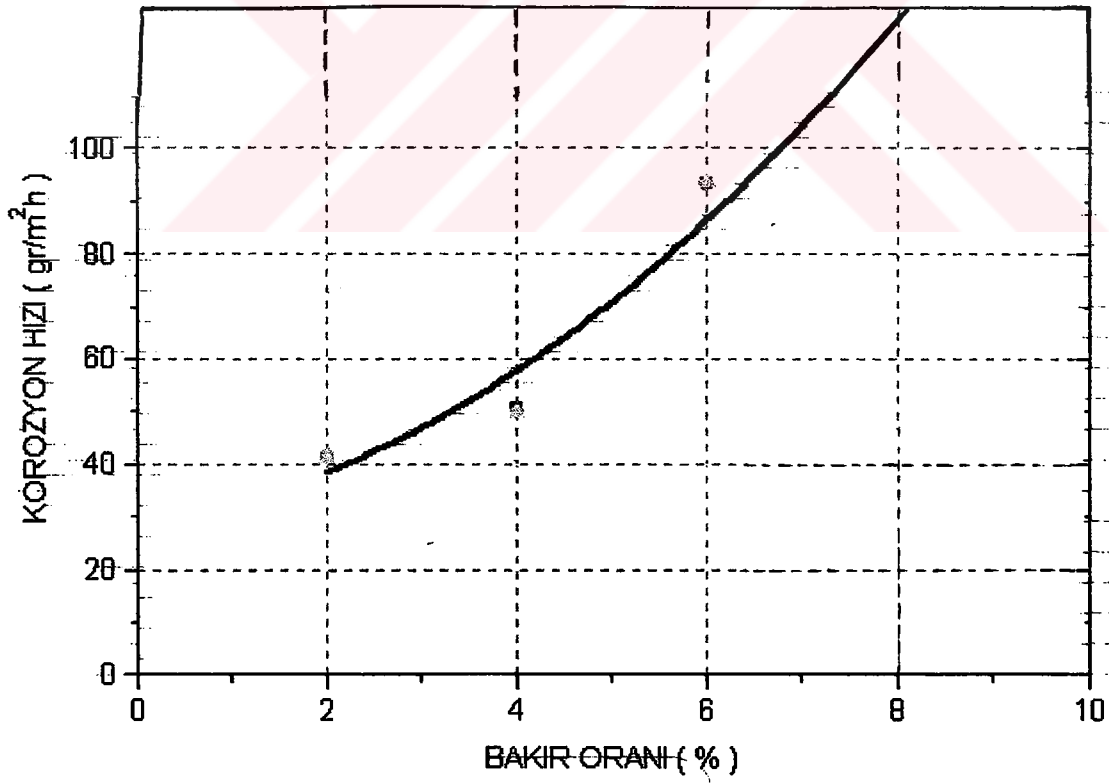
Şekil 4.62 Haddelenmiş alaşımların % 2 lik NaCl içindeki korozyon hızları



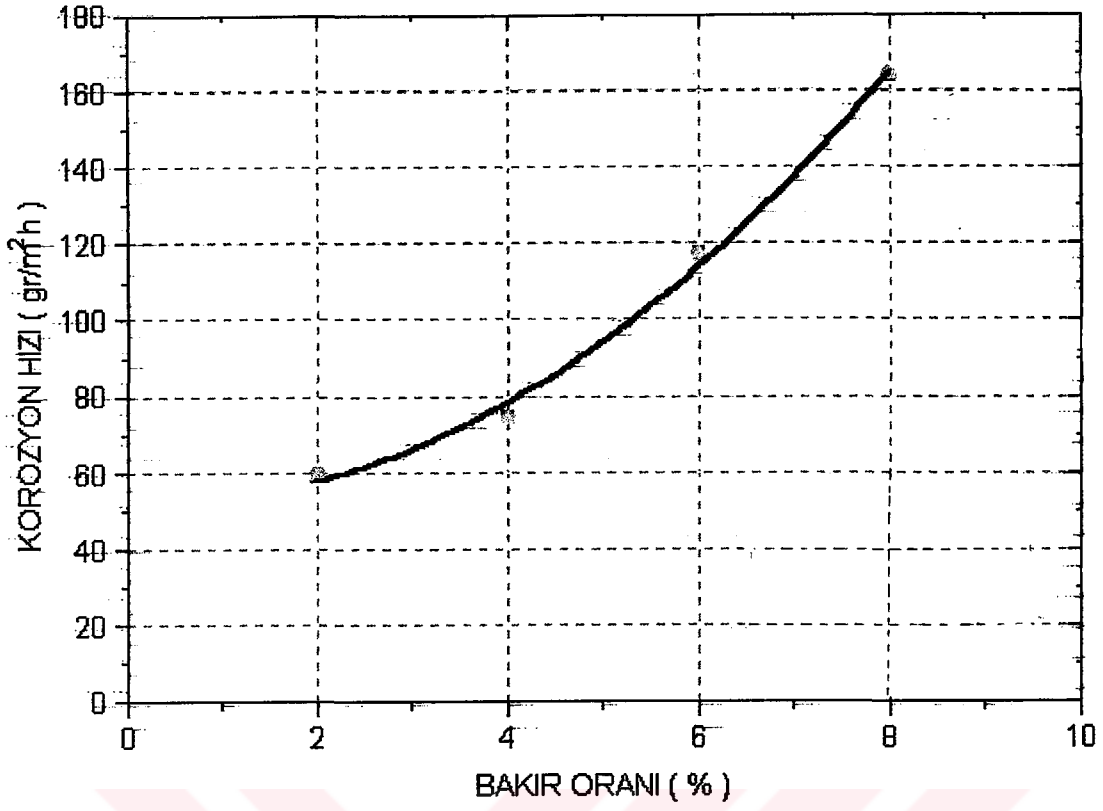
Şekil 4.63 Haddelenmiş alaşımların % 3,5 NaCl içindeki korozyon hızları



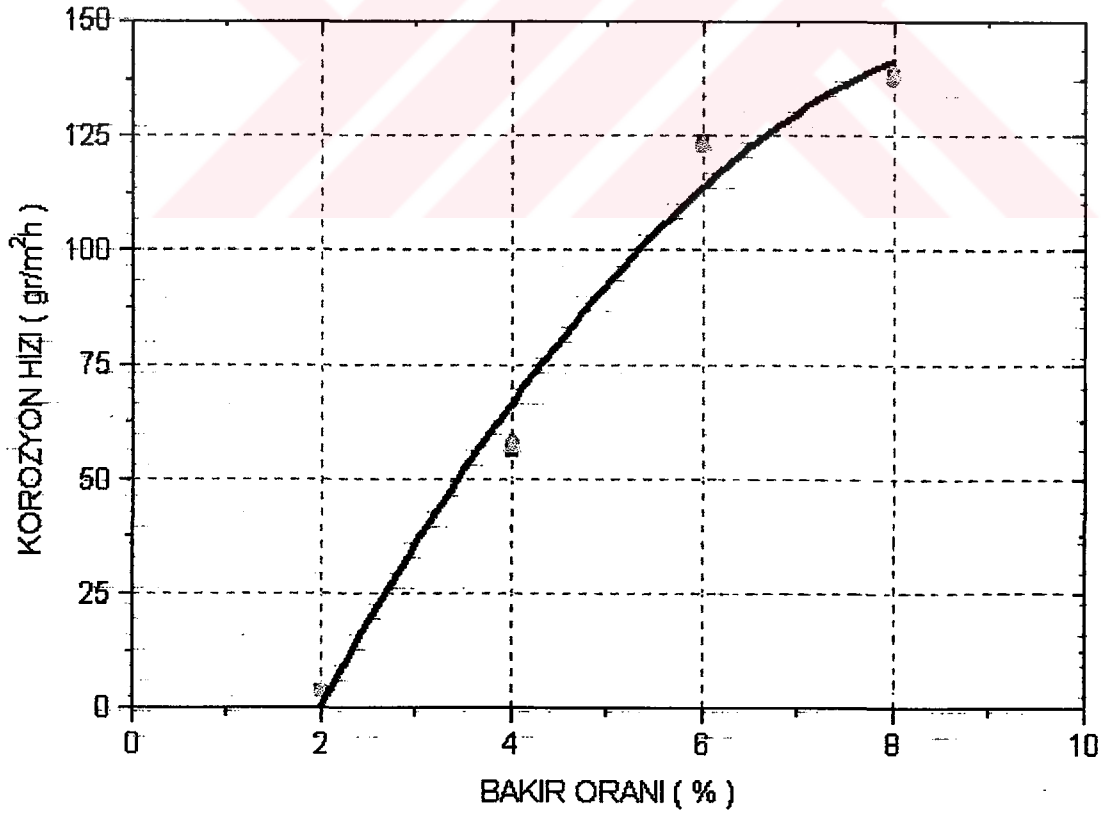
Şekil 4.64 Haddelenmiş alaşımların % 5 lik NaCl içindeki korozyon hızları



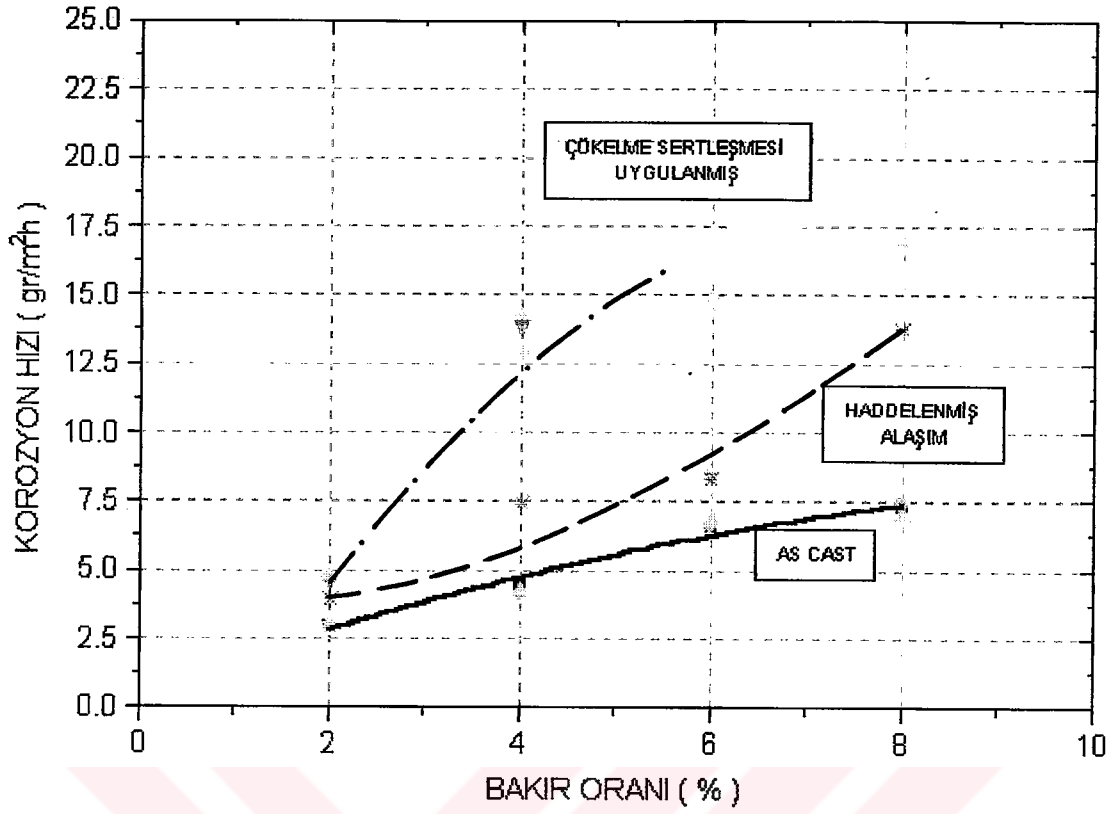
Şekil 4.65 Haddelenmiş alaşımların % 2lik H_2SO_4 içindeki korozyon hızları



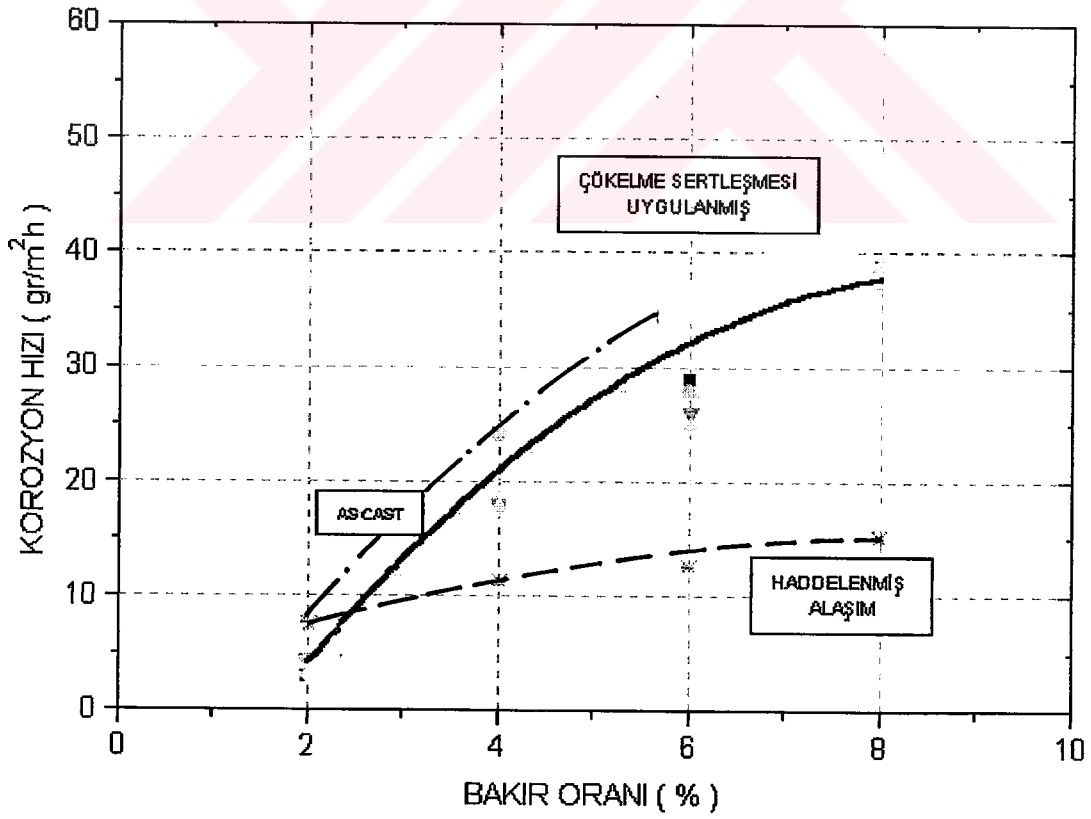
Şekil 4.66 Haddelenmiş alaşımların % 3,5 lik H_2SO_4 içindeki korozyon hızları



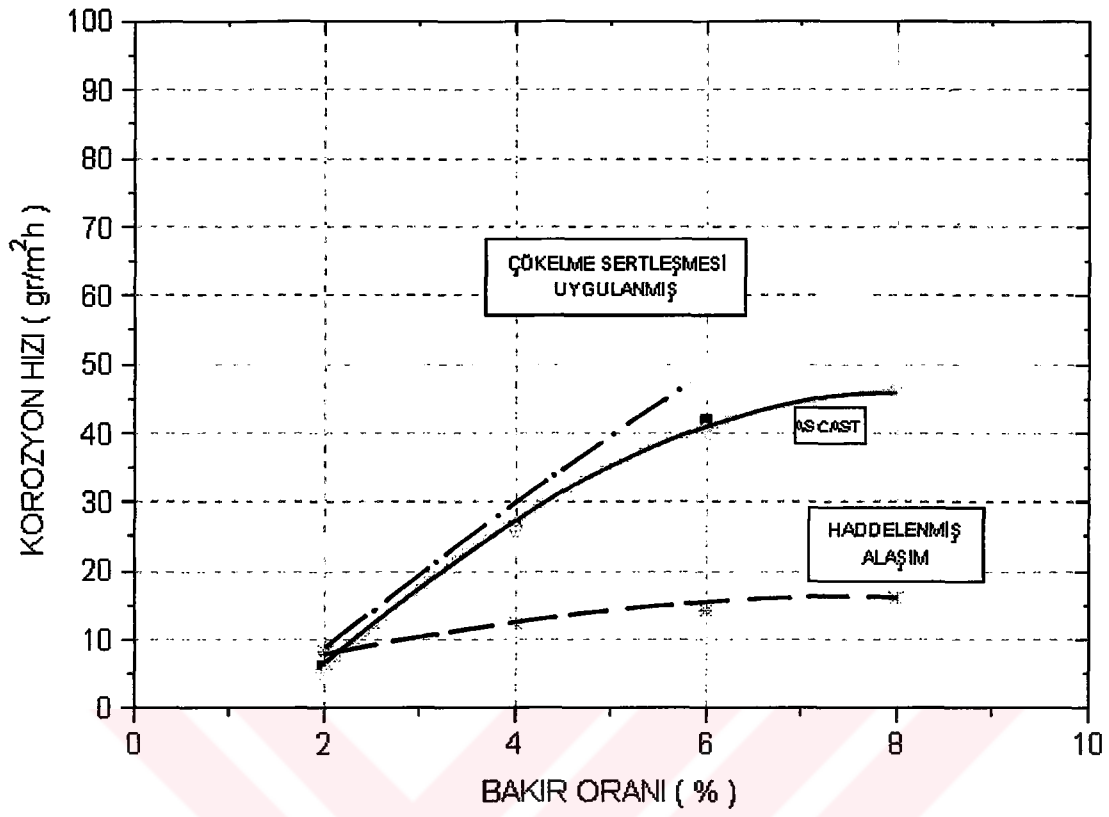
Şekil 4.67 Haddelenmiş alaşımların EXCO içindeki korozyon hızları



