

SODYUM Klorürlü Ortamda Alüminyum
ve Alüminyum Alasımlarının Korozyonuna
Hidroksi Karboksilik ve Amino Asitlerin Etkisi

Mahmut Köse

Yüksek Lisans Tezi

Kimya Anabilim Dalı

1991

T. C.
Yükseköğretim Bakanlığı
Dokümantasyon Merkezi

18742

SODYUM KLORÜRLÜ ORTAMDA ALUMİNYUM VE ALUMİNYUM
ALASIMLARININ KOROZYONUNA HİDROKSİ KARBOKSİLİK
VE AMİNO ASİTLERİN ETKİSİ

Mahmut Köse

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Kimya Anabilim Dalı
Fizikokimya Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

Y. G.
Yükseköğretim Kurulu
Bakımından Kabulü

Danışman : Doç.Dr. Gözen Bereket

Aralık - 1991

Mahmut Köse'nin YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı " Sodyum Klorürlü Ortamda Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Korozyonuna Hidroksi Karboksilik ve Amino Asitlerin Etkisi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

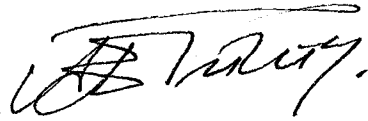
Üye : Prof.Dr.Cemil ÖGRETİR




Üye : Doç.Dr.Gözen BEREKET



Üye : Y.Doç.Dr.Ayşe Eren PÜTÜN



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 27 ARALIK 1991..
gün ve 298-1... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof.Dr.Rüstem KAYA

Enstitü Müdürü

ÖZET

Aluminyum ve aluminyum alaşımlarının 10^{-1} M NaCl çözeltisindeki korozyonuna glikolik asit, laktik asit, mandelik asit, malik asit gibi bazı hidroksi karboksilik asitlerle, glisin, alanin, valin, fenil glisin, fenil alanin ve aspartik asit gibi amino asitlerin etkisi potansiyodinamik polarizasyon yöntemiyle incelenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan hidroksi karboksilik asitlerin, aluminyum ve aluminyum alaşımlarının korozyon hızını arttırdıkları saptanmıştır. Korozyon arttırma etkileri hidroksi karboksilik asitlerin çözünür kompleks iyonlar oluşturmaları ile açıklanmaya çalışılmıştır.

Amino asit içeren sodyum klorür çözeltilerinde bulunan i_{corr} değerlerinin hidroksi karboksilik asit içeren sodyum klorür çözeltilerinde bulunan i_{corr} değerlerinden daha küçük olduğu bulunmuştur. Bu ise amino asitlerin metal yüzeyine adsorpsiyonu ile açıklanmıştır. Bazı amino asitlerin katodik inhibitör olarak davrandıkları bulunmuştur. Inhibitör etkinliklerinin ise adsorpsiyona katılan fonksiyonel grupların elektron yoğunluğu ile ilişkili olduğu ve eğer bir sıralama verilirse inhibitör etkinliğinin valin > fenil alanin > alanin > fenil glisin sırasını izlediği saptanmıştır.

SUMMARY

Effect of several hydroxy carboxylic acids such as glycolic acid, lactic acid, mandelic acid, benzilic acid, malic acid and several amino acids such as glycine, alanine, valine, phenyl glycine, phenyl alanine and aspartic acid on the corrosion behaviour of Al-alloys has been investigated in 10^{-3} M NaCl by potentiodynamic polarization technique.

Hydroxy carboxylic acids found to accelerate the corrosion rate of Al and Al-alloys. Accelerating effects were explained by the possible formation of soluble complex ions.

Corrosion currents found in amino acids containing NaCl solutions were lower than corrosion currents found in hydroxy carboxylic acid containing NaCl solutions. This was explained by the adsorption of amino acids.


It was found that some amino acids were behaved as cathodic inhibitor and inhibitory character of amino acids were closely related with the electron density of functional groups at which adsorptions were occurred. The inhibition efficiency seems to follow the order of valine > phenyl alanine > alanine > phenyl glycine.

TESEKKÜR

Tez çalışmam süresince yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarına yön veren, danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr.Gözen BEREKET'e sonsuz teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarında laboratuvar imkanlarından yararlanmamı sağlayan Sayın Prof.Dr.Muzaffer TUNCEL'e ve Bölüm Başkanımız Sayın Prof.Dr.Cemil ÖĞRETİR'e teşekkür ederim.

Mahmut KÖSE



İCİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
SUMMARY	iv
TESEKKÜR	v
SEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
2. BU KONUDA YAPILAN ÇALIŞMALAR	2
3. ALUMİNYUM	7
3.1. Aluminyum Metalinin Doğada Bulunuşu	7
3.2. Aluminyumun Fiziksel Özellikleri	7
3.3. Aluminyumun Kimyasal Özellikleri	8
3.4. Aluminyumun Kullanım Alanları	8
3.5. Alaşım ve Aluminyum Alaşımları	9
3.5.1. Alaşım	9
4. KOROZYON	10
4.1. Elektrokimyasal Korozyon	10
4.2. Korozyon ve Elektrokimyasal Kinetik	13
5. KOROZYON HIZINI ÖLÇME YÖNTEMLERİ	18
5.1. Korozyon Hızlarını Göz veya Mikroskopla Araştırmak	18
5.2. Kimyasal Analiz Yöntemleriyle Korozyon Testleri	18
5.3. Elektrokimyasal Yöntemler	18
5.3.1. Galvanostatik yöntem	18
5.3.2. Potansiyostatik yöntem	18
5.3.3. Potansiyodinamik yöntem	19

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6. KOROZYON İNHİBİTÖRLERİ	20
7. DENEYSEL BÖLÜM	25
7.1. Kullanılan Maddeler	25
7.2. Kullanılan Araçlar	27
7.3. Deney Ortamının Saptanması	27
7.4. Deney Elektrotlarının Hazırlanması	28
8. DENEYSEL ÇALIŞMA	29
9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	31
KAYNAKLAR DİZİNİ	58

SEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Deniz suyunda alüminyum için Pourbaix diyagramı	12
4.2. Asitli ortamda korozyona uğrayan bir metal için E-logi eğrileri	15
6.1. İki elektrot sistemi için Evans diyagramı ...	21
7.1. PRG 5 'in akım şeması	25
7.2. Korozyon hücresi	27
9.1. Saf alüminyum için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin ve valin çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	43
9.2. Saf alüminyum için sodyum klorürlü ortamda mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin ve benzilik asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	44
9.3. Saf alüminyum için sodyum klorürlü ortamda aspartik asit ve malik asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	45
9.4. Alüminyum 1100 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin ve valin çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	46
9.5. Alüminyum 1100 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin ve benzilik asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	47
9.6. Alüminyum 1100 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda aspartik asit ve malik asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	48
9.7. Alüminyum 2024 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin ve valin çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	49
9.8. Alüminyum 2024 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin ve benzilik asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	50

SEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
9.9. Aluminyum 2024 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda aspartik asit ve malik asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	51
9.10. Aluminyum 6061 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin ve valin çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	52
9.11. Aluminyum 6061 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin ve benzilik asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	53
9.12. Aluminyum 6061 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda aspartik asit ve malik asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	54
9.13. Aluminyum 7075 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin ve valin çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	55
9.14. Aluminyum 7075 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda mandelik asit ve fenil alanin çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	56
9.15. Aluminyum 7075 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda aspartik asit ve malik asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri	57

CİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Deneyde kullanılan 1100,2024,6061 ve 7075 alüminyum alaşımlarının bileşenleri	9
9.1. Saf alüminyum için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin valin, mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin, benzilik asit, malik asit ve aspartik asidin korozyon potansiyeli, korozyon akımı ve yüzde inhibitör etkinliği.....	38
9.2. Alüminyum 1100 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin valin, mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin, benzilik asit, malik asit ve aspartik asidin korozyon potansiyeli, korozyon akımı ve yüzde inhibitör etkinliği.....	39
9.3. Alüminyum 2024 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin valin, mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin, benzilik asit, malik asit ve aspartik asidin korozyon potansiyeli, korozyon akımı ve yüzde inhibitör etkinliği.....	40
9.4. Alüminyum 6064 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin valin, mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin, benzilik asit, malik asit ve aspartik asidin korozyon potansiyeli, korozyon akımı ve yüzde inhibitör etkinliği.....	41
9.5. Alüminyum 7075 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin valin, mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin, benzilik asit, malik asit ve aspartik asidin korozyon potansiyeli, korozyon akımı ve yüzde inhibitör etkinliği.....	42

1. GIRIS

1.1. Çalışmanın Amacı

Aluminyum ve aluminyum alaşımlarının sodyum klorürlü ortamdaki korozyon davranışı uçak sanayinde ve canlı organizmalarında kullanılacak uygun implantasyon metalinin seçiminde önemlidir (Saraç, et al.; 1990 ; Salvarezza, et al.; 1983 ; Muller, 1987 ; Williams, et al.; 1988).

Karboksilik asitler ve fenol gibi hidroksil grubu içeren organik bileşiklerin ve bazı amino asitlerin metallerin korozyonu için inhibitör olarak davrandığı bilinmektedir (Chakrabarty, et al.; 1983 ; Fouda and Semonqy,1982).

Diğer yandan canlı organizmada kullanılacak uygun implant metalinin korozyon davranışının incelenmesinde sadece anorganik elektrolit örneğin sodyum klorür çözeltisinin kullanılması yeterli değildir. Çünkü vücut sıvılarında tuzun yanısıra organik bileşiklerde bulunur. Örneğin serum proteinleri implant metal veya alaşımlarının bileşenleri ve pasif filmleriyle etkinleşerek korozyona neden olabilmektedir.

Hidroksi karboksilik asitler ile amino asitlerin oldukça ucuz olmaları ve toksik olmamaları nedeniyle aluminyum ve aluminyum alaşımlarının tuzlu sudaki korozyonuna inhibitör etkinliğinin incelenmesinin ilginç olacağı düşünülmüştür. Ayrıca amino asitlerin aluminyum ve aluminyum alaşımlarının sodyum klorürlü ortamdaki korozyonuna etkisi uygun implant metali seçiminde yol gösterici olabileceği varsayılmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda bu çalışma yapılmıştır.

2. BU KONUDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Aluminyum ve implant metali olarak kullanılan metal alaşımlarının korozyonuna karboksilik asit ve hidroksil grubu içeren organik bileşiklerin etkisiyle ilgili çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan bazılarıyla ilgili özet bilgiler aşağıda verilmektedir.

Clark and Williams (1982), Co, Ni, Cr, Al, Ti ve Co-Cr-Mo gibi metal ve alaşımların korozyonuna serum proteinlerinin etkisini incelemişler ve proteinlerin birinci sıra geçiş metallerinin korozyon hızını arttırma etkisini, metallerle kompleks oluşturma yatkınlığından kaynaklandığını açıklamışlardır.