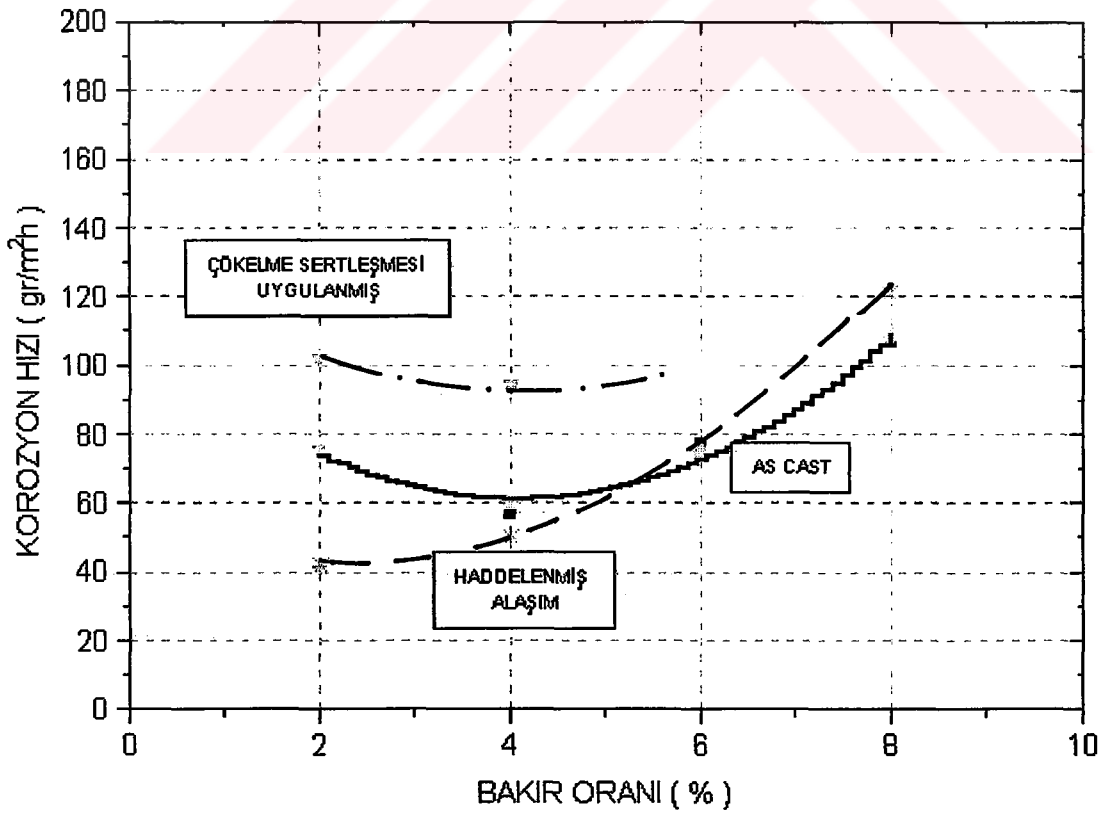
Şekil 4.68 Alaşımların % 2 lik NaCl içindeki korozyon hızları



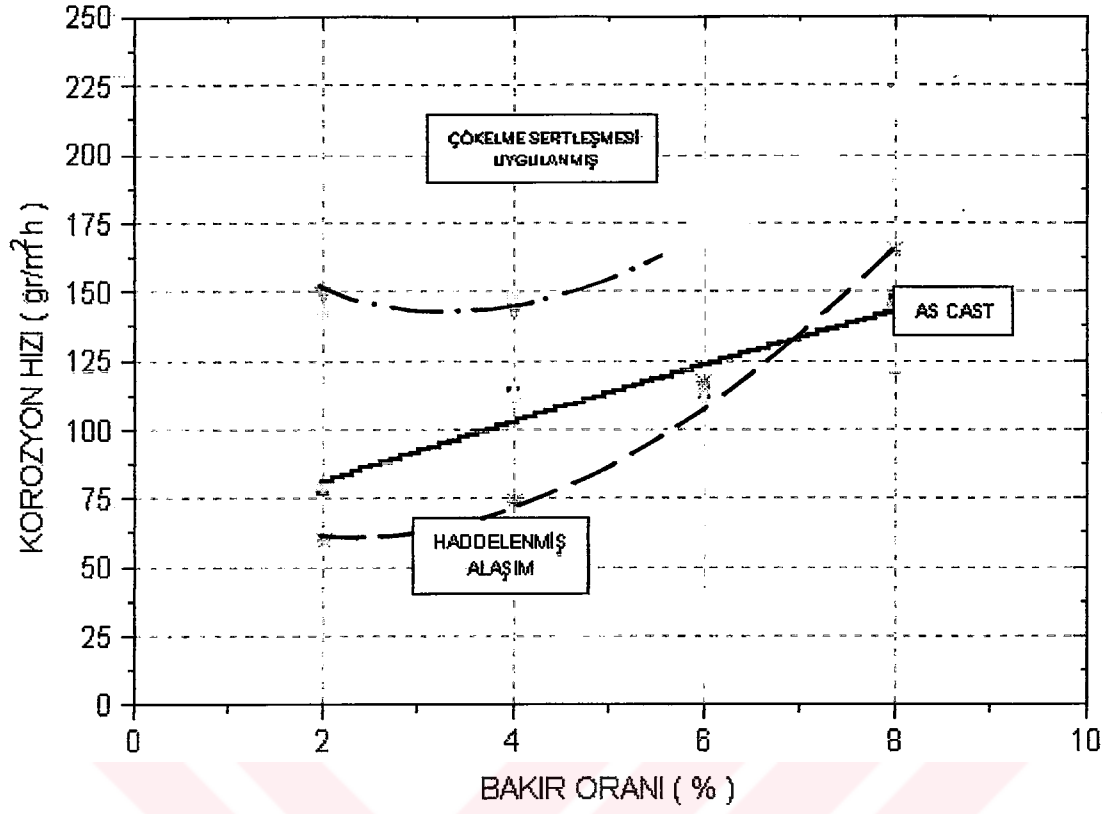
Şekil 4.69 Alaşımların % 3,5 luk NaCl içindeki korozyon hızları



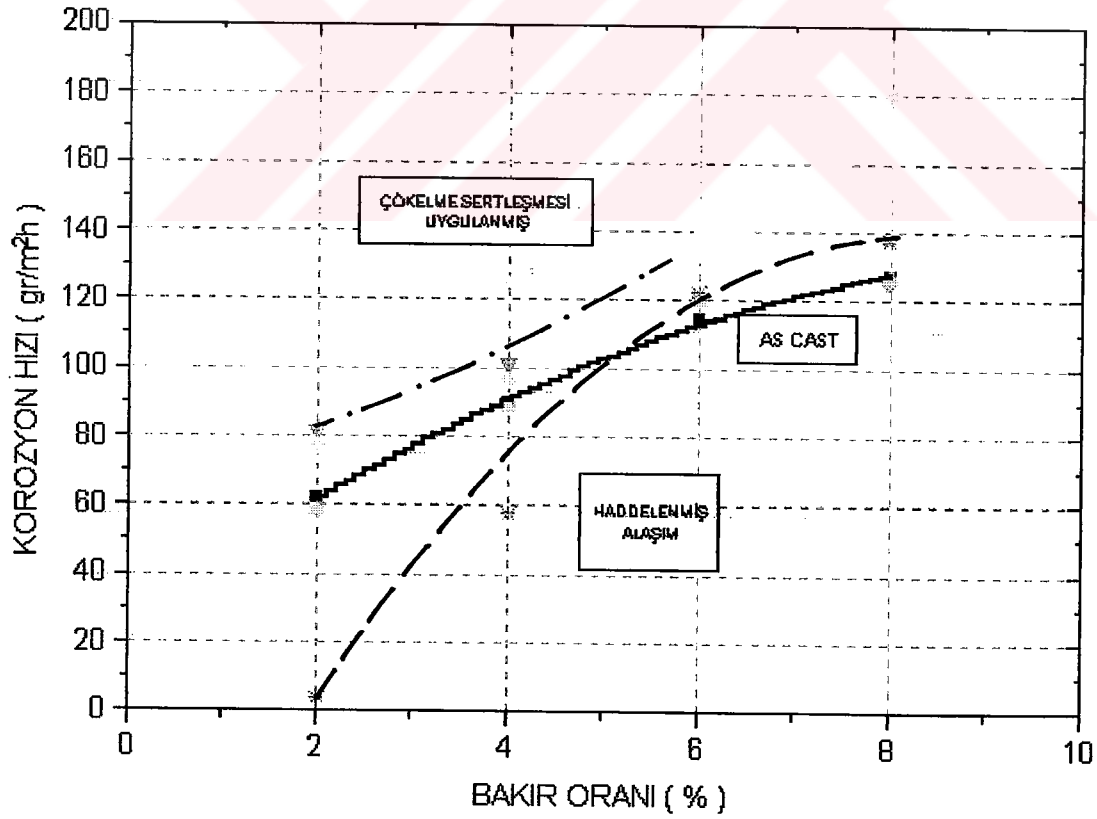
Şekil 4.70 Alaşımların % 5 lik NaCl içindeki korozyon hızları



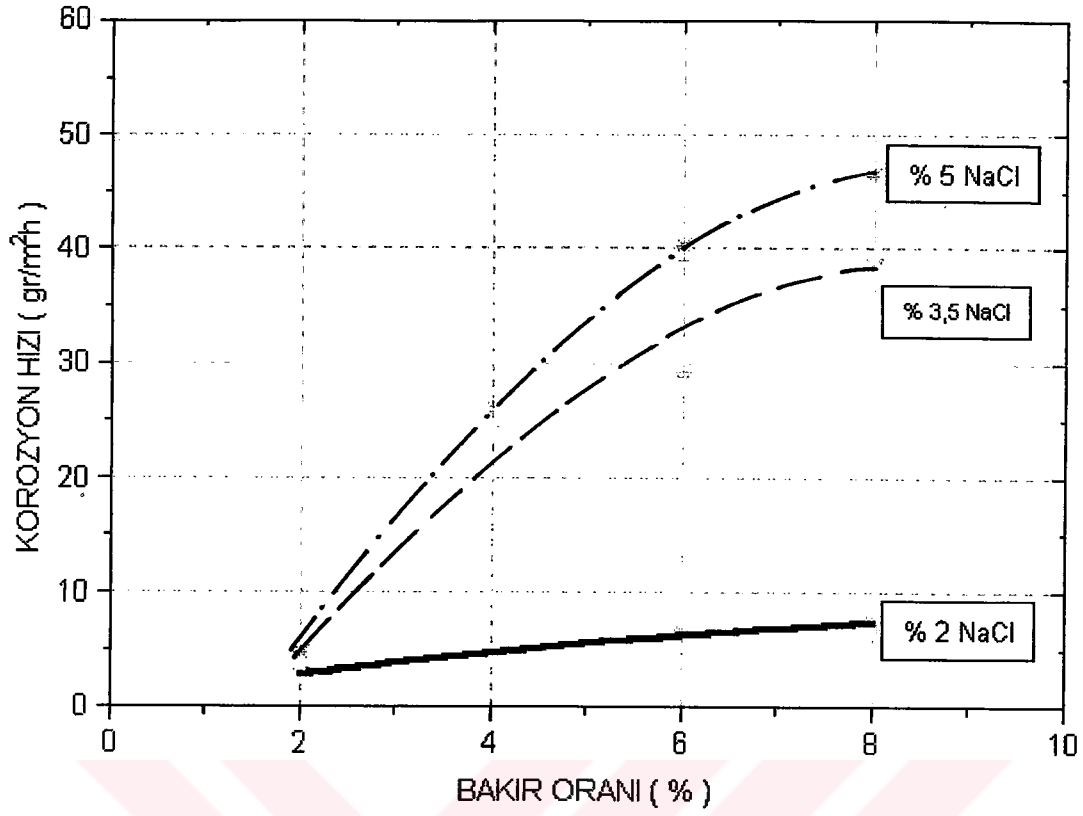
Şekil 4.71 Alaşımların % 2 lik H_2SO_4 içindeki korozyon hızları



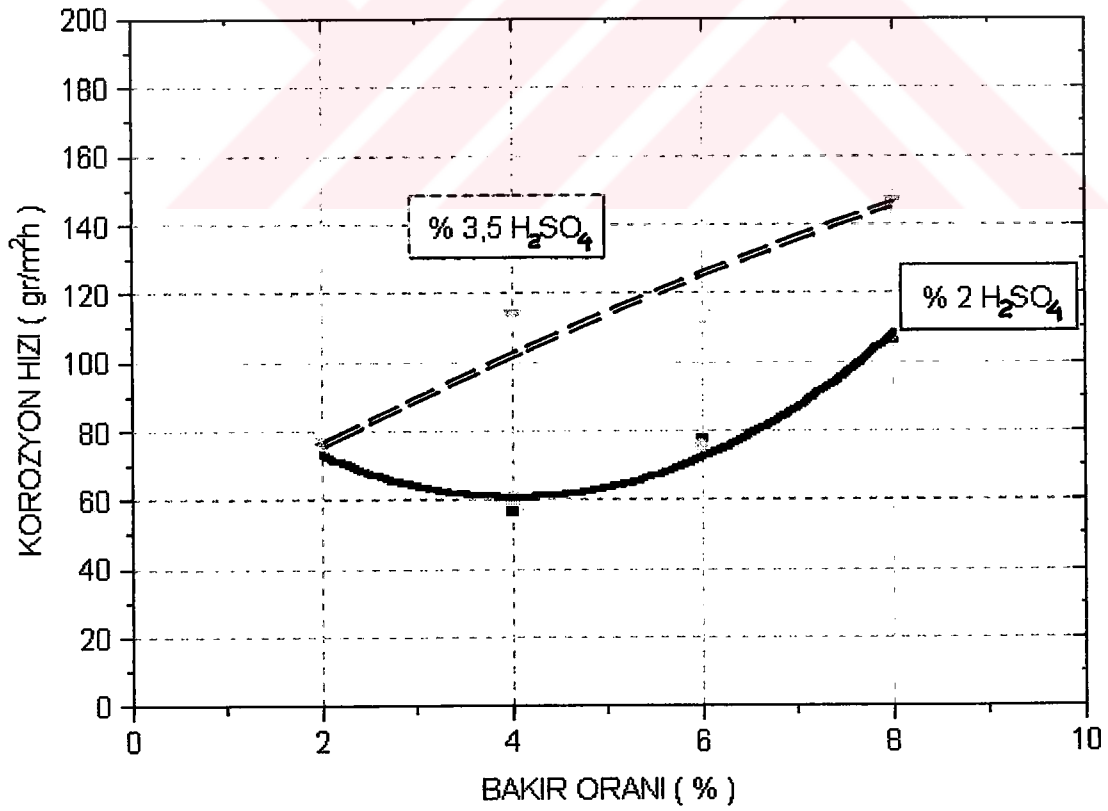
Şekil 4.72 Alaşımların % 3,5 luk H_2SO_4 deki korozyon hızları



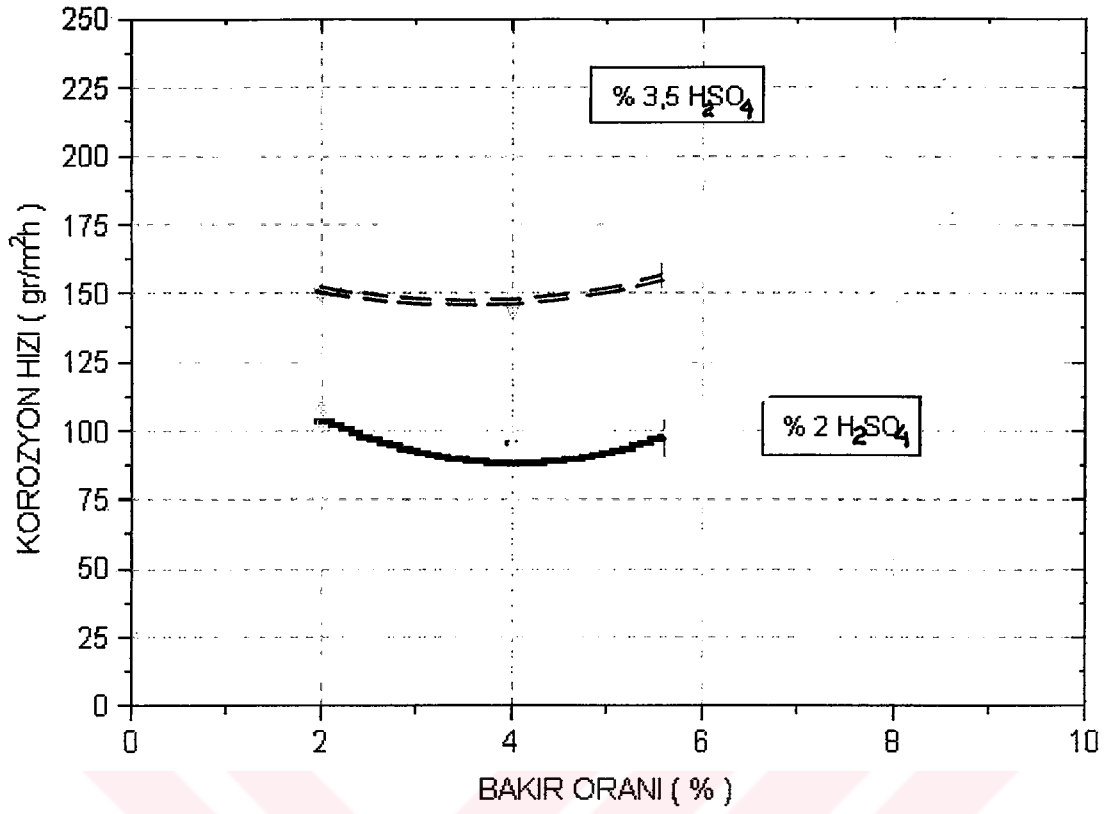
Şekil 4.73 Alaşımların EXCO içindeki korozyon hızları



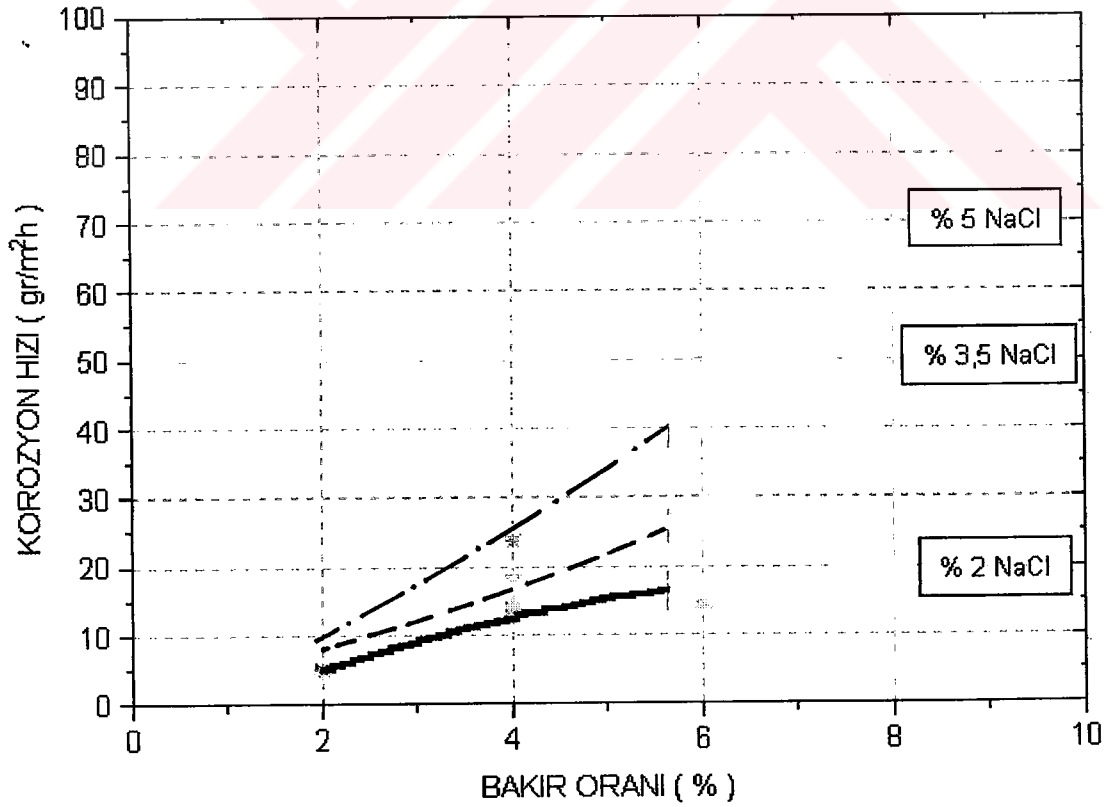
Şekil 4.74 Döküm alaşımların %2-%3,5 ve %5 lik NaCl içindeki korozyon hızları