Metallerin pasifleşmesi üzerine proteinlerin etkisi Svare (1970) ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır. Sistin içerisinde bakırın pasifleşmesi artarken nikelin pasifleşmesinin azaldığı gözlenmiştir ; alaninin ise bu metallerin çözülmesine pek fazla etki etmediği bulunmuştur.

Bu iki çalışmadan proteinlerin alaşım bileşenleri ve pasif film ile iki şekilde etkinleştiği ortaya çıkmıştır. (1) Adsorpsiyon, (2) Kompleks oluşturma.

Protein adsorpsiyonu özellikle korozyon inhibitörü seçiminde önemli olmaktadır. Örneğin 304 paslanmaz çeliğinin sodyum klorürlü ortamda çukur korozyonuna glisin ad- sorpsiyon yoluyla inhibitör olarak davrandığı bulunmuştur (De Berry and Viehbeck, 1988).

Literatürde amino asitlerin aluminyumun korozyonuna inhibitör olarak davrandığına ilişkin çalışmalara da rastlanmıştır. Fouada and El-Semangy (1982) hidroklorik asit

çözeltisi içerisinde alüminyumun korozyonuna bazı amino asitlerin inhibitör etkinliği termometrik ve ağırlık azalması yöntemleriyle incelemişler, çalışmalarında amino asitlerin metal yüzeyine karboksil (-COOH) ve amin (-NH₂) gruplarından adsorbe olarak korozyonu azalttığını bulmuşlardır. Inhibitör etkinliği ise tirozin > fenil alanin > triptofan > aspartik asit > arginin sırasını izlediği saptanmıştır.

İmplantasyon metallerinin korozyon karakterleriyle ilgili pek çok çalışmalar yapılmıştır. Williams, et al.; (1988) çalışmalarında % 0,9 NaCl çözeltisi kullanılarak vücut sıvısı iletkenliğinde bir ortam hazırlanmıştır. Ancak vücut içerisine yerleştirilen metallerin korozyon hızları, yapay çözeltilerde ölçülen korozyon hızlarından daha düşük olduğu gözlenmiştir. Vücut sıvılarında tuzun yanısıra proteinlerinde bulunması korozyon hızını azaltmıştır. İmplant metali olarak kullanılan 316 L paslanmaz çeliği, saf titanyum ve Ti-6Al-4V alaşımlarının korozyon karakteristiklerini, % 0,9 NaCl çözeltisi ile % 0,9 NaCl ve % 10 serum proteinleri içeren çözeltilerde incelemişlerdir. Polarizasyon direnci ve anodik, katodik polarizasyon yöntemleriyle yaptıkları çalışma sonucunda 316 L paslanmaz çeliğinin ve saf titanyumun korozyon hızı serum proteinlerinden dolayı arttığını ancak Ti-6Al-4V alaşımının bu ortamlardan pek etkilenmediği bulunmuştur. Bunun yanısıra serum proteinleri 316 L paslanmaz çeliğinin anodik Tafel eğimini artırdığını, katodik Tafel eğimini ise düşürdüğü görülmüştür.

Woodman, et al.; (1984) implantasyon metali olarak kullanılan 316 L paslanmaz çeliğinin korozyonu ile ilgili vücut içerisinde yaptıkları çalışmalarında korozyon

ürünlerinin serum proteinlerinin yaptığı organometalik kompleksler olduğunu saptamışlardır.

Diğer bir çalışmada Müller (1987) bazı metal protein komplekslerinin metal yüzeyinde çözünmeyen bileşikler oluşturabildiğini ve korozyonu pek fazla değiştirmedeğini görmüştür.

Bakır yüzdesi fazla Cu-Al alaşımları dişçilik uygulamalarında kullanım alanı bulmaktadır. Bunun nedeni altın piyasasının giderek artması ile ekonomik olarak daha ucuza maledilen Cu-Al alaşımlarının kullanımını gündeme getirmiş olmasıdır. Dişçilik uygulamalarında kullanılacak metal alaşımının, biyolojik ortamda korozyona dayanıklı olması ve renk değiştirme özelliği göstermemesi gerekmektedir. Bu nedenle Müller (1989) Cu-Al alaşımlarının korozyonunu sentetik tükrük içerisinde elektrokimyasal, daldırma, kolorimetrik ve yüzey analizi yöntemleriyle incelemeye çalışmıştır. Bu alaşımın korozyona dayanıklılığı aynı amaç için kullanılan altın alaşımı, gümüş-palladyum alaşımı ve bakır amalgamı ile karşılaştırılmıştır. Elektrokimyasal test sonuçları Cu-Al alaşımlarının ticari olarak dişçilikte kullanılan diğer alaşımlara göre korozyona daha duyarlı olduğu bulunmuştur. Bir buçuk aylık yapay tükrük ortamında daldırma deneylerinde ise yine Cu-Al alaşımlarının korozyona daha duyarlı ve ticari olarak kullanılan bakır amalgamına göre çözültiye daha fazla miktarda bakır verebildiği bulunmuştur. Ancak Cu-Al alaşımına katılan Ni, Fe ve Mn gibi diğer alaşım elementlerinden çözültiye geçmesi asidik ortamda (pH=4) gözlenmiştir. Kolorimetrik analizlerle incelenen Cu-Al alaşımının görünüm olarak bakır-amalgamdan daha parlak daha sarı

olduğu ve altın alaşımından zor ayırt edilebildiği gözlenmiştir.

Saf alüminyum kalp damar sistemlerinde ve kalp pillerinde de büyük ölçüde kullanılmaktadır. Bu nedenle Salvarezza, et al.; (1985) yaptıkları ortak çalışmada saf alüminyumun korozyon davranışını % 0,9 NaCl ; % 0,9 NaCl + % 0,48 glikoz ; plazma ve kan içeren çözeltilerde potansiyostatik, potansiyodinamik ve yüzey analizi yöntemleriyle incelemişlerdir. Bu çalışmanın amacı vücuda konan alüminyumun korozyonuna proteinlerin nasıl etki edeceğini araştırmaktır. Elektrokimyasal veriler alüminyum yüzeyindeki koruyucu filmin klorür varlığında kırıldığını ve metalin çukur korozyonuna uğradığını göstermiştir. Ayrıca alüminyum iyonlarının plazma proteinleriyle etkileşimi sonucu alüminyum yüzeyinde oluşan filmin uzaklaştığı sonucuna ulaşılmıştır.

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının korozyonuna hidroksi karboksilik asit tuzları ve aromatik hidroksi karboksilik asitlerin etkisi ile ilgili çalışmalar da mevcuttur (Chakrabarty, et al.; 1983). Nitrik asit içerisinde 1060, 3003 alüminyum alaşımlarının korozyonuna trihidroksi benzoik asit, dihidroksi benzoik asit, p-hidroksi benzoik asit, o-nitro benzoik asit, m-nitro benzoik asit, p-nitro benzoik asit, benzoik asit gibi asitlerin inhibitör etkinlikleri incelenmiştir. Bu çalışmalarda ağırlık azalması ve polarizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Bu asitlerin inhibitör etkinliğinin aşağıdaki sırayı izlediği bulunmuştur. Trihidroksi benzoik asit > dihidroksi benzoik asit > o-nitro benzoik asit > m-nitro benzoik asit > p-hidroksi benzoik asit > benzoik asit.

(Samuels, et al.; 1980) Aluminyum 2024 alaşımının sodyum klorür içerisindeki korozyonuna sodyum sitrat, sodyum tartarat gibi hidroksi karboksilik asitlerin sodyum tuzlarının etkisi ile sodyum asetat, sodyum benzoat ve sodyum okzalat gibi karboksilik asit tuzlarının korozyon etkisini ağırlık azalması, yüzey analizi ve polarizasyon direnci yöntemleriyle incelemişlerdir. alışmalarında sitrat ve tartarat anyonlarının aluminyumla çözünür kompleks oluşturduğu için korozyon hızını arttırdığı bulunmuştur. Okzalat ve benzoat anyonları ise aluminyum ile kararlı çözünmeyen kompleksler oluşturduğundan inhibitör etkisi gösterdiği ancak bu inhibitör etkinliğinin derişime bağlı olduğu bulunmuştur.

Agarwala (1990), aluminyum 7075 alaşımı ve karbon çeliğinin sodyum klorürlü ortamdaki korozyonuna 1,10-fenantrolin, 2,9-dimetil-1,10-fenantrolin, 5-nitro-1,10-fenantrolin gibi organik maddelerin inhibitör etkinliklerini incelemiştir. Bu organik maddeler aluminyum 7075 alaşımına inhibitör olarak davrandığı ve inhibitör etkinliğinin pH=7-8 arasında maksimum olduğu bulunmuştur. Inhibitör etkinliği 2,9-dimetil-1,10-fenantrolin > 5-nitro-1,10-fenantrolin > 1,10-fenantrolin sırasını izlemiştir. Bu fenantrolin ve fenantrolin türevleri aluminyum ile çözünmeyen kararlı kompleks oluşturarak ve yüzeyde adsorbe olarak etkili olmuşlardır. Ancak karbon çeliğinde bulunan demirle fenantrolin ve fenantrolin türevlerinin çözünür kompleks oluşturduklarından inhibitör olarak etkili olmadıkları grlmştir.

3. ALUMINYUM

3.1. Aluminyum Metalinin Doğada Bulunuşu

Aluminyum yerkabuğunda en fazla bulunan (yaklaşık % 8,05) metaldir. Doğada oksit ve alümin silikatlar halinde bulunur. Bunlar arasında feldispatlar, örnek: $KAlSi_3O_8$; mikalar, örnek: $KH_2Al_2(SiO_4)$; killer, örnek: $H_2Al_2(SiO_4)_2 \cdot H_2O$ en çok rastlanan silikatlardır. Feldispat içeren kütlelerin ayrışmasından killer oluşur. Bunlar Al_2O_3 , SiO_2 ve H_2O 'dan ibarettir. Aluminyumun ticari özellikteki bir cevheri olan boksit kayaların dış tesirler nedeniyle aşınmasından meydana gelen bir topraktır. Boksit cevheri ise Al_2O_3 (Alumino)'nın hammaddesini oluşturmaktadır.

3.2. Aluminyumun Fiziksel Özellikleri

Atom ağırlığı	27,97 gr/mol
Yoğunluğu	2,7 gr/cm ³
Metalin sıvı halde yoğunluğu (700°C)	2,37 gr/cm ³
Isıl genleşme katsayısı (20-100°C)	23,5x10 ⁻⁶
Özgül ısısı (0-100°C)	0,211 cal/gr
Erime sıcaklığı	660°C
Kaynama sıcaklığı	1800°C
Isı iletkenliği	0,54-0,57
Gizli erime ısısı	93 cal/gr
Isıya karşı dayanıklılık katsayısı (20°C 'de)	0,0042
Katılaşma halinde çekme	% 6,7
Yansıtma (Beyaz ışık için)	% 75-85
Elektrot potansiyeli (25°C 'de)	1,67 V

3.3. Alüminyumun Kimyasal Özellikleri

Alüminyum periyodik cetvelde bor, galyum, indiyum ve talyum'la birlikte III-A grubunda yer alır. Atom numarası 13, atom çapı 1,43 Å ve atom ağırlığı 26,97 gr/mol'dür. Valans elektronları sayısı üç olduğundan bileşiklerinde üç değerlikli (Al^{3+}) iyon halinde bulunur. Bununla beraber son zamanlarda iki veya bir değerlikli bazı alüminyum bileşiklerine de rastlanmıştır. Örneğin; Al_2S , Al_2O , AlO , AlF , $AlCl$ vb.