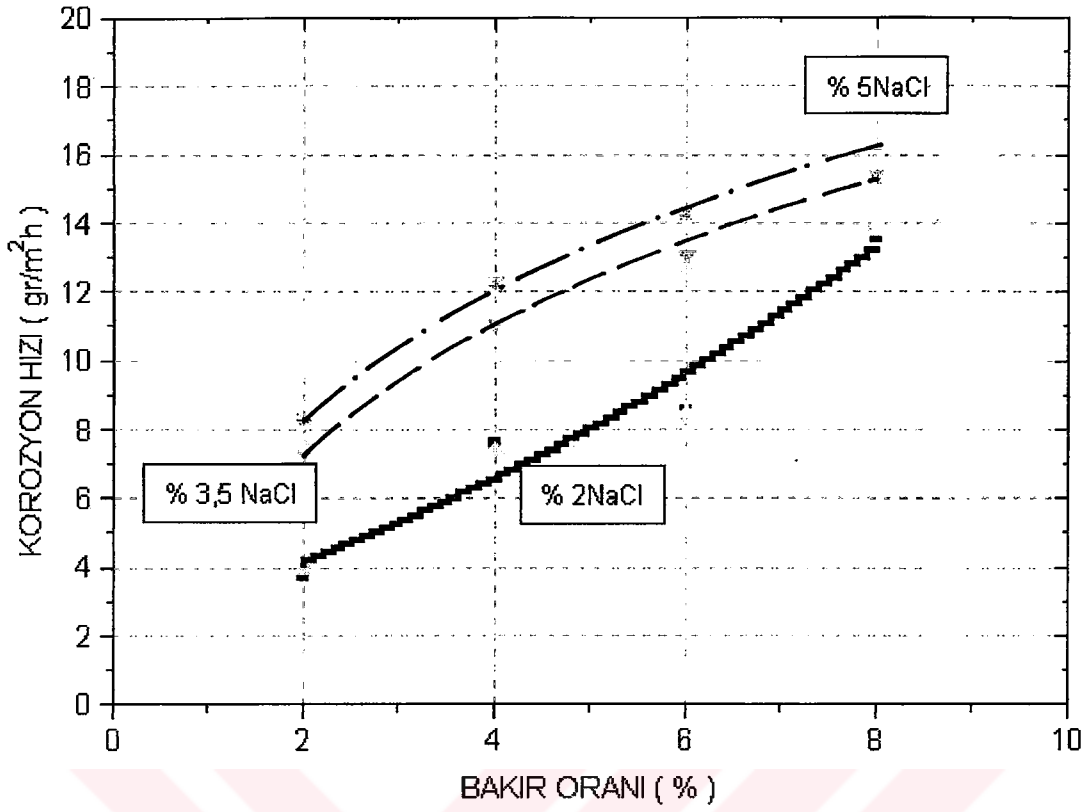
Şekil 4.75 Döküm alaşımların %2 ve %3,5 H_2SO_4 içindeki korozyon hızları



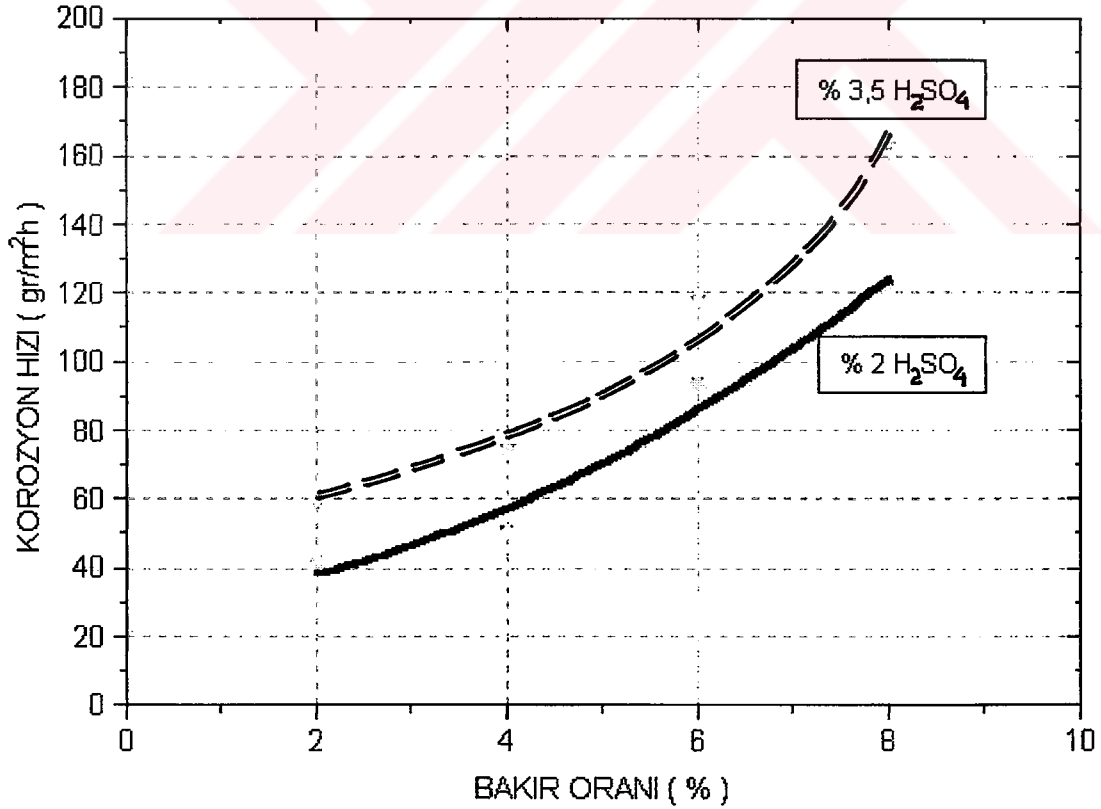
Şekil 4.76 Çökelme sertleşmesi alaşımlarının %2-%3,5 ve %5 lik NaCl içindeki korozyon hızları



Şekil 4.77 Çökelme sertleşmesi alaşımlarının %2 ve %3,5 H_2SO_4 içindeki korozyon hızları

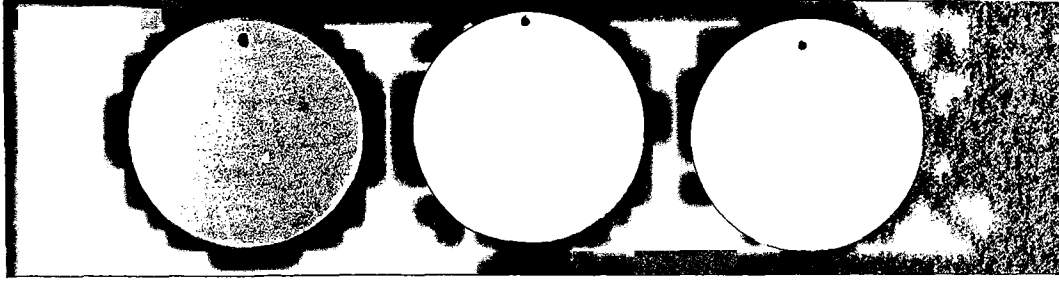


Şekil 4.78 Haddelenmiş alaşımların %2-%3,5 ve %5 lik NaCl içindeki korozyon hızları



Şekil 4.79 Haddelenmiş alaşımların %2 ve %3,5 H_2SO_4 içindeki korozyon hızları

Deney numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonra makro fotoğrafları çekilmiş ve bu fotoğraflar Şekil 4.80 ile Şekil 4.103 arasında verilmiştir.



% 2 NaCl

% 3,5 NaCl

% 5 NaCl

Şekil 4.80 Döküm Al - % 2 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

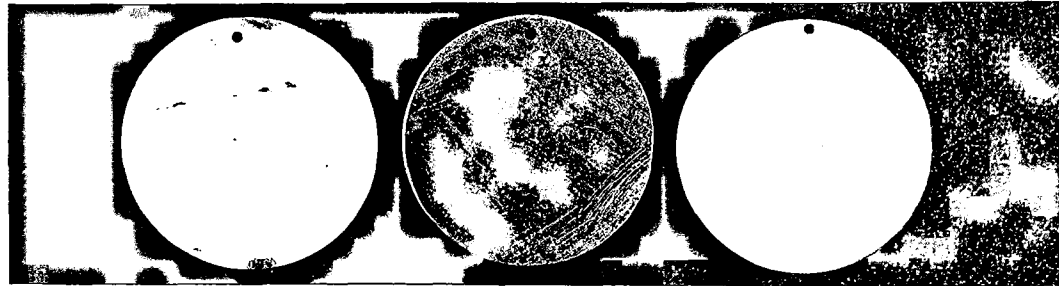


% 2 H₂SO₄

% 3,5 H₂SO₄

EXCO

Şekil 4.81 Döküm Al - % 2 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

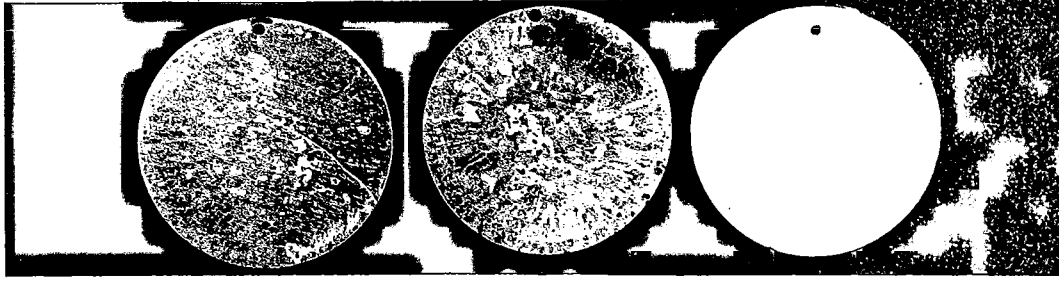


% 2 NaCl

% 3,5 NaCl

% 5 NaCl

Şekil 4.82 Döküm Al - % 4 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

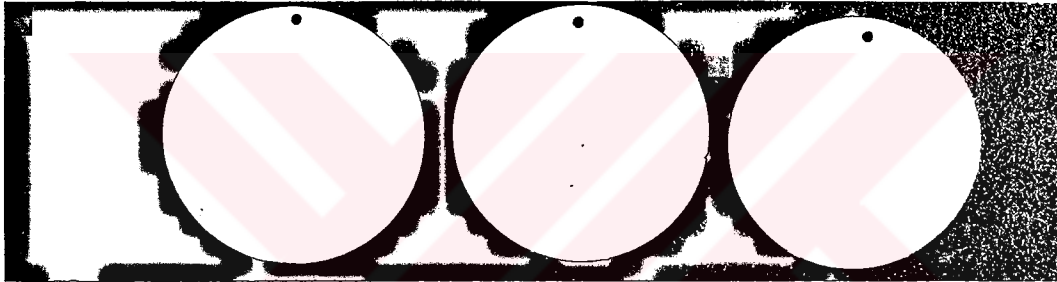


% 2 H₂SO₄

% 3,5 H₂SO₄

EXCO

Şekil 4.83 Döküm Al - % 4 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

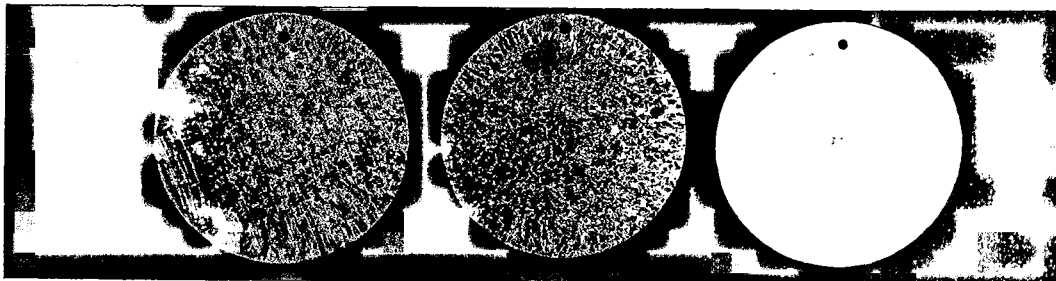


% 2 NaCl

% 3,5 NaCl

% 5 NaCl

Şekil 4.84 Döküm Al - % 6 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları



% 2 H₂SO₄

% 3,5 H₂SO₄

EXCO

Şekil 4.85 Döküm Al - % 6 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları



% 2 NaCl

% 3,5 NaCl

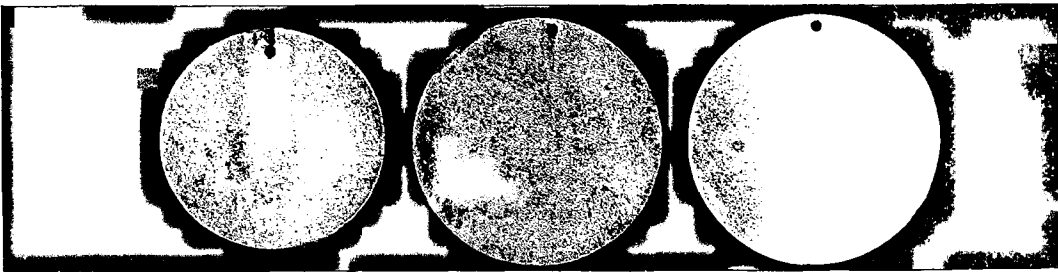
% 5 NaCl

Şekil 4.86 Döküm Al - % 8 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

% 2 H₂SO₄% 3,5 H₂SO₄

EXCO

Şekil 4.87 Döküm Al - % 8 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

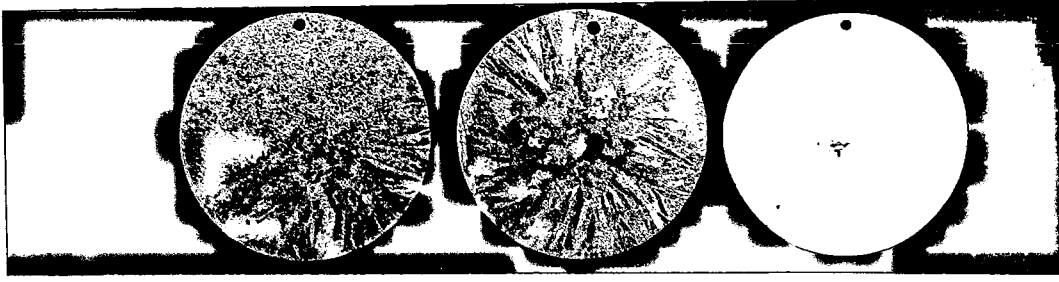


% 2 NaCl

% 3,5 NaCl

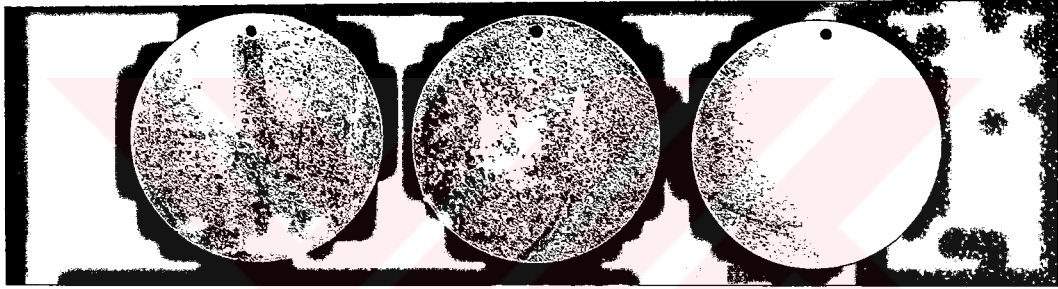
% 5 NaCl

Şekil 4.88 Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış Al - % 2 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

% 2 H₂SO₄% 3,5 H₂SO₄

EXCO

Şekil 4.89 Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış Al - % 2 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

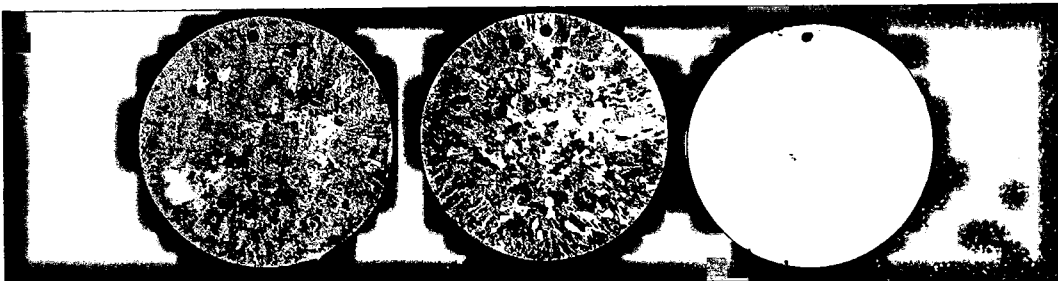


% 2 NaCl

% 3,5 NaCl

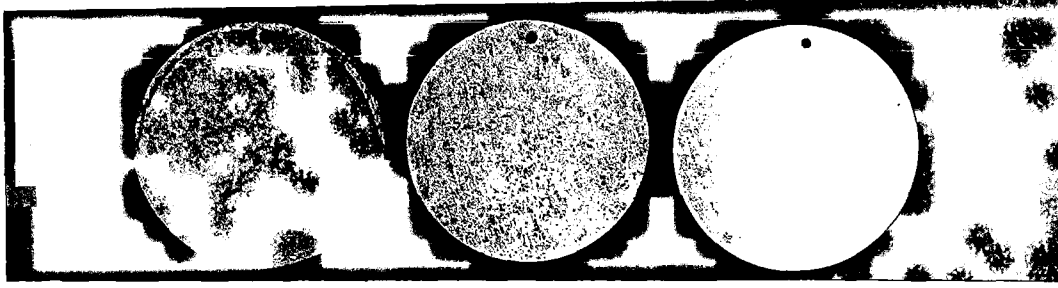
% 5 NaCl

Şekil 4.90 Çökelme sertleşmesi uygulanmış Al - % 4 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

% 2 H₂SO₄% 3,5 H₂SO₄

EXCO

Şekil 4.91 Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış Al - % 4 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