Elektrot potansiyeli (25°C) +1,67 V'dır. Elektrot potansiyelinden alüminyumun oldukça aktif bir metal olması beklenir. Ancak yüzeyinde oluşan oksit tabakası metalin korozyona karşı dayanıklı olmasını sağlar. Yüzeydeki oksit tabakasının kalınlığı 0,02 mm civarındadır.

3.4. Alüminyumun Kullanım Alanları

Alüminyum, ısı ve elektriği iyi iletir, aynı zamanda hafif ve korozyona da dayanıklı olduğu için hem metal hem de alaşımları halinde endüstride pek çok kullanım alanı bulur : Örneğin ; uçak endüstrisinde, taşımacılıkta, mutfak kapları yapımında, bütün hava hatları (alüminyum-çelik kablolar veya alüminyum; magnezyum, silisyum alaşımından yapılmış homojen kablolar), bağlama çubukları, izole kablolar, makara sarımları bugün alüminyumdan yapılmaktadır. Alüminyumun toksit, olmaması, ultraviyole ışınlarını durdurabilmesi nedeniyle ambalaj malzemesi olarakta kullanım alanları bulmuştur.

Alüminyum ve alüminyum alaşımları implantasyon metali olarak da insan vücudunda kullanılmaktadır. Ayrıca;

bununla ilgili araştırmalar devam etmektedir.

3.5. Alaşım Ve Alüminyum Alaşımları

3.5.1. Alaşım

Bir metale, bir veya birkaç elementin katılması ile elde edilen metal niteliğindeki maddelere alaşım denir. Yani alaşımlar temel olarak adlandırılan ana metale, az miktarlarda amaca uygun olarak ilave edilen metallere oluşur. Alaşımı oluşturmakta amaç : ana metalin özelliğini istenilen doğrultuda arttırmaktır. Temel metal ve alaşım vasıtası genellikle erimişken (akışkan) birleştirilir. Alaşımların meydana gelebilmesi, metal atomlarının kristal yapı oluşturabilme özelliklerine bağlıdır.

Bu çalışmada kullanılan 1100, 2024, 6061 ve 7075 alüminyum alaşımlarının bileşenleri Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan 1100, 2024, 6061 ve 7075 alüminyum alaşımlarının bileşenleri

Alaşım	Alaşım Bileşenleri
Saf alüminyum	%100 Al
1100	%99 Al
2024	%4,5 Cu-%15Mg-%0,6Mn Kalan : Alüminyum
6061	%1.0 Mg-%0,6Si-%0,25Cu-%0,25Cr Kalan : Alüminyum
7075	%5,5Zn-%2,5Mg-%1,5Cu-%0,3Cr-%0,2Mn Kalan : Alüminyum

4. KOROZYON

Korozyon, metal ve alaşımların mekanik olmayan etkilerle buldukları ortamda bozunmalarına denir. Ortamın metal ve alaşımları üzerine etkisi kimyasal ve elektrokimyasal yoldan olur. Doğadaki filizlerinden enerji harcanarak elde edilen saflaştırılmış metaller kararlı değildirler. Kararsız (yüksek enerjili) element ve bileşikler, daha kararlı (düşük enerjili) duruma geçebilmek için doğada kendiliğinden reaksiyona girme eğilimindedir. Bu eğilim korozyonun yürütücü kuvvetini oluşturmaktadır (Üneri, 1978,1979, 1981; Doruk, 1982).

4.1. Elektrokimyasal Korozyon

Korozyon olayları diğer bütün olaylar gibi termodinamik yasalara uyar. Yalnız sulu çözeltilerdeki korozyon olayları sadece kimyasal tepkimeler değil, aynı zamanda elektrokimyasal tepkimeler olduğundan elektrokimyasal termodinamikten yararlanmak gerekmektedir. Yani korozyonla ilgili dengelerde basınç, P ve derişimin, C, yanısıra elektrot potansiyeli, E' yide kullanmamız gerekmektedir.

Metallerin ölçülen standart elektrot potansiyelleri sulu çözeltilerindeki korozyon eğilimleri hakkında fikir verebilir.

Genel olarak elektrot potansiyelleri hidrojenin elektrot potansiyelinden (0,00 Volt) küçük olan metaller sulu çözeltilerinde hidrojen çıkışı ile çözünürler. Metalin elektrot potansiyeli, hidrojenin elektrot potansiyelinden ne denli küçükse korozyonda o denli büyük olur. Bunlara ör-

nek olarak kurşun, kalay, nikel, kobalt, talyum, kadmiyum, demir, krom, stronsiyum, berilyum ve lityum verilebilir.

Elektrot potansiyelleri hidrojenin elektrot potansiyelinden (0,00 Volt) büyük ve oksijenin elektrot potansiyelinden (+1,23 Volt) küçük olan metaller ise hidrojen çıkışı ile değilde oksijenli ortamda korozyona uğrarlar. Bu metaller antimon, bizmut, bakır ve gümüştür.

Elektrot potansiyelleri, oksijenin elektrot potansiyelinden (+1,23 Volt) büyük olan metaller, örneğin; altın sulu çözeltilerde korozyona uğramazlar.

Korozyon olayları bilindiğinden çok daha karmaşıktır. Bu nedenle elektrot potansiyellerine göre korozyona uğraması gereken metalin hemen hemen korozyona uğramadığı ve tersine korozyona uğramaması gereken metalin korozyona uğradığı görülebilir.

Metallerin korozyona uğraması sırasındaki gerçekleşen tüm kimyasal veya elektrokimyasal tepkime dengelerini bir diyagramda toplayarak incelemek bize korozyon hakkında daha kesin bilgiler verir. Oluşturulan bu diyagramlara Pourbaix diyagramları denir (Pourbaix, 1960). Bu diyagramlar sözkonusu korozyon olayında, ortamın pH'sı, elektrot potansiyelleri E'ye karşı grafiğe geçirilerek hazırlanır. Ayrıca korozyon sırasında iyonlara ayrışma varsa iyonlaşma sabitinden yararlanılır. Aluminyum için deniz suyundaki Pourbaix diyagramı Şekil 4.1. 'de verilmiştir (Bianchi and Longhi, 1973).

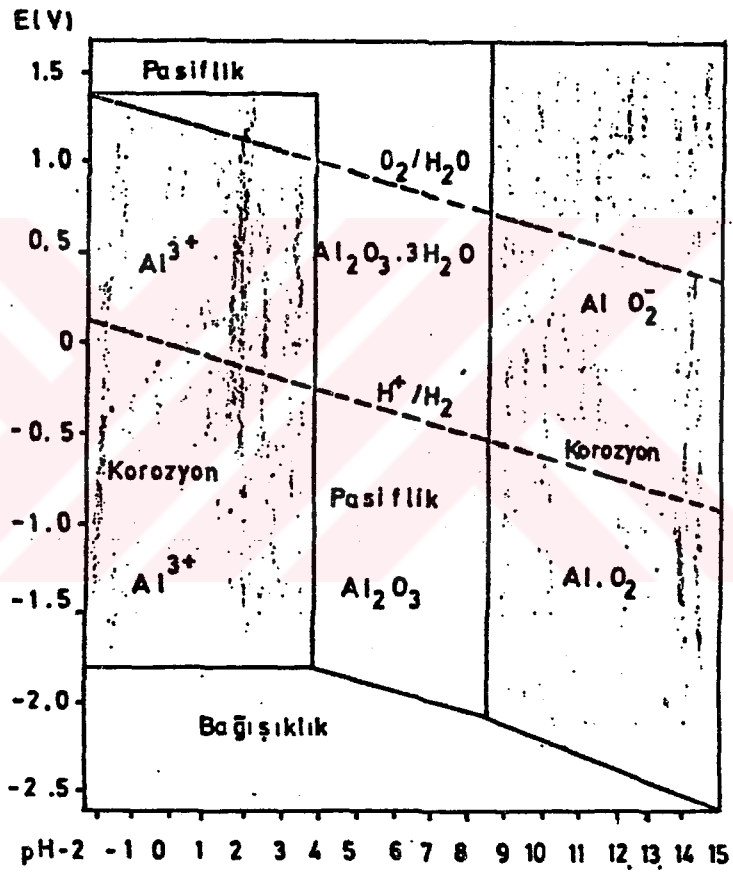
Potansiyel-pH diyagramları (Pourbaix diyagramları) verilen bir çözelti içerisinde daldırılmış olan metalde elektron-proton transfer reaksiyonlarının termodinamik açı-

dan olabirlirliğinin özetini verir. Bu diyagramların başlıca kullanım alanları ;

1- Bir reaksiyonun kendiliginden yürüme yönünün önceden tahmin edilmesi

2- Korozyon ürünlerinin bileşimlerinin tahmin edilmesi

3- Korozyon ortamında korozyon azaltıcı veya önleyici değişmelerin tahmin edilmesi gibi önemli bilgiler verir.



Sekil 4.1. Deniz suyunda Alüminyum için Pourbaix Diyagramı

Pourbaix diyagramları bize korozyon olayındaki kimyasal olayların yürüme olasılığı ile ilgili fikri verebilmesine karşın korozyon tepkimesinin hızı hakkında bilgi vermez. Korozyon tepkimesinin hızı elektrokimyasal kinetik

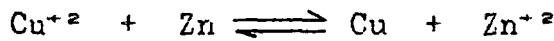
bağıntıları ve bunlara dayanan akım-potansiyel eğrileri yardımıyla belirlenir.

4.2. Korozyon Ve Elektrokimyasal Kinetik

Termodinamik ve elektrokimyasal termodinamikten yararlanarak ancak bir korozyon olayındaki hangi tepkimele-
rin yürüyebileceği belirlenebilir, korozyon hızı hakkında bilgi edinmek istiyorsak elektrokimyasal kinetikten yarar-
lanmamız gerekmektedir. Korozyon olayında elektrokimyasal kinetiği en iyi şekilde açıklayabilmek için pilde ve elekt-
rolizde yürüyen olaylardan başlamak daha doğru olacaktır.

Bir elektrokimyasal tepkime veya korozyon tepkime-
si ile ilgili enerji değişimi, sözkonusu tepkimelerin hücre potansiyellerinden hesaplanır.