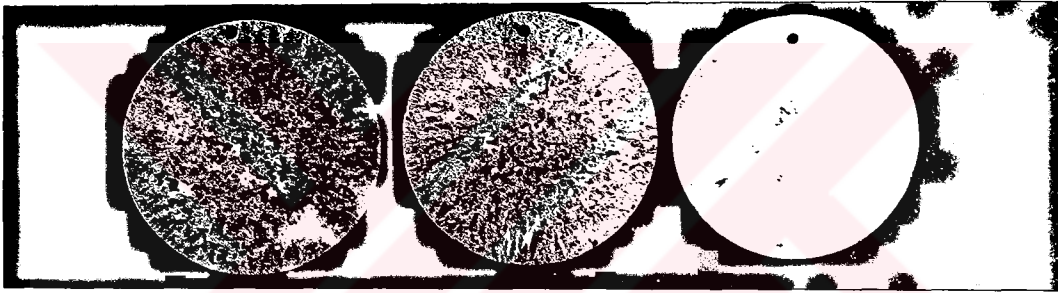


% 2 NaCl

% 3,5 NaCl

% 5 NaCl

Şekil 4.92 Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış Al - % 6 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

% 2 H₂SO₄% 3,5 H₂SO₄

EXCO

Şekil 4.93 Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış Al - % 6 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

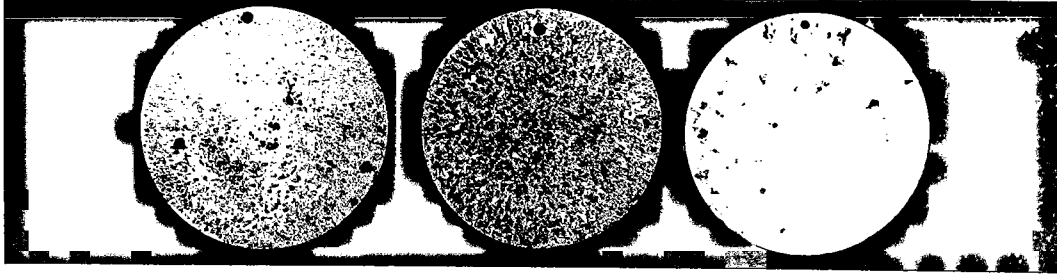


% 2 NaCl

% 3,5 NaCl

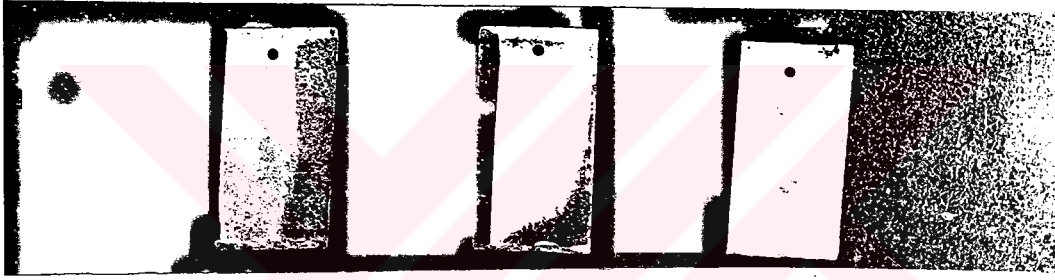
% 5 NaCl

Şekil 4.94 Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış Al - % 8 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları



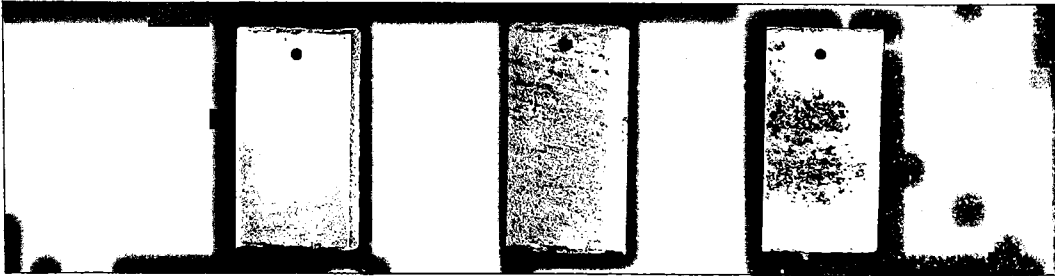
% 2 H₂SO₄ % 3,5 H₂SO₄ EXCO

Şekil 4.95 Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış Al - % 8 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları



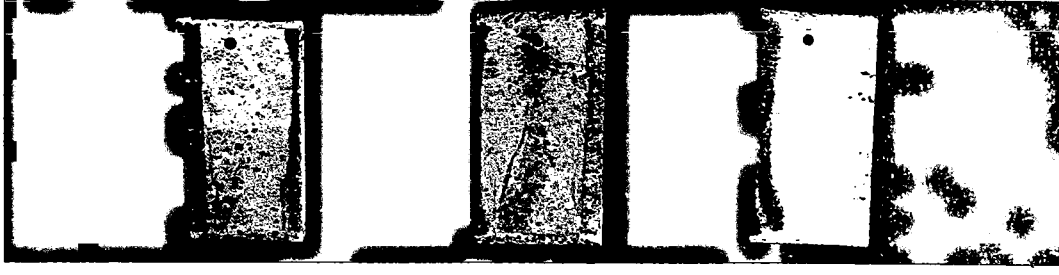
% 2 NaCl % 3,5 NaCl % 5 NaCl

Şekil 4.96 Haddeleme işlemi uygulanmış Al - % 2 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları



% 2 H₂SO₄ % 3,5 H₂SO₄ EXCO

Şekil 4.97 Haddeleme işlemi uygulanmış Al - % 2 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları



% 2 NaCl

% 3,5 NaCl

% 5 NaCl

Şekil 4.98 Haddeleme işlemi uygulanmış Al - % 4 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

% 2 H₂SO₄% 3,5 H₂SO₄

EXCO

Şekil 4.99 Haddeleme işlemi uygulanmış Al - % 4 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

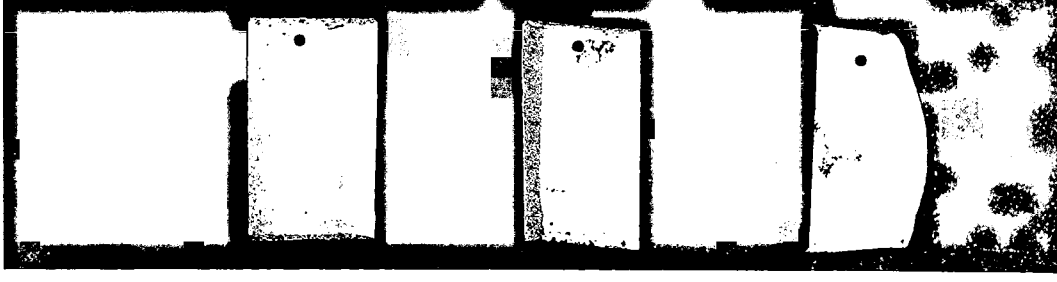


% 2 NaCl

% 3,5 NaCl

% 5 NaCl

Şekil 4.100 Haddeleme işlemi uygulanmış Al - % 6 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

% 2 H₂SO₄% 3,5 H₂SO₄

EXCO

Şekil 4.101 Haddeleme işlemi uygulanmış Al - % 6 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

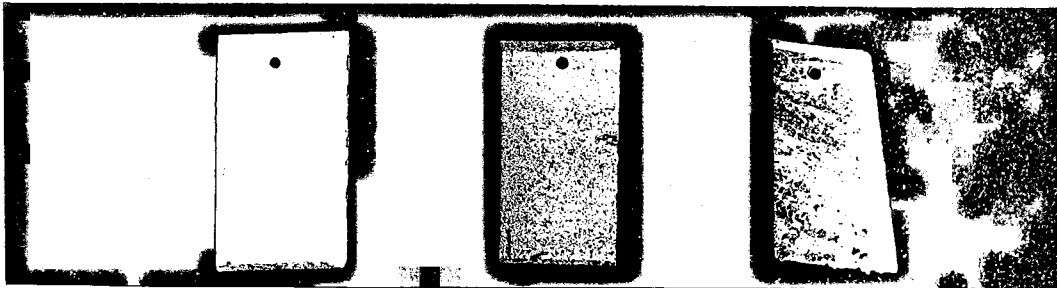


% 2 NaCl

% 3,5 NaCl

% 5 NaCl

Şekil 4.102 Haddeleme işlemi uygulanmış Al - % 8 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

% 2 H₂SO₄% 3,5 H₂SO₄

EXCO

Şekil 4.103 Haddeleme işlemi uygulanmış Al - % 8 Cu alaşım numunelerinin çözeltilerden çıkarıldıktan sonraki durumları

4.6 Metalografik Muayene

Alaşım çubuklarının orta kısmına yakın bir yerden çıkarılan 5 mm kalınlığındaki numunelerin yüzeyleri paralel konuma getirilmiş ve her alaşım gurubuna ait numunelerden bir kısmına çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmıştır. Haddelenmiş alaşım guruplarının her birinden de metalografik inceleme yapmak için parçalar kesilmiştir.

Döküm, çökelme sertleştirmesi işlemi uygulanmış ve haddelenmiş alaşım numunelerinin hepsinin yüzeyleri, sırasıyla; 60, 120, 180, 280, 320, 400, 500, 600 ve 800 numaralı zımparalar ile zımparalanmıştır. Zımpara izleri giderilinceye kadar, çuha üzerinde önce krom oksit (Cr_2O_3), sonra da alüminyum oksit ile (Al_2O_3) ile parlatılmışlardır.

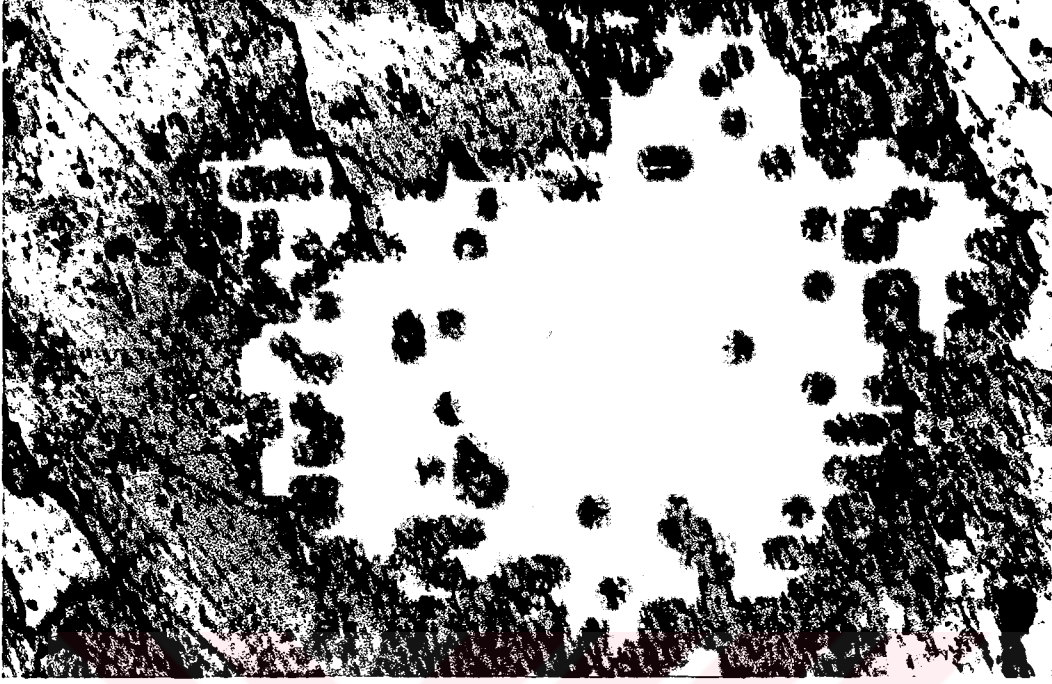
Son olarak; Buehler - Metaserv 2000 marka parlatma diski üzerinde, elmas pasta yardımıyla son parlatma işlemi yapılmış ve numuneler, mikro yapı fotoğraflarının çekileceği zamana kadar desikatör içinde saklanmıştır (Akdoğan, 1987).

Mikro yapı fotoğraflarının çekimine geçilmeden önce, parlatılmış olan numunelerin tüm yüzeyleri sırasıyla; % 2 HF ve Keller's ayracı ile dağlanmıştır (Akdoğan, 1987; Çiğdem, 1998)

Yüzeyleri dağlanan tüm alaşım guruplarına ait numunelerin mikro yapı fotoğrafları, PME Olympus, Tokyo marka ışık metal mikroskobunda çekilmiştir.

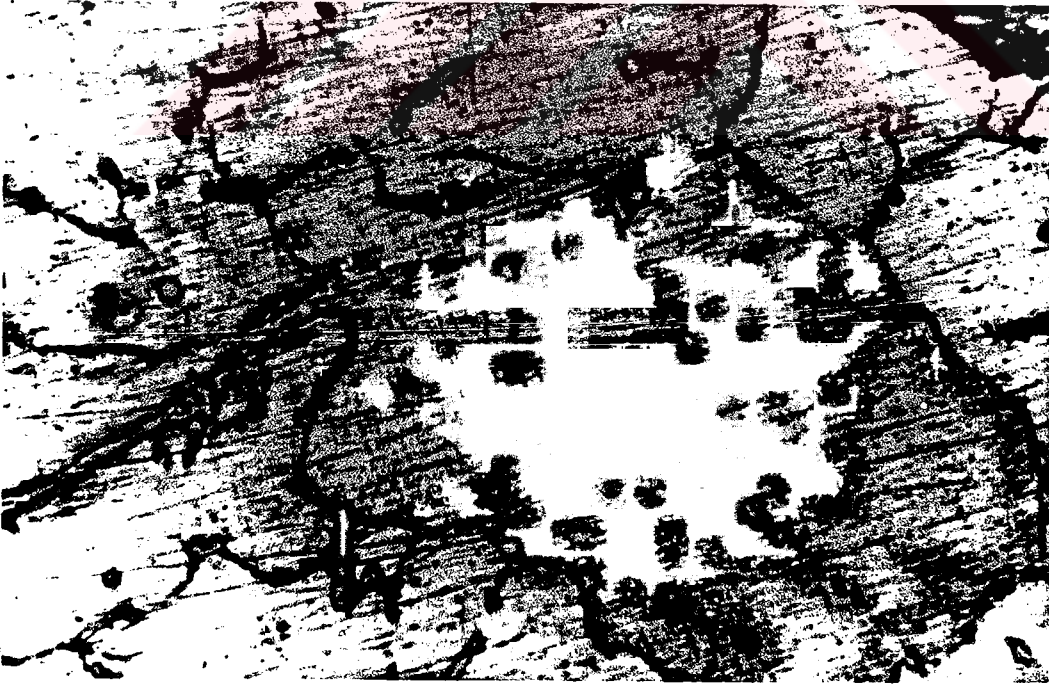
Çekilen mikro yapı fotoğrafları; numunelerin, korozyon çözeltilerine konmadan ve korozyon deneylerine başlanmadan önceki mikro yapılarını göstermektedir.

Elde edilen mikro yapı fotoğrafları Şekil 4.104 ile Şekil 4.115 arasında verilmiştir.



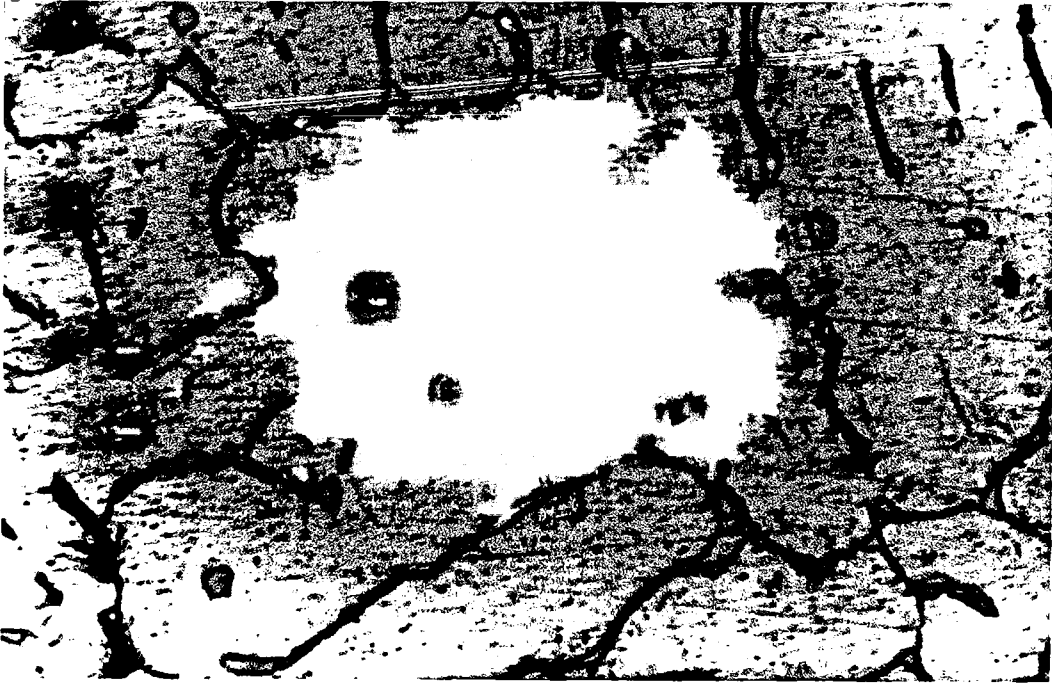
× 100

Şekil 4.104 Döküm Al - % 2 Cu alaşımının mikroyapısı



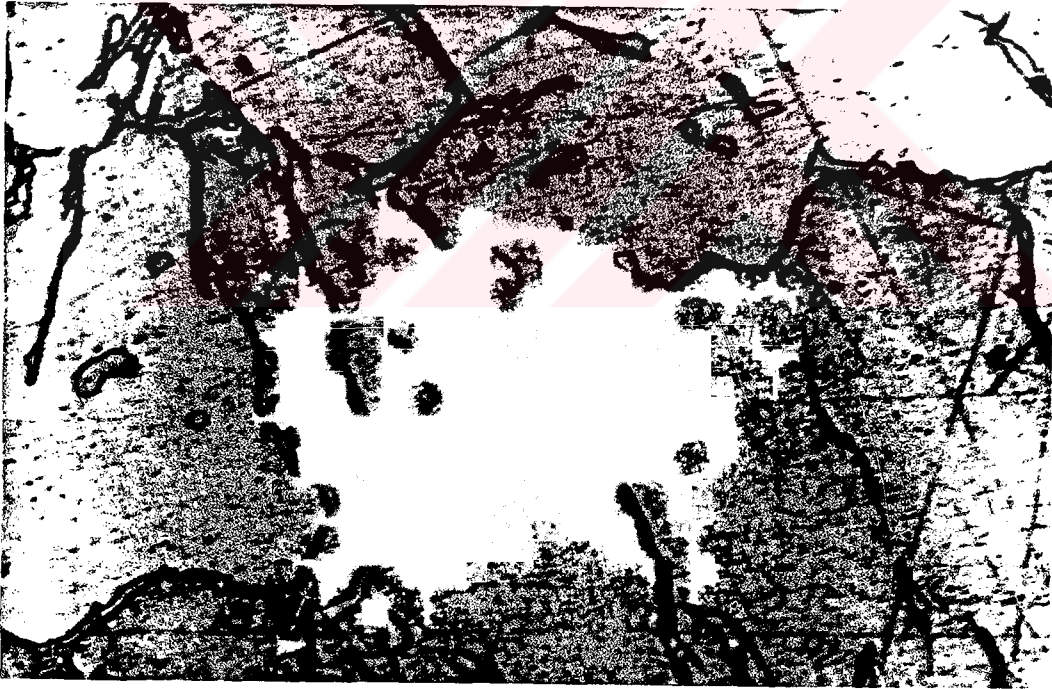
× 100

Şekil 4.105 Döküm Al - % 4 Cu alaşımının mikroyapısı



× 100

Şekil 4.106 Döküm Al - % 6 Cu alaşımının mikroyapısı

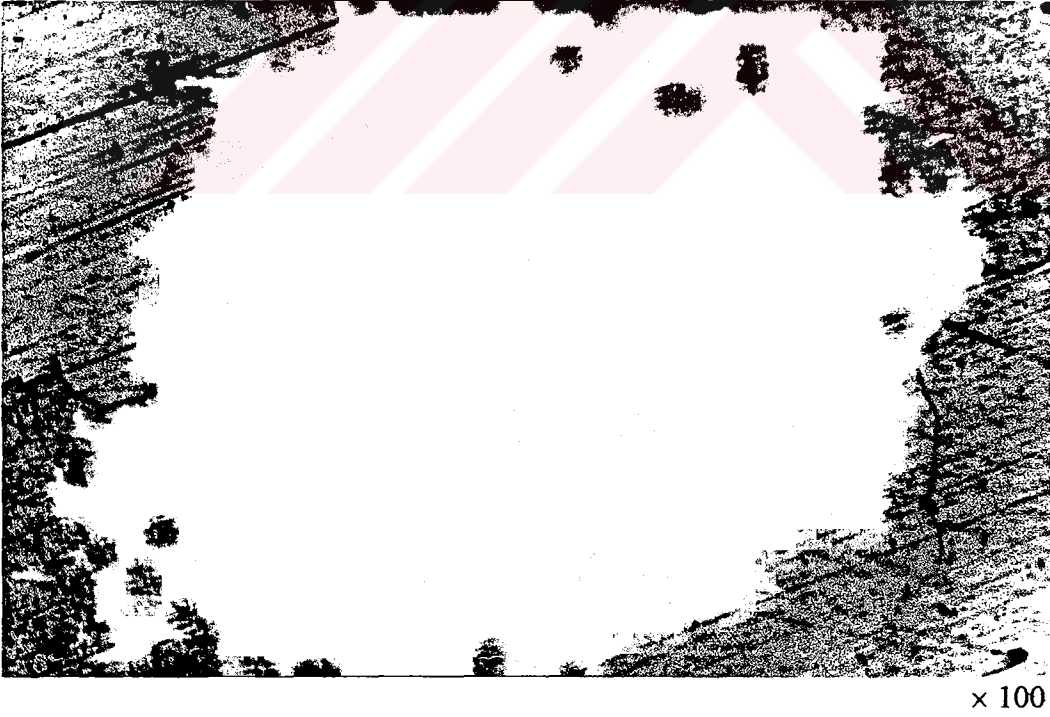


× 100

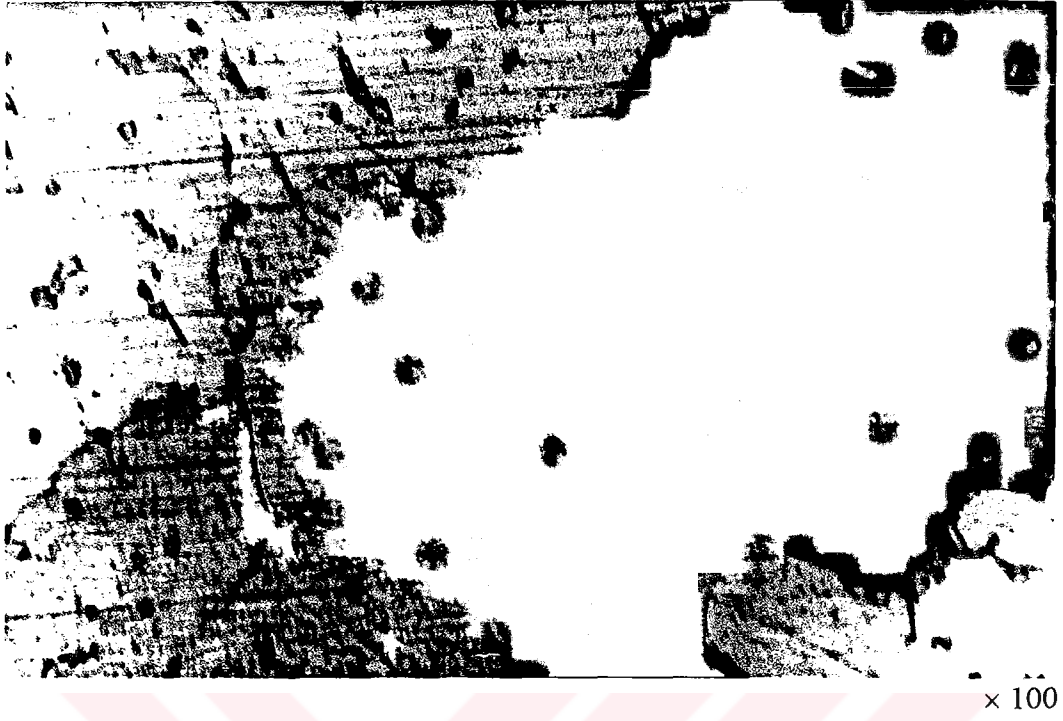
Şekil 4.107 Döküm Al - % 8 Cu alaşımının mikroyapısı



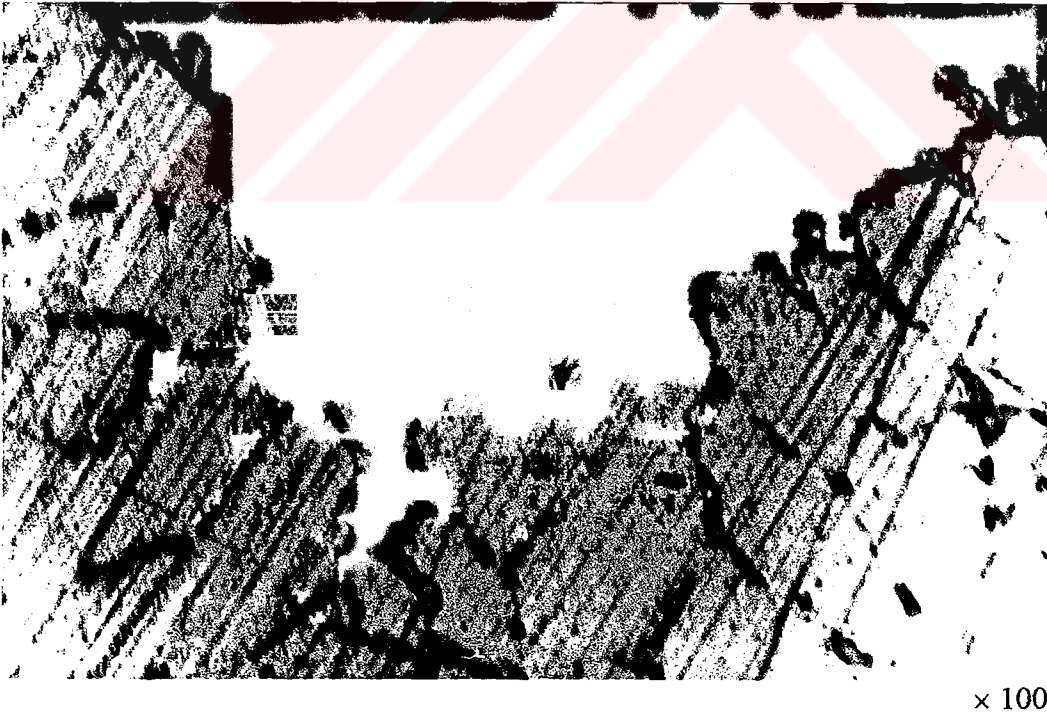
Şekil 4.108 Çökelme sertleşmesi uygulanmış Al - % 2 Cu alaşımının mikroyapısı



Şekil 4.109 Çökelme sertleşmesi uygulanmış Al - % 4 Cu alaşımının mikroyapısı



Şekil 4.110 Çökelme sertleşmesi uygulanmış Al - % 6 Cu alaşımının mikroyapısı



Şekil 4.111 Çökelme sertleşmesi uygulanmış Al - % 8 Cu alaşımının mikroyapısı



× 100

Şekil 4.112 Haddeme işlemi uygulanmış Al - % 2 Cu alaşımının mikroyapısı



× 100

Şekil 4.113 Haddeme işlemi uygulanmış Al - % 4 Cu alaşımının mikroyapısı



× 100

Şekil 4.114 Haddeme işlemi uygulanmış Al - % 6 Cu alaşımının mikroyapısı



× 100

Şekil 4.115 Haddeme işlemi uygulanmış Al - % 8 Cu alaşımının mikroyapısı

4.7 Mekanik Deneyler

4.7.1 Brinell Sertlik Deneyi

Her alaşım gurubuna ait döküm çubuklarının ortalarına yakın yerlerinden 30 mm çapında ve 5 mm kalınlığında numuneler çıkarılmıştır. Çıkarılan bu numunelerden bir kısmına çökeltme sertleşmesi işlemi uygulanmıştır. Haddelenmiş olan alaşım guruplarından da numuneler hazırlanmıştır. Sertlik değeri ölçülecek olan deney numunelerinin yüzeyleri birbirlerine paralel olacak şekilde düzeltilmiştir (Akdoğan, 1987).

4.7.1.1 Brinell sertlik deneyinin yapılışı

Aşağıda özellikleri belirtilen Karl Frank, Mannheim U - 5 marka sertlik ölçüm cihazına konan numuneler, yüzeylerinde bir ön yük kuvveti ile iz oluşturulan bir sistemde, iz çapları belirlenmiş, ortalama çap değeri alınarak;

$$BSD = \frac{(2 \times P)}{\left(\pi \times D \times \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) \right)} \quad (kg/mm^2) \quad (4.4)$$

bağıntısı yardımıyla (Çelik, 1989), Brinell sertlik değeri okunmuştur.

Deney cihazı ise;

Yük	:	62,5	kg
Bilya çapı	:	2,5	mm
Yükleme süresi:	30	saniye,	özelliklerine sahiptir.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen iz çapları Çizelge 4.20’de ve hesaplanan ortalama iz çapları ise, Çizelge 4.213’de verilmektedir.

Çizelge 4.20 Deney sonucunda ölçülen iz çapları.

AS CAST ALAŞIMLARI							
Al - % 2 Alaşımı		Al - % 4 Alaşımı		Al - % 6 Alaşımı		Al - % 8 Alaşımı	
d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
1.39	1.42	1.27	1.26	1.16	1.18	1.14	1.14
1.40	1.39	1.26	1.26	1.17	1.19	1.15	1.13
1.38	1.39	1.25	1.26	1.16	1.18	1.13	1.14
ÇÖKELME SERTLEŞMESİ UYGULANMIŞ ALAŞIMLAR							
Al - % 2 Alaşımı		Al - % 4 Alaşımı		Al - % 6 Alaşımı		Al - % 8 Alaşımı	
d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
1.28	1.27	1.20	1.19	1.17	1.17	1.13	1.15
1.26	1.26	1.21	1.20	1.18	1.17	1.16	1.15
1.26	1.26	1.20	1.22	1.17	1.18	1.14	1.12
HADDELEME İŞLEMİ UYGULANMIŞ ALAŞIMLAR							
Al - % 2 Alaşımı		Al - % 4 Alaşımı		Al - % 6 Alaşımı		Al - % 8 Alaşımı	
d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
1.26	1.24	1.14	1.13	1.11	1.09	1.04	1.03

Çizelge 4.21 Hesap edilen ortalama iz çapları

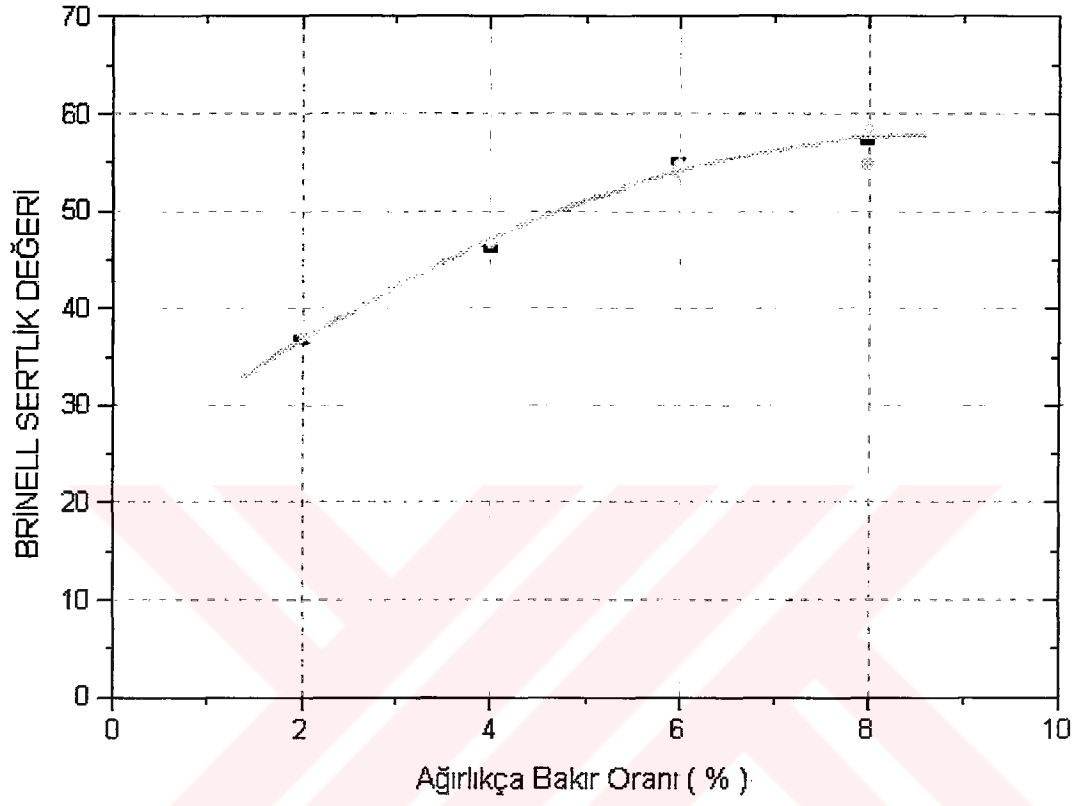
AS CAST ALAŞIMLARI			
Al - % 2 Alaşımı	Al - % 4 Alaşımı	Al - % 6 Alaşımı	Al - % 8 Alaşımı
d_{ort} (mm)	d_{ort} (mm)	d_{ort} (mm)	d_{ort} (mm)
1.405	1.265	1.17	1.14
1.395	1.260	1.18	1.14
1.385	1.255	1.17	1.135
ÇÖKELME SERTLEŞMESİ UYGULANMIŞ ALAŞIMLAR			
Al - % 2 Alaşımı	Al - % 4 Alaşımı	Al - % 6 Alaşımı	Al - % 8 Alaşımı
d_{ort} (mm)	d_{ort} (mm)	d_{ort} (mm)	d_{ort} (mm)
1.275	1.195	1.170	1.140
1.260	1.205	1.175	1.155
1.260	1.210	1.175	1.130
HADDELEME İŞLEMİ UYGULANMIŞ ALAŞIMLAR			
Al - % 2 Alaşımı	Al - % 4 Alaşımı	Al - % 6 Alaşımı	Al - % 8 Alaşımı
d_{ort} (mm)	d_{ort} (mm)	d_{ort} (mm)	d_{ort} (mm)
1.250	1.135	1.100	1.035

Ölçülen iz çaplarını ve hesap edilen ortalama iz çaplarının kullanılması, yük değerinin $P = 62,5$ kg, bilya çapının $D = 2,5$ mm olarak alınması ve (4.4) formülünde yerine konması ile hesaplanan Brinell Sertlik Değerleri Çizelge 4.22’de verilmiştir.

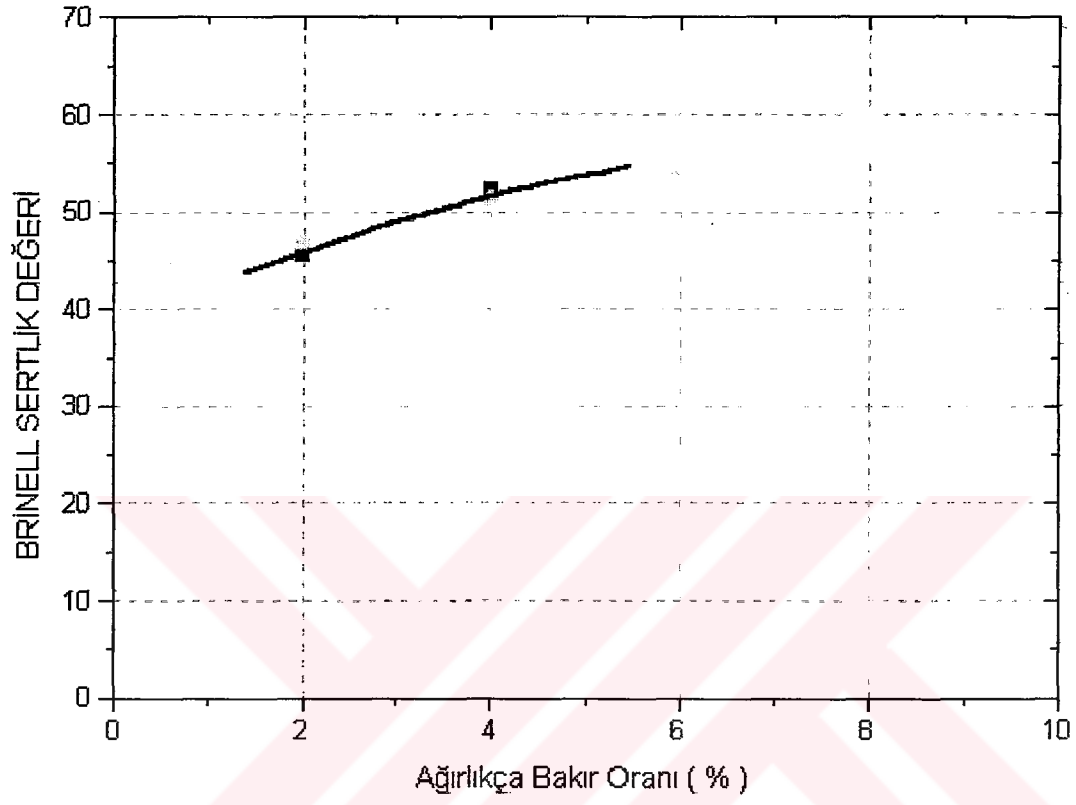
Çizelge 4.22 Alaşımların Brinell Sertlik Değerleri