Dengede olan bir Daniell pilini alarak hücre po-
tansiyeli veya pilin elektromotor kuvveti (EMK) ile ilgili ilkeleri açıklanabilir.

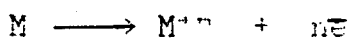


Bu tepkimeyi veren pilin şeması aşağıda gösterildiği gibi-
dir.



Elektrokimyasal bir reaksiyon anodik ve katodik olayları
olmak üzere iki sınıfta incelemek mümkündür.

Anodik Olay : Metal atomlarının elektron kaybede-
rek pozitif yüklü metal iyonlarına yükseltgenmesidir. Anodik
olay aşağıdaki genel reaksiyonla ifade edilebilir.



Katodik Olay : Metal iyonlarının elektron alarak indirgenmesi olayına denir. Anotta üretilen elektron katot tarafından harcanır. Korozyon hızı elektronların harcanma hızı arttıkça artar. Bir korozyon olayında birden fazla elektron harcayan reaksiyonun olmasının korozyon hızını arttıracığı açıktır.

Metallerin korozyonu bir metalin korozif ortamda yükseltgenmesi ve aynı anda bir ya da birkaç indirgenme reaksiyonlarının oluşması sonucu meydana gelir.

Elektrolit içerisine daldırılan bir elektrot yüzeyinde cereyan eden elektrokimyasal reaksiyonun yönünün indirgen mi, yoksa yükseltgen mi olduğu, metal ile çözelti arasında oluşan elektrokimyasal reaksiyonların denge potansiyeli (E) ölçülerek saptanır.

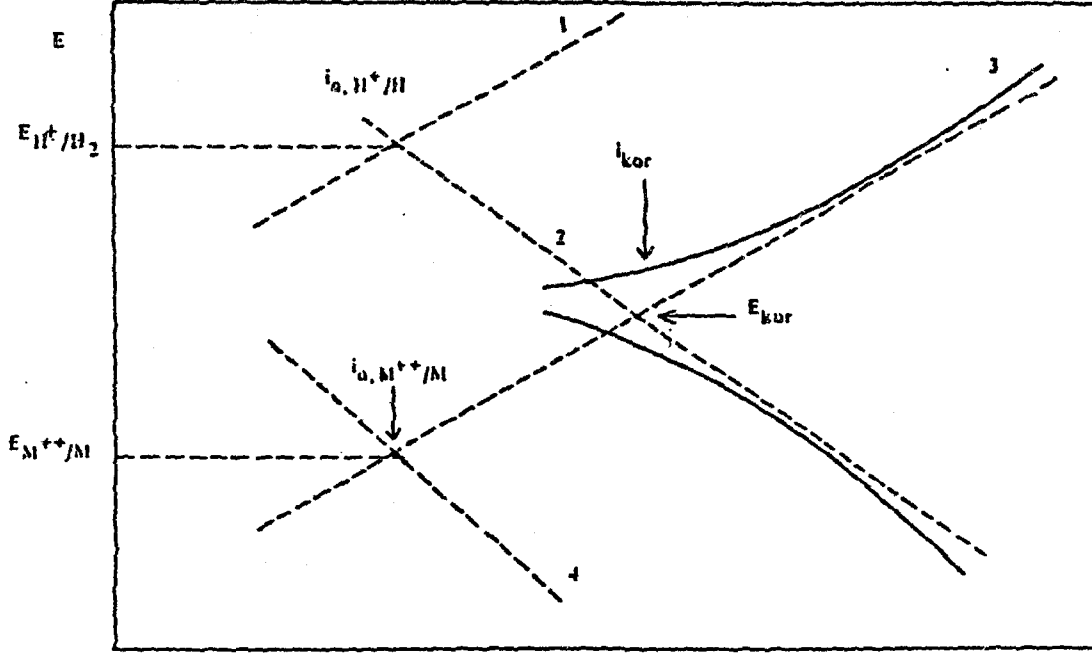
$E < E_0$ ise elektrot reaksiyonu indirgenme yönünde, akım negatiftir.

$E > E_0$ ise elektrot reaksiyonu yükseltgenme yönünde, akım pozitiftir.

$E = E_0$ ise dış devreden akım geçmez.

Asidik bir çözeltiye daldırılan M metalinin korozyona uğradığını ve bu sırada metal yüzeyinde hidrojen açığa çıktığını düşünerek korozyon olayının nasıl gerçekleştiğini Şekil 4.2. yardımıyla açıklayalım.

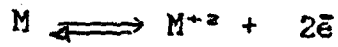
Bir reaksiyon için deneysel olarak elde edilen anodik ve katodik polarizasyon eğrilerinin doğrusal kısımlarına Tafel Doğruları denir. Bu doğrulardan yararlanarak bir korozyon olayının nasıl gerçekleştiği kolayca açıklanabilir



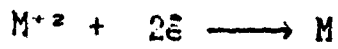
- 1) $H_2 \longrightarrow 2H^+ + 2e$
- 2) $2H^+ + 2e \longrightarrow H_2$
- 3) $M \longrightarrow M^{+2} + 2e$
- 4) $M^{+2} + 2e \longrightarrow M$

Sekil 4.2. Asitli ortamda korozyona uğrayan bir metal için E-log i egrileri

M metali kendi iyonlarını içeren bir çözeltide $E_{M^{+2}/M}$ denge potansiyelinde bulunduğu düşünülürse, metal denge potansiyelinde $i_a, M^{+2}/M$ denge tepkimesi akım yoğunluğu ile her iki yönde aynı hızla tepkime verir.