AS CAST ALAŞIMLARI			
Al - % 2 Alaşımı	Al - % 4 Alaşımı	Al - % 6 Alaşımı	Al - % 8 Alaşımı
BSD	BSD	BSD	BSD
36.8280	46.3108	54.7528	57.8638
37.4132	46.7084	53.7679	57.8638
38.0109	47.1108	54.7528	58.4063
ÇÖKELME SERTLEŞMESİ UYGULANMIŞ ALAŞIMLAR			
Al - % 2 Alaşımı	Al - % 4 Alaşımı	Al - % 6 Alaşımı	Al - % 8 Alaşımı
BSD	BSD	BSD	BSD
45.5295	52.3363	54.7528	57.8638
46.7084	51.4112	54.2572	56.2782
46.7084	50.9573	54.2572	58.9560
HADDELEME İŞLEMİ UYGULANMIŞ ALAŞIMLAR			
Al - % 2 Alaşımı	Al - % 4 Alaşımı	Al - % 6 Alaşımı	Al - % 8 Alaşımı
BSD	BSD	BSD	BSD
45.5170	58.4063	62.4123	70.9538

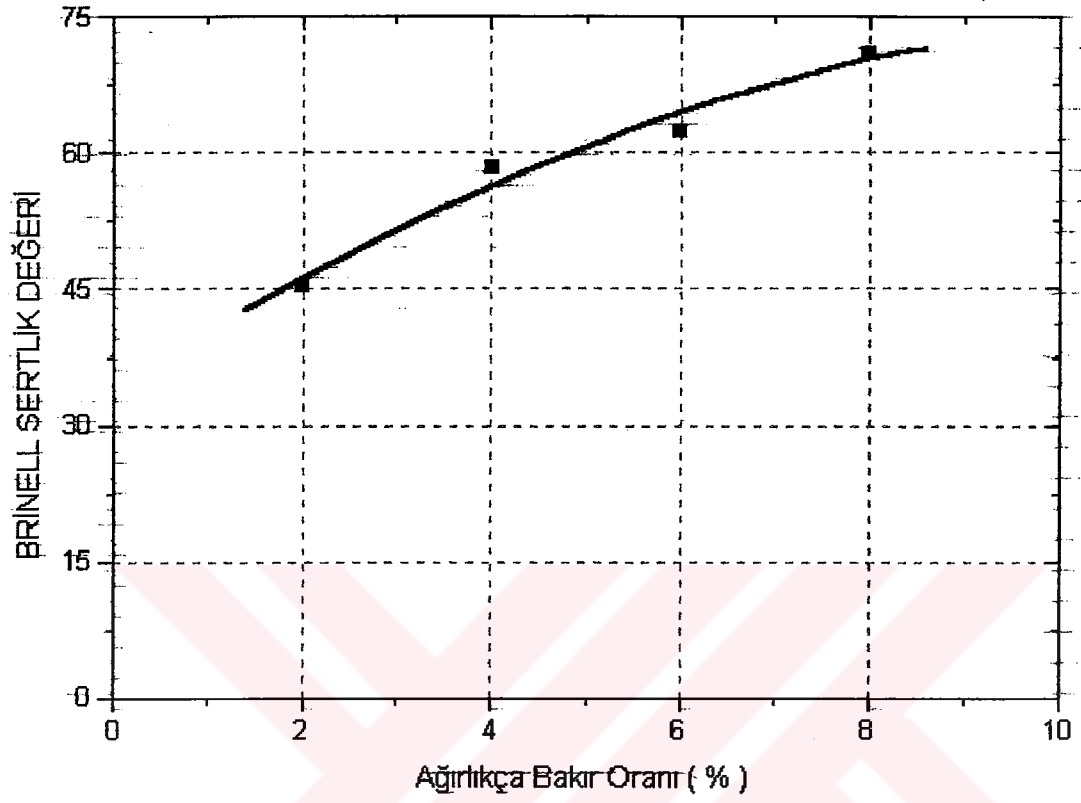
Elde edilen bu veriler ile çizilen grafikler Şekil 4.116 ile Şekil 4.119 arasında verilmiştir.



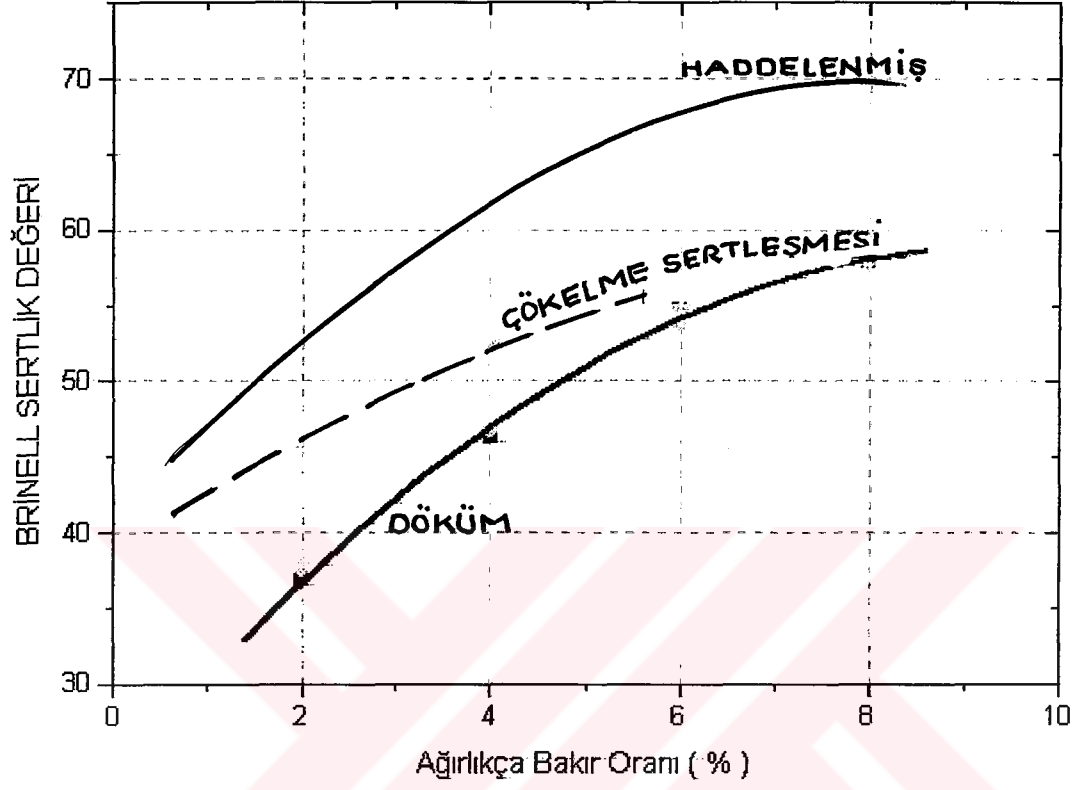
Şekil 4.116 Döküm alaşımların ağırlıkça bakır oranı - Brinell sertlik değeri grafiği



Şekil 4.117 Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış alaşımların ağırlıkça bakır oranı - Brinell sertlik değeri grafiği



Şekil 4.118 Haddeme işlemi uygulanmış alaşımların ağırlıkça bakır oranı - Brinell sertlik değeri grafiği



Şekil 4.119 Tüm alaşımların ağırlıkça bakır oranı - Brinell sertlik değeri grafiği

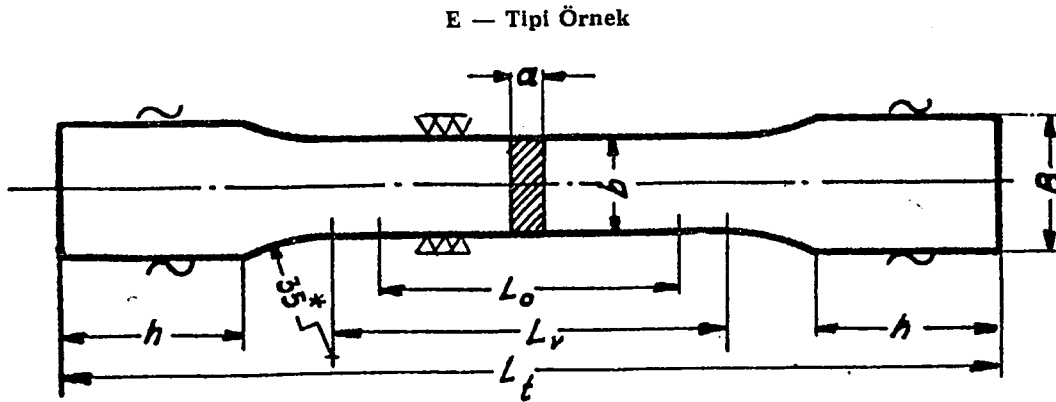
4.7.2 Çekme deneyi

Alüminyum - Bakır alaşımlarında, ana yapı olan alüminyum içine alaşımlama elementi olarak katılan bakırın, alaşımların mekanik özelliklerinde ne gibi etkiler oluşturduğunu anlamak için yapılan mekanik deneylerden birisi de çekme deneyidir.

Aynı zamanda yapılan çekme deneyi ile, yapılmış olan haddemeleme işleminin mekanik özelliklere ne gibi etkisi olduğunu belirlenmesi ve haddelenmiş olan alüminyum - bakır alaşımlarının mekanik özelliklerinin, döküm halindeki alüminyum - bakır alaşımlarının mekanik özelliklerine oranla ne gibi değişikliklere sahip olduğunun incelenmesi amaçlanmıştır.

4.7 2.1 Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması

Yapılmış olan çekme deneyinde, sırasıyla bakır ilave edilme oranına göre; % 2, % 4, % 6 ve % 8 oranında bakır içeren alaşımlara ait, hem döküm hem de haddemeleme işlemi uygulanmış olan alüminyum alaşım çubuklarından numuneler hazırlanmıştır. Çekme deneyi için gerekli olan deney numuneleri, TS 138 EN 10002 - 1'e göre hazırlanmıştır. TS 138 EN 10002 - 1'e göre referans alınacak deney numunesinin çizimi Şekil 4.120'de, ölçüleri ise Çizelge 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.120 Levhalar ve benzeri kalın yassı malzemeler için çekme örneği

Şekil 4.120’de verilen çekme numunesi örneğinde;

a : Numunenin kalınlığı,

b : Ölçü uzunluğu içinde numune genişliği,

B : Baş kısmının genişliği $\approx 1,2b + 3$ mm,

A_0 : Ölçü uzunluğu içinde Numunenin kesit alanı,

L_v : Daraltılmış kısmın uzunluğu = $L_0 + b$,

L_0 : Numune uzunluğu = $5,65 \sqrt{A_0}$,

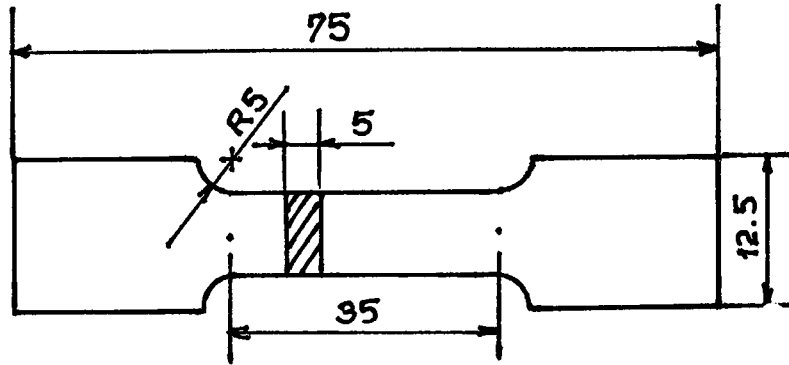
L_t : Toplam uzunluk,

h : Baş kısmının uzunluğu $\approx 2b + 10$ mm. olmaktadır.

Çizelge 4.23 TS 138 EN 10002 - 1’e göre referans alınması gereken ölçüler

Numune Kalınlığı	Numune uzunluğu içindeki örnek genişliği	Baş kısmının genişliği	Baş kısmının uzunluğu	Numune uzunluğu içinde örneğin kesit alanı	İlk numune uzunluğu	Daraltılan kısmın uzunluğu	Toplam uzunluk
(a)	(b)	(B)	(h)	(A_0)	(L_0)	(L_v)	(L_t)
5	10	15	30	50	40	50	140
5	16	22	30	80	50	65	155
6	20	27	50	120	60	80	200
7	22	29	50	154	70	90	220
8	25	33	60	200	80	105	260
10	25	33	60	250	90	115	275
10	31	34	70	310	100	130	300
12	26	40	70	312	100	125	300
15	30	40	70	450	120	150	325
18	30	40	70	540	130	160	335

TS 138 EN 10002 - 1'e göre, haddelenmiş numunelerin kesit alanları dikkate alınarak, ölçüleri belirlenmiş olan deney numunesi Şekil 4.121'te verilmiştir.



Şekil 4.121 Çekme Deneyi için hazırlanmış olan çekme numunesi

Hem döküm halinde hazırlanmış hem de haddeme işlemi uygulanarak hazırlanmış olan numuneler 98100 N çekme kapasitesine sahip, Mohr & Federhaff AG, Mannheim - Germany marka çekme cihazına bağlanarak çekme deneyine tabi tutulmuşlardır.

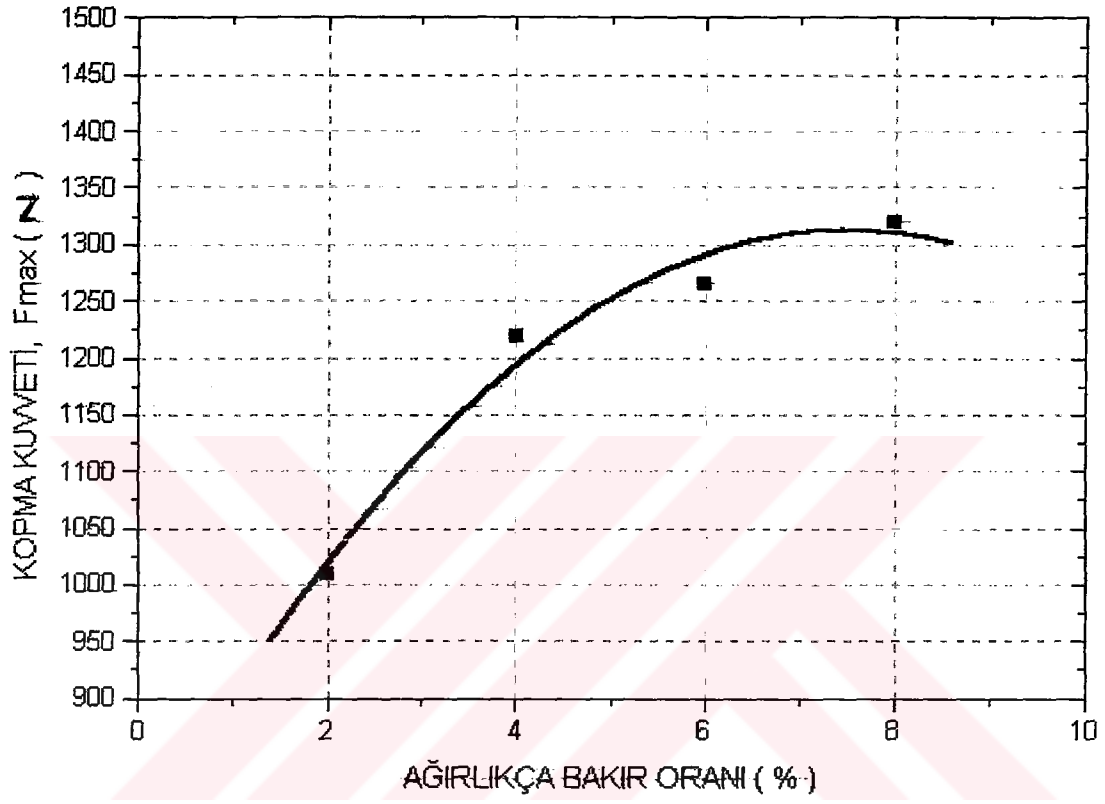
Deney sonuçları Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25'de, deney sonuçlarının irdelenmiş olduğu grafikler ise Şekil 4.122'de verilmiştir.

Çizelge 4.24 Döküm alaşımların çekme deneyi sonuçları

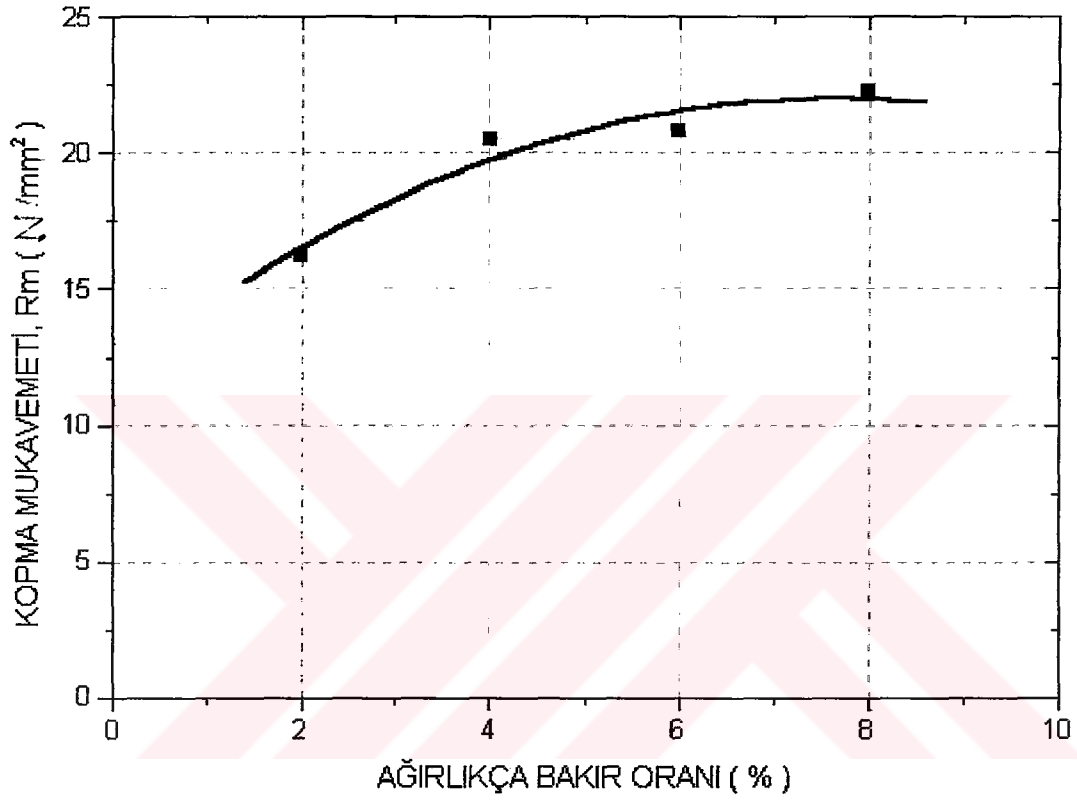
DÖKÜM ALAŞIMLARI								
	Al - % 2 Cu		Al - % 4 Cu		Al - % 6 Cu		Al - % 8 Cu	
	Numune No		Numune No		Numune No		Numune No	
	1	2	1	2	1	2	1	2
a (mm)	4.05	4.09	4.05	4.00	3.99	4.00	4.02	4.01
b (mm)	12.51	12.53	12.53	12.54	12.51	12.55	12.53	12.55
A ₀ (mm ²)	50.665	51.247	50.746	50.16	49.915	50.20	50.370	50.325
L ₀ (mm)	35	35	35	35	35	35	35	35
L _k (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75
F _{max} (N)	2746	2992	3825	3629	4267	4218	4512	4414
R _m (N / mm ²)	54.15	58.36	75.34	72.29	85.44	84.02	89.56	87.70
δ (%)	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 4.24 Haddeme işlemi uygulanmış alaşımların çekme deneyi sonuçları

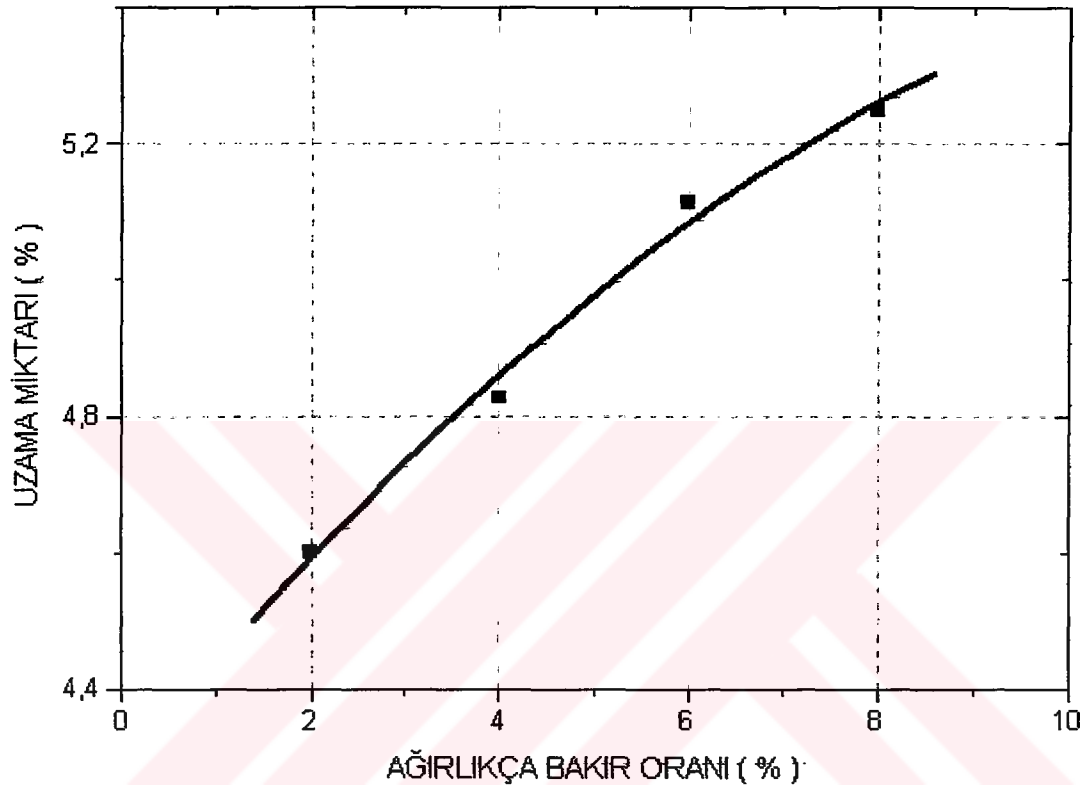
HADDELEME İŞLEMİ UYGULANMIŞ ALAŞIMLAR								
	Al - % 2 Cu		Al - % 4 Cu		Al - % 6 Cu		Al - % 8 Cu	
	Numune No		Numune No		Numune No		Numune No	
	1	2	1	2	1	2	1	2
a (mm)	4.70	5.07	4.81	4.71	4.83	4.89	4.80	4.71
b (mm)	12.47	12.87	12.51	12.50	12.44	12.45	12.47	12.49
A ₀ (mm ²)	58.610	65.251	60.173	58.875	60.085	60.881	59.856	58.828
L ₀ (mm)	35	35	35	35	35	35	35	35
L _k (mm)	36.58	36.64	36.67	36.71	36.78	36.79	36.85	36.83
F _{max} (N)	8829	10987	11968	11968	12360	12409	12851	13047
R _m (N / mm ²)	150	168	198.9	203.2	206	208.9	213.8	221.7
δ (%)	4.514	4.685	4.771	4.885	5.114	5.114	5.28	5.22



Şekil 4.122 Haddeleme işlemi uygulanmış alaşımların Kopma Kuvveti - Bakır oranı grafiği



Şekil 4.123 Haddeme işlemi uygulanmış alaşımların Kopma Mukavemeti - Bakır Oranı grafiği



Şekil 4.124 Haddemeleme işlemi uygulanmış alaşımların Yüzde Uzama - Bakır Oranı grafiği

4.8 Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

4.8.1 Korozyon deneyi sonuçları

4.8.1.1 Döküm alaşım numuneleri

4.8.1.1.1 NaCl Çözeltileri

Ağırlıkça sırasıyla; % 2, % 4, % 6 ve % 8 oranlarında bakır içeren alüminyum - bakır alaşımları % 2, % 3,5 ve % 5 oranlarında konsantrasyonlara sahip NaCl çözeltilerinde ve % 2 ile % 3,5 oranlarında konsantrasyonlara sahip sülfürik asit çözeltilerinde 100 saat süre, ayrıca yine aynı bakır oranlarına sahip döküm alaşımları ASTM G34 standardına göre EXCO ismi verilen deney çözeltisi içinde 48 saat süre ile deneye tabi tutulmuşlardır.

Değişik oranlarda konsantrasyonlara sahip NaCl çözeltileri içinden çıkarılan numunelerde, yüzeylerin bazı kısımlarının bölgesel olarak, tuz ile kaplı oldukları gözlenmiştir. Oluşan buharlaşma sonucunda, çözelti içinde çözünmüş halde bulunan tuz parçacıkları, yüzey işlemleri hassas olarak yapılamamış olan numunelerin üzerinde bulunan ancak gözle hissedilemeyecek derecede küçük çizikler üzerinde toplanmış ve ince bir tabaka halini almıştır. Alaşımlarda bulunan bakır miktarının, ağırlıkça yüzde olarak artmasıyla bu tuz yoğunlaşmalarının arttığı gözlenmiştir.

Yüzeylerde meydana gelen bu ince tuz tabakaları, saf su ile yıkanarak temizlenmiştir. Temizleme çözeltisi olarak referansta verilen 450 ml H_2SO_4 + 50 ml saf su çözeltisi içinde fırça ile temizlenerek, olabilecek korozyon tabakasının giderilmesi ve aseton ile yıkanması ile numune yüzeylerinde şu olaylar gözlemlenmiştir.

a) Alaşımlara katılan bakır oranının yüzde miktarda arttırılması ile yüzeydeki bozunma miktarının artan yönde eğilim gösterdiği belirlenmiştir.

b) Çözelti konsantrasyonlarındaki artış da, yüzeydeki bozunma miktarının artmasına sebebiyet vermektedir.

Çözeltilerden çıkarılarak yüzeyleri tamamen temizlenmiş olarak tartılan numuneler ile ilk ve son tartım değerleri arasındaki fark bulunmuş ve bu değerler ağırlık kaybı değerleri olarak referans alınmıştır. Tartım sonuçları ile elde edilen ağırlık kaybı değerleri ile referansı verilen korozyon hızı formülü ile korozyon hızları hesaplanmıştır. Yapılan bu değerlendirmelerin sonuçlarına göre de;

a) Herhangi bir sabit konsantrasyonda bulunan (Örn; % 2 NaCl) çözelti içinde bekletilen numunelerde, alaşım içindeki bakırın ilave edilme oranı yükseldikçe ağırlık kaybı artmakta ve buna bağlı olarak ta korozyon hızında artış belirlenmektedir. Bakır oranının artışı, korozyonu arttırıcı bir etken olarak irdelenmiştir.

b)Döküm alaşımlarında, alaşım içinde bulunan herhangi bir oranda ağırlıkça yüzde oranında sabit bakır miktarına sahip numunelerde (Örn; Al - % 2 Cu), çözelti konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak ağırlık kaybı ve korozyon hızı değerlerinde artış gözlenmektedir.

c)ASTM G34 standardına göre sadece bir konsantrasyona sahip olan EXCO çözeltisi içinde 48 saat süre ile bekletilen numune yüzeylerinde ise bakır oranının artışına bağlı olarak, yüzeylerdeki bozunma durumlarında artma gözlemlenmiştir. Yüzeylerin temizlenmesi ve yüzeydeki korozyon tabakalarının giderilmesi ile son tartımları yapılmış olan numunelerle, ağırlık kaybı değerleri belirlenmiş ve buna göre de korozyon hızları hesaplanmıştır. Alaşım içindeki bakırın yüzde olarak artması ile ağırlık kayıplarında artış belirlenmiş ve buna göre de hesaplanan korozyon hızları ile de artışın doğruluğu bir kez daha tespit edilmiştir.

4.8.1.1.2 Sülfürik asit çözeltileri

Aynı şekilde % 2 ve % 3,5 konsantrasyona sahip olan ,(H₂SO₄) sülfürik asit çözeltileri içinde 100 saat süre ile bekletilen numunelerde ise, çözelti içinden çıkarıldıkları anda yüzeylerinin tamamen ince bir film tabakası halinde koyu kahverenkli korozyon tabakası ile

kaplandığı görülmüştür. Saf su ile yıkanarak temizlenen ince film tabakası giderilmiş ve numuneler, temizleme çözeltisi olan nitrik asit içinde (HNO_3) kıl fırça ile daha iyi temizlenmişlerdir. Gözle yapılan muayene sonucuna göre;

a) Tüm numune yüzeylerinde çukurcuklanma olayı gözlenmiştir. Korozyon çözeltilerinin konsantrasyonlarının artışına bağlı olarak yüzeydeki çukurcuklanmanın arttığı saptanmıştır.

b) Bakır oranının miktarca yüzde artışına bağlı olarak, ağırlık kayıpları artış göstermiş ve korozyon hızları da artmıştır.

c) Korozyon çözelti konsantrasyonlarındaki artışlar çukurcuklanma olayının daha fazla olmasına ve ağırlık kaybının dolayısıyla korozyon hızının artmasına sebebiyet vermiştir. Sülfürik asitteki bozunmanın daha fazla olmasından dolayı, NaCl 'ye göre daha fazla korozyon hızı olur.

d) Numunelerin yüzeylerindeki bozunma durumları, ağırlık kayıpları ve korozyon hızlarının NaCl çözeltilerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Aynı konsantrasyona sahip olan sülfürik asit çözeltisi içindeki numunelerin korozyonu, NaCl çözeltisi içindeki numunelerin korozyonuna göre daha fazladır.

e) Deney sonunda, sülfürik asit çözeltilerinin açık renk alması, alaşım numuneleri içinde bulunan bakırın az miktarda çözelti içinde çözünmesi ile izah edilebilir.

4.8.1.2 Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış deney numuneleri

4.8.1.2.1 NaCl çözeltileri

Döküm alaşımlarının deneye tabi tutulduğu çözeltiler ve konsantrasyonları referans alınarak, aynı özelliklere sahip yeni çözeltiler hazırlanmış ve çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış numuneler de 100 saat süre ile çözeltilerin içinde bekletilmişlerdir. Çözeltilerin içinden çıkarılan numunelerde, gözle yapılan muayene sonucunda şu tespitler yapılmıştır;

a) Yüzeylerdeki bozunma durumlarının, döküm alaşımların yüzeylerindeki bozunma durumlarına oranla daha fazla olduğu ilk etapta belirlenmiştir. % 2, % 3,5 ve % 5 konsantrasyona sahip olan NaCl çözeltisi içinde bekletilmiş olan numunelerin son tartımları yapılmış ve buna bağlı olarak ağırlık kayıpları belirlenerek korozyon hızları hesaplanmıştır.

Belirlenen ağırlık kayıpları ve hesaplanan korozyon hızları, döküm alaşımlarının ağırlık kayıpları ve korozyon hızlarından fazla olmaktadır. Uygulanmış olan çökelme sertleşmesi olayı, literatürde de belirtildiği gibi (ASM Handbook, Vol.8) korozyon hızını arttırmaktadır.

4.8.1.2.2 Sülfürik asit çözeltileri

a) Sülfürik asit çözeltisi içinde bekletilmiş olan numunelerin çözeltilerin içinden çıkarıldıkları anda, çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış olan numunelere ait tüm yüzeylerin, döküm alaşım numunelerinin çözeltiden çıkarıldıktan sonraki durumundan daha kötü olduğu gözlenmiştir. Tüm yüzeyler koyu kahve renkli ve kalın olan bir korozyon filmi ile kaplanmıştır. Saf su ile temizlenemeyen bu film tabakası, 3 dakika nitrik asit çözeltisi içinde bekletilerek giderilmiştir (ASTM G1).

b) Yapılan temizleme işlemi yüzeylerde dağlanma etkisinin olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bazı numune yüzeylerinde ise tane sınırları dahi seçilebilmektedir. Yüksek bakır oranına sahip (Örn; Al - % 8 Cu), çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış olan numunelerde ise çukurcuklanma olayına rastlanmıştır. Yapılan tüm temizleme işlemlerinden sonra, tane sınırlarının net bir şekilde ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

c) Çözelti konsantrasyonundaki ve bakır miktarındaki artış, ağırlık kaybını dolayısıyla korozyon hızını arttırmaktadır.

d) ASTM G34'e göre EXCO çözeltisi içinde 48 saat süre ile bekletilen numunelerin çözelti içinden çıkarılması anında, yüzeylerin; döküm alaşım numunelerin yüzeylerinden daha çok bozunmaya uğradığı gözlenmiştir. Tüm yüzeyler, çok zor giderilen, beyaz bir korozyon

tabakası ile kaplanmıştır. Ağırlık kaybı ve korozyon hızı değerleri ise, döküme ait değerlerden daha fazla olmaktadır.

Tüm temizleme işlemlerine rağmen, çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış numunelerin korozyonunun normal atmosfer şartlarında dahi ilerlediği gözlenmiştir.

4.8.1.3 Haddemeleme işlemi uygulanmış numuneler

4.8.1.3.1 NaCl çözeltileri

Sırasıyla; % 2, % 3,5 ve % 5 oranında konsantrasyonlara sahip olan çözeltiler içinde 100 saat süre ile bekletilen haddemeleme işlemi uygulanmış numuneler çözeltilerin içinden çıkarıldıklarında;

a) Yüzeylerindeki bozunma durumları; döküm alaşımlarından biraz fazla, çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış alaşımlardan daha az miktarda olmaktadır. Temizleme işlemlerinin tamamen yapılması sonucunda, yapılan tartımlar ile elde edilen ağırlık kayıpları ve hesaplanan korozyon hızları neticesinde de bu durum ortaya çıkmaktadır.

b) Çözelti konsantrasyonundaki artış,ağırlık kaybının artmasına ve dolayısıyla korozyon hızının artmasına neden olmuştur.

c) Bakır oranındaki artış; diğer korozyon deneylerinde olduğu gibi korozyon hızını artırıcı etkiyi yapmıştır.

4.8.1.3.2 Sülfürik asit çözeltileri

% 2 ve % 3,5 oranlarında konsantrasyonlara sahip sülfürik asit çözeltileri içinden çıkarılan numunelerin temizlenmesinden sonra, yüzeylerde gözle görülecek bir bozunmaya rastlanamamış, ancak tüm yüzeylerin parlak bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Yapılan tartımlar sonucunda şu izlenimler edinilmiştir;

a) Ağırlık kaybı miktarı, döküm alaşımlarına göre biraz fazla, ancak çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış alaşımlara göre ise biraz az olmaktadır. Buna bağlı olarak korozyon hızı değerleri içinde aynı değerlendirmeyi yapmak mümkündür.

b) Çözelti konsantrasyonundaki artış korozyon olayını arttırmaktadır.

c) Bakır miktarındaki artış da korozyonu arttırıcı rol oynamaktadır. Korozyon direncinin düşmesine ve korozyon hızının artmasına sebebiyet vermiştir.

ASTM G34'e göre hazırlanmış olan EXCO çözeltisi içinden çıkarılan numunelerde ise; yapılan temizleme işlemi sonucunda, yüzeylerde çukurcuklara rastlanmıştır. Temizleme işleminden sonra bile korozyon olayının devam ettiği gözlenmiştir.

Yine yapılan bu standart deney sonucuna göre bakır oranındaki artı ve çözelti konsantrasyonundaki artış, korozyonu arttırıcı etkiye sahip olmaktadır.

4.8.2 Brinell sertlik deneyi sonuçları

Sırasıyla; % 2, % 4, % 6 ve % 8 oranlarında ağırlıkça alaşıma ilave edilmiş olan bakırın, döküm alaşımı, çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış ve haddeleme işlemi uygulanmış alaşımlardan belirtilen referansa bağlı kalarak numuneler hazırlanmış ve sertlikleri yüzeylerinde iz oluşturmak suretiyle ölçülmüştür.

Döküm alaşımlarında bakır oranı arttıkça, bilyanın yüzeyde oluşturduğu iz çapı küçülmüştür. Buna bağlı olarak; bakır oranının artmasıyla, Brinell sertlik değerinin arttığı belirlenmiştir.

Çökelme sertleşmesi uygulanmış % 2 ve % 4 oranlarında bakır içeren alaşımlarda, iz çapının döküm alaşımlarına oranla küçüldüğü gözlenmiştir. Döküm alaşımlarının sertlik değerlerinden daha yüksek değerlere ulaşılmıştır. Çökelme sertleştirme işlemi, alaşımın sertlik değerinin artmasına sebebiyet vermektedir. % 6 ve % 8 oranlarında bakır içeren çökelme sertleşmesi uygulanmış alaşımların sertlik değerlerinde değişme olmamıştır.

Haddeleme işlemi uygulanmış alaşımlarda, haddeleme işleminin sertlik değerlerini arttırdığı gözlenmiştir.

4.8.3 Çekme deneyi sonuçları

Döküm alaşımlarına ve haddeleme işlemi uygulanmış alaşımlara uygulanan bu deney sonucunda;

a) Döküm alaşımlarından hazırlanmış olan tüm numuneler, çekme deneyi sırasında boyun kısımlarından düşük yükler altında kopmuşlardır. Uzamanın hesaplanamadığı bu durumda % 8 oranında bakır içeren sadece bir numune,

$$I_{ok} = A+B \quad (4.5)$$

bağıntısı uyarınca, yüzde uzama hesabına tabi tutulmuştur.

(b) Bakır oranı arttıkça, kopma kuvveti ve kopma mukavemeti artış göstermiştir. Haddeleme işleminin kopma kuvveti üzerindeki olumlu etkisi belirlenmiştir. Haddeleme işlemi uygulanmış numunelerin tümü ortalarından kopmuş ve hepsinde yüzde uzama değerleri belirlenmiştir.

5. Sonuçlar

Saf alüminyum içine, sırasıyla; % 2, % 4, % 6 ve % 8 oranlarında bakır ilave edilerek yapılan alüminyum - bakır ikili alaşımlarında, bakırın; korozyon davranışları ve mekanik özellikleri üzerine olan etkisi incelenmiş ve aşağıda belirlenen sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Farklı konsantrasyonlara sahip NaCl (Sodyum Klorür) çözeltisi, döküm halindeki alaşım numuneleri üzerinde pek etkili olamamıştır. % 2 konsantrasyona sahip NaCl Sodyum Klorür çözeltisi içindeki alaşım numunelerinin korozyon dayanımlarının yüksek olduğu saptanmıştır.
2. Uygulanan çökelme sertleşmesi işlemi, NaCl (Sodyum Klorür) çözeltisi içinde bekletilen alaşımların korozyon dayanımlarının azalmasına sebebiyet vermiştir. Yapılan ağırlık kaybı hesaplarına göre; çökelme sertleşmesi uygulanmış numunelerin korozyon dayanımları, döküm halindeki numunelerin korozyon dayanımının 3 te 1 i oranında olmaktadır.
3. Haddeleme işlemi uygulanarak NaCl (Sodyum Klorür) çözeltisi içinde deneye tabi tutulan numunelerin korozyon dayanımları, döküm halindeki alaşım numunelerinin korozyon dayanımlarına oranla azalma göstermektedir.
4. Çökelme sertleşmesi işlemi ve haddeleme işlemi uygulanmış alaşım numunelerinin korozyon dayanımları NaCl (Sodyum Klorür) çözeltisinin konsantrasyonunun artışına bağlı olarak azalma göstermektedir.
5. Döküm, çökelme sertleşmesi ve haddeleme işlemi uygulanmış numunelerin, NaCl (Sodyum Klorür) çözeltisi içindeki korozyon dayanımları, alaşım içindeki bakır oranının artması ile düşmektedir.
6. Döküm halindeki, çökelme sertleşmesi ve haddeleme işlemi uygulanmış numunelerin H_2SO_4 (Sülfürik Asit) çözeltileri içindeki korozyon dayanımları, çözelti konsantrasyonunun artışına bağlı olarak azalma göstermektedir. H_2SO_4 (Sülfürik Asit) çözeltisi içindeki korozyon dayanımı, aynı konsantrasyondaki NaCl (Sodyum Klorür) çözeltisindeki korozyon dayanıma göre daha azdır.
7. Alaşım içindeki bakır oranındaki artış, çökelme sertleşmesi ve haddeleme işlemi uygulanmış numunelerin korozyon dayanımlarını düşürmektedir.
8. Döküm halindeki alaşımların korozyon dayanımı; % 2 ve % 3,5 konsantrasyonlara sahip NaCl (Sodyum Klorür) çözeltisi içinde yüksek olmaktadır. Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanmış alaşımların korozyon dayanımı, % 2 konsantrasyona sahip NaCl (Sodyum Klorür) çözeltisi içinde en iyi değeriine ulaşmaktadır. Haddeleme işlemi uygulanmış alaşımların korozyon dayanımının en iyi olduğu çözeltiler ise % 2 ve % 3,5 konsantrasyonlarındaki NaCl (Sodyum Klorür) çözeltileridir.
9. ASTM G 34'e göre hazırlanmış olan EXCO (Exfoliation Corrosion) çözeltisi içindeki döküm, çökelme sertleşmesi işlemi ve haddeleme işlemi uygulanmış alaşım

numunelerinin korozyon dayanımları, alaşım içindeki bakır oranının artışına bağlı olarak azalma göstermektedir.

10. Haddeleme işlemi uygulanarak elde edilen sertlik değerleri, çökelme sertleşmesi işlemi uygulanarak elde edilen sertlik değerlerinden daha yüksek çıkmaktadır.

11. Döküm halindeki ve haddeleme işlemi uygulanmış alaşımlardan çekme deneyi numuneleri hazırlanmış, yapılan çekme deneyi sonucunda, haddeleme işleminin çekme mukavemetini arttırdığı belirlenmiştir.

Yapılan tüm deneysel çalışmaların sonuçlarına göre; NaCl (Sodyum Klorür) çözeltisi, döküm, çökelme sertleşmesi ve haddeleme işlemi uygulanmış olan alaşımların üzerinde çok etkili olamamıştır. % 2 konsantrasyonundaki NaCl (Sodyum Klorür) çözeltisi içinde döküm halindeki alaşımın korozyon dayanımı en yüksek olmaktadır. Çökelme sertleşmesi ve haddeleme işlemi uygulanmış olan numunelerdeki bakır oranındaki artış, korozyon dayanımının azalmasına sebebiyet vermiştir.

Alaşıma bakır ilavesi , çökelme sertleşmesi işlemi ve haddeleme işleminin uygulanması, sertlik değerlerini arttırmış; ancak % 3,5 konsantrasyonundaki H₂SO₄ (Sülfürik Asit) ve EXCO çözeltisi içindeki korozyon dayanımlarının azalmasına sebebiyet vermiştir.



KAYNAKLAR

- Akdoğan, A., (1987), “Alüminyum Bronzlarına Kalayın Etkisi ”, Doktora Tezi
- Akdoğan, A., (1997), Metal Malzemelerde Korozyon ve Önleme Teknikleri, Ders Notları, Yayınlanmamış
- Akdoğan, A., Özdemir, E., (1996), Makine Tek Dergisi, “ 6063 Alaşımlarının Şekillendirilmesi Sırasında Malzeme Yapısının İncelenmesi ve Anodik Oksidasyonu ”, Mayıs 1996, Sayı 14, 44-49
- Anık, S., (1960), Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı, 2-39
- ASTM B368, (1973), Standard Test Method for Copper Accelerated Acetik Acid Salt Spray (FOG) Testing
- ASTM G 34,(1972), Standard Method of Test for Exfoliation Corrosion Susceptibility in 7XXX Series Copper Containing Aluminum Alloys (EXCO Test),
- ASTM G 43, (1975), Standard Method of Acidified Synthetic Sea Water (Fog) Testing
- Brunhuber, Ernst, (1987), Leichtmetall- und Schwermetall- Kokillenguss, “ Die Kokillengießwerkstoffe ”, Fachverlag Schiele & Schön GmbH., 186-206
- Budinski, G., (1989), Engineering Materials and Selection, “ Corrosion ”, Mc Graw Hill Inc., 348-376
- Craig, D.Bruce, (1989), Handbook of Corrosion Data, “ Aluminum and Aluminum Alloys ”, ASM International, Metallurgical Consultants Inc., 16-17
- Çiğdem, M., (1995), Practical Metallography, 13.7.95, Heft 8/95, “ Effect of Microstructural Variations on the Corrosion Resistance of Commercial 6351 Aluminum Extrusion Bars ”, 358-372
- Çınaroğlu, K., (1997), Metalurji Dergisi, “ Dünya Birincil Alüminyum Üretiminde Seydişehir’in Yeri ”, 20-24
- Çuhadar, N., Ersümer, A., (1955) Hafif Alaşımların Dökümü, “ Alüminyum ve Alaşımları”, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 14-36
- Ecemiş, S., (1995), Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları, Lisans Bitirme Tezi, YTÜ, Yayınlanmamış
- Fontana, G.Fontana, (1978), Corrosion Engineering, “ Aluminum and its Alloys ”, McGraw - Hill International Editions, 237-240

Gest, R.J., Troiano, A.R., (1973), “ Stress Corrosion and Hydrogen Embrittlement in an Aluminum Alloy ”, International Nickel Company, 274-279

Güneş, H., (1987), Demir Dışı Metal İşletmeleri Tetkik ve İnceleme Raporu, İzmit Fabrikası Uzman Mühendislik Bürosu, Yayın No: 12, 3-21

<http://www.alu-info.dk/Html/alubil/modul/A00217.htm>

Kınikoğlu, N., Başaran, K., (1979), Aluminum Alloys Casting, Tübitak, Small Scale Foundry Operations Group Training

Lakhtin, M.Yu., (1977), Engineering Physical Metalurgy and Heat-Treatment, “Heat Treatment of Aluminum Alloys ”, Mir Publishers, Moscow, 374-391

Mercedes Benz AG Verlag, (1993), Die E Klasse Von Mercedes Benz, 1-3

Muller, L., Galvele, R., (1977), “ Pitting Potential of High Purity Binary Aluminum Alloys- I. Al - Cu Alloys ”, Corrosion Science, Vol 17, 179-193

Nasman, İ., (1989), Alüminyum ve Alaşımlarının Gerilmeli Korozyonu, Yüksek Lisans Tezi, 1-8

Orman, M., (1969), Aluminum Handbuch, “ Korrosionbeständigkeit ”, VEB Verlag Technik, Berlin, 133-161

Rende, H., Gülsöz, A., (1995), “ Uygulamada Alüminyum Esaslı Malzemeler ”, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak., 624 -632

Sezer, M., (1984), Alüminyum Metalurjisi, “ Alüminyumun Özellikleri ”, TMMOB, Makine Müh. Odası, Yayın No: 99, 1-21

Smith, William F., (1989), Principles of Materials Science and Engineering, “ Precipitation Strengthening ”, Mc Graw Hill Inc., 524-535

Topbaş, M. Ali, (1993), Endüstri Malzemeleri, Cilt 2, “ Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları ”, Yıldız Yayınları, 154-159

Topbaş, M. Ali, (1993), Endüstri Malzemeleri, Cilt 1, “ Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları ”, Yıldız Yayınları, 260-294

Topbaş, M. Ali, (1993), Isıl İşlemler, “ Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri ”, Yıldız Yayınları, 391-400

Tulgar, E., (1987), Demirden Gayrı Metaller Metalurjisi, “ Alüminyum ve Alaşımları ”, İTÜ, Kimya Metalurji Fak., Ofset Atölyesi, 383-400

Voort, G., White, W., Northwood, D., (1995)Microstructural Science Vol.12, Corrosion, Microstructure and Metallography, 243-261

Yavuz, Turhan, (1978), Gemi Teknesinin Korozyonu ve Korunma Yolları, Dz. Harp Okulu, Fen Bilimleri Böl.Başk., 72-100

Yinsel, G., Alanyalıoğlu, T.A., Doruk, M., (1988), “ Alüminyum Alaşımlarının Deniz Suyundaki Korozyon Davranışları ”, 1. Korozyon Sempozyumu, Ankara

Zeerleder, A., (1943), Technologie Des Aluminiums und Seiner Leichtlegierungen, “ Korrosion und Korrosion Prüfung ”, 114-125



TRAKYA SAN.A.Ş.-İZMİT
KALİTE MÜDÜRLÜĞÜ**TEST SERTİFİKASI**

Tarih : 09-02-1998
Müşteri : HAKAN AKAR
Cinsi : ALUMİNYUM ROD
Çap : 9,50 mm

FİZİKSEL TEST SONUÇLARI

No	Kesit mm ²	Kopma kg	Kopma kg/mm ²	IACS %
1	74.67	850	11.38	61.98

KİMYASAL KOMPOZİSYON

Seri	Al	Fe	Si	Ti	Mg	Mn
1	99.82	0.135	0.04	0.001	0.002	0.002



Fabrika Müdürü
Kaya BERBEROĞLU

**TRAKYA SAN.A.Ş.-İZMİT
KALİTE MÜDÜRLÜĞÜ****T E S T S E R T İ F İ K A S I**

Tarih : 19-11-1997
Müşteri : Hakan AKAR
Cinsi : ALUMİNYUM ROD
Çap : 9,50 mm

FİZİKSEL TEST SONUÇLARI

No	Kesit mm ²	Kopma kg	Kopma kg/mm ²	IACS %
1	71,86	850	11,82	61,85

K İ M Y A S A L K O M P O Z İ S Y O N

Şarj	Al	Fe	Si	Ti	Mg	Mn
1	99,825	0,13	0,04	0,001	0,002	0,002



Fabrika Müdürü
Kaya BERBEROĞLU

[Handwritten signature]

Ek 3

234

0 : 03 : 35, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY, HAKAN . AKAR 2 . 1 . AO , Average 1 2
 Al 2 Cu 1 Cu 2 Mg Mg 1 Si Si 2 Fe 3 Mn 1 Ni 3 Zn Pb 1 Sn
 37.72 1.91 .007 .243 .000 .000 .000 .016 .000
 Sn 1 Ti Cr 1 Co In
 .000 .000 .000 .000

0 : 09 : 00, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY, HAKAN . AKAR 2 . 1 . UO , Average 2 3
 Al 2 Cu 1 Cu 2 Mg Mg 1 Si Si 2 Fe 3 Mn 1 Ni 3 Zn Pb 1 Sn
 37.70 1.93 .007 .239 .000 .000 .000 .016 .000
 Sn 1 Ti Cr 1 Co In
 .000 .000 .000 .000

0 : 11 : 35, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY, HAKAN . AKAR 2 . 3 . AO , Average 1 2
 Al 2 Cu 1 Cu 2 Mg Mg 1 Si Si 2 Fe 3 Mn 1 Ni 3 Zn Pb 1 Sn
 37.37 2.23 .009 .193 .021 .008 .000 .000 .000
 Sn 1 Ti Cr 1 Co In
 .000 .000 .000 .000

0 : 22 : 49, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY, HAKAN . AKAR 2 . 3 . UO , Average 1 4
 Al 2 Cu 1 Cu 2 Mg Mg 1 Si Si 2 Fe 3 Mn 1 Ni 3 Zn Pb 1 Sn
 37.62 1.97 .007 .176 .020 .009 .000 .000 .000
 Sn 1 Ti Cr 1 Co In
 .000 .000 .000 .000

0 : 25 : 30, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY, HAKAN . AKAR 4 . 1 . AO , Average 1 2
 Al 2 Cu 1 Cu 2 Mg Mg 1 Si Si 2 Fe 3 Mn 1 Ni 3 Zn Pb 1 Sn
 95.36 4.05 .007 .334 .171 .000 .000 .000 .034 .000
 Sn 1 Ti Cr 1 Co In
 .000 .000 .000 .000

0 : 28 : 17, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY, HAKAN . AKAR 4 . 1 . UO , Average 1 2

Al 2	Cu 1	Cu 2	Mg	Mg 1	Si	Si 2	Fe 3	Mn 1	Ni 3	Zn	Pb 1	Sn
95.36		4.153	.009		.260		.146	.000	.000	.000	.034	.000
Sn 1	Ti	Cr 1	Co	In								
	.000	.000	.000	.000								

0 : 30 : 58, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY, HAKAN AKAR 4.3.AO, Average											1	2
Al 2	Cu 1	Cu 2	Mg	Mg 1	Si	Si 2	Fe 3	Mn 1	Ni 3	Zn	Pb 1	Sn
35.467		4.087	.000		.260		.151	.035	.000	.000	.000	.000
Sn 1	Ti	Cr 1	Co	In								
	.000	.000	.000	.000								

0 : 38 : 25, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY, HAKAN AKAR 4.3.UO, Average 2 3												
Al 2	Cu 1	Cu 2	Mg	Mg 1	Si	Si 2	Fe 3	Mn 1	Ni 3	Zn	Pb 1	Sn
95.40		4.127	.000		.282		.157	.034	.000	.000	.000	.000
Sn 1	Ti	Cr 1	Co	In								
	.000	.000	.000	.000								

10 : 45 : 01, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY, HAKAN AKAR 6.1.AO										Average	1	3
Al 2	Cu 1	Cu 2	Mg	Mg 1	Si	Si 2	Fe 3	Mn 1	Ni 3	Zn	Pb 1	Sn
93.83		5.703	.000		.238		.149	.034	.000	.000	.000	.000
Sn 1	Ti	Cr 1	Co	In								
.000		.000	.000	.000								

10 : 47 : 17, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY, HAKAN AKAR 6.1.UO, Average 1 2												
Al 2	Cu 1	Cu 2	Mg	Mg 1	Si	Si 2	Fe 3	Mn 1	Ni 3	Zn	Pb 1	Sn
93.568		5.934	.000		.159		.257	.035	.000	.000	.000	.000
Sn 1	Ti	Cr 1	Co	In								
	.000	.000	.000	.000								

10 : 49 : 38,		11 — Sep — 98,		ALUMINIUM ALLOY ,		HAKAN . AKAR		6 . 3 . AO ,		Average		1	2
Al 2	Cu 1	Cu 2	Mg	Mg 1	Si	Si 2	Fe 3	Mn 1	Ni 3	Zn		Pb 1	Sn

3.65		5.917	.000		.159		.270	.035	.000	.000	.000	.000
Sn 1	Ti	Cr 1	Co	In								
	.000	.000	.000	.000								

: 51 : 51, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY , HAKAN AKAR												6 . 3 . UO ,	Average	1	2
Al 2	Cu 1	Cu 2	Mg	Mg 1	Si	Si 2	Fe 3	Mn 1	Ni 3	Zn	Pb 1	Sn			
3.72		5.864	.000		.274		.138	.035	.000	.000	.000	.000			
Sn 1	Ti	Cr 1	Co	In											
	.000	.000	.000	.000											

: 54 : 25, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY , HAKAN AKAR												8 . 1 . AO ,	Average	1	2
Al 2	Cu 1	Cu 2	Mg	Mg 1	Si	Si 2	Fe 3	Mn 1	Ni 3	Zn	Pb 1	Sn			
1.368		8.177	.000		.217		.153	.033	.000	.000	.040	.000			
Sn 1	Ti	Cr 1	Co	In											
	.000	.000	.000	.000											

: 56 : 40, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY , HAKAN AKAR												8 . 1 . UO ,	Average	1	2
Al 2	Cu 1	Cu 2	Mg	Mg 1	Si	Si 2	Fe 3	Mn 1	Ni 3	Zn	Pb 1	Sn			
1.187		8.313	.000		.232		.185	.033	.000	.000	.039	.000			
Sn 1	Ti	Cr 1	Co	In											
	.000	.000	.000	.000											

: 58 : 49, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY , HAKAN AKAR												8 . 3 . AO ,	Average	1	2
Al 2	Cu 1	Cu 2	Mg	Mg 1	Si	Si 2	Fe 3	Mn 1	Ni 3	Zn	Pb 1	Sn			
1.688		7.869	.000		.195		.175	.034	.000	.000	.039	.000			
Sn 1	Ti	Cr 1	Co	In											
	.000	.000	.000	.000											

: 01 : 00, 11 — Sep — 98, ALUMINIUM ALLOY , HAKAN AKAR												8 . 3 . UO ,	Average	1	2
Al 2	Cu 1	Cu 2	Mg	Mg 1	Si	Si 2	Fe 3	Mn 1	Ni 3	Zn	Pb 1	Sn			
1.569		7.984	.000		.187		.188	.034	.000	.000	.038	.000			

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 23.11.1972

Doğum Yeri : Balıkesir

Lise : 1986 - 1990 İzmit Teknik Lisesi, Elektrik Bölümü

Lisans : 1991 - 1996 Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı, Genel Makine Dalı Programı

Çalıştığı Kurumlar AK - AR KALIP SANAYİ
JonWai Injection Molding Machines
Mitsubishi Heavy Industries