Denge potansiyelinden başlayarak katodik akım verilirse metal iyonları indirgenirler :



Bu indirgenme olayını karşılayan Tafel doğrusu Şekil 4.2.de görüldüğü gibi eksi eğimlidir. Denge potansiyelinden başlayarak anodik akım verildiğinde metal $M \longrightarrow M^{+2} + 2e$ tepkimesine göre yükseltgenir. Metalin bu çözünme (korozyon) durumunu karşılayan Tafel doğrusu ise artı eğimlidir.

M metali yüzeyinde hidrojen çıkışını gösteren Tafel doğrusu M metalinin yükseltgenme doğrusunu bir noktada keser bu kesim noktasında hidrojen iyonlarının metal yüzeyinde indirgenme hızı, i_{H^+} , M^{+2} 'ye eşit olmalıdır. Kısaca M metalinin bu kesişme noktasında korozyon (çözünme) hızı, hidrojen iyonlarının indirgenme hızına eşittir.

$$I_{H^+, H_2} = I_{M, M^{++}} = I_{kor}$$

i_{kor} metalin korozyon hızını göstermektedir. Doğruların kesiştiği noktanın potansiyeli ise M metalinin korozyon potansiyelini, E_{kor} verir. Asitli ortamda korozyona uğrayan M metalinin bir karşılaştırma elektroduna karşı potansiyeli ölçülürse bu E_{kor} değeri bulunur.

Bir elektroliz devresinde dış devredeki R direnci küçültülerek kendiliğinden yürüyen korozyon reaksiyonunun olması sağlanabilir ve hız ampermetre ile ölçülebilir. Aynı zamanda her bir elektrodun potansiyeli voltmetreyle ölçülebilir. Devreden akım geçerken ölçülen bu potansiyeller, denge durumunda ölçülen potansiyel büyüklüklerinden farklıdır. Akım altında ölçülen bu potansiyeller, E_1 , devreden geçen akıma, I , karşı grafiğe geçirilerek akım-potansiyel eğrileri elde edilir.

Bir elektroliz devresinde devreye akım uygulandığı zaman potansiyel değişimi şu şekilde olur ; akımsız durumda

ölçülen anodun denge potansiyeli, $E_{e,a}$, akım verilince daha artı; katodun denge potansiyeli $E_{e,c}$, daha eksi olur.

Bir elektroda akım verildiği zaman potansiyeli değişiyorsa elektrot polarize olmuş demektir.

Akım altındaki bir pilin potansiyelinin denge potansiyelinden sapmasına aşırı gerilim denir ve η ile gösterilir.

Akım geçerken katot potansiyeli, denge potansiyelinden daha küçük olduğu için, katot aşırı gerilimi, η_c her zaman eksidir.

Akım geçerken anod potansiyeli, denge potansiyelinden büyük olduğu için anod aşırı gerilimi, η_a her zaman artıdır.

Anodik ve katodik aşırı gerilimler sırasıyla aşağıdaki bağıntılarla verilir..

$$\eta_a = -a_a + \beta_a \log i \quad (1)$$

$$\eta_c = a_c + -\beta_c \log i \quad (2)$$

a_a , a_c , β_a ve β_c Tafel sabitleridir ve elektrotta yürüyen olaylara, elektrodun bulunduğu ortama göre değişir.

Aşırı gerilim ile, akım yoğunluğu arasındaki bağıntıları yarı logaritmik olarak veren (1) ve (2) nolu bağıntılara Tafel bağıntıları denir.

5. KOROZYON HIZINI ÖLÇME YÖNTEMLERİ

5.1. Korozyon Hasarları Göz Veya Mikroskopla Araştırmak

Yerel korozyon genellikle mikroskop altında veya uygun renkli indikatör çözeltileri kullanarak saptanabilir.

5.2. Kimyasal Analiz Yöntemleriyle Korozyon Testleri

Korozif çözeltiliye bırakılan metalin ağırlık azalmasından veya çözeltiliye geçen iyon derişiminden korozyon hızı tayin edilebilir. İyon derişimi çok hassas kolorimetrik polarografik, atomik absorpsiyon yöntemi gibi duyarlı analiz yöntemleri ile tayini olanaklıdır. Bazan korozif çözeltideki oksijen harcanmasından veya açığa çıkan hidrojen gazı miktarının ölçülmesinden de korozyon hızı saptanabilir.

5.3. Elektrokimyasal Yöntemler

5.3.1. Galvanostatik yöntem

Korozyon hızı ölçülecek metal elektrot olarak devreye bağlanır ve R direnci değiştirilerek bu elektrodada belirli bir akım uygulanır. Bu akımları karşılayan kararlı potansiyel değerleri bir voltmetrede okunur. Bu şekilde elde edilen polarizasyon eğrisinden, korozyon hızını veren korozyon akımı hesaplanabilir.

5.3.2. Potansiyostatik yöntem

Bu yöntemde deney elektrodunun (korozyona uğrayan elektrot) potansiyeli sabit değerlere getirilip, kararlı akım değerleri okunur. Elde edilen polarizasyon eğrisinden korozyon hızını veren korozyon akımı hesaplanır.

5.3.3. Potansiyodinamik yöntem

Potansiyel belirli akım hızlarında değiştirilir. Elde edilen akım-potansiyel eğrilerindeki tepelerin potansiyelleri, tepe akımları ve potansiyel değiştirme hızları arasındaki ilişkiler sadece korozyon hızı hakkında değil, korozyon mekanizması hakkında da bilgi verebilir (Üneri, 1981; Wranglen, 1985).

6. KOROZYON İNHİBİTÖRLERİ

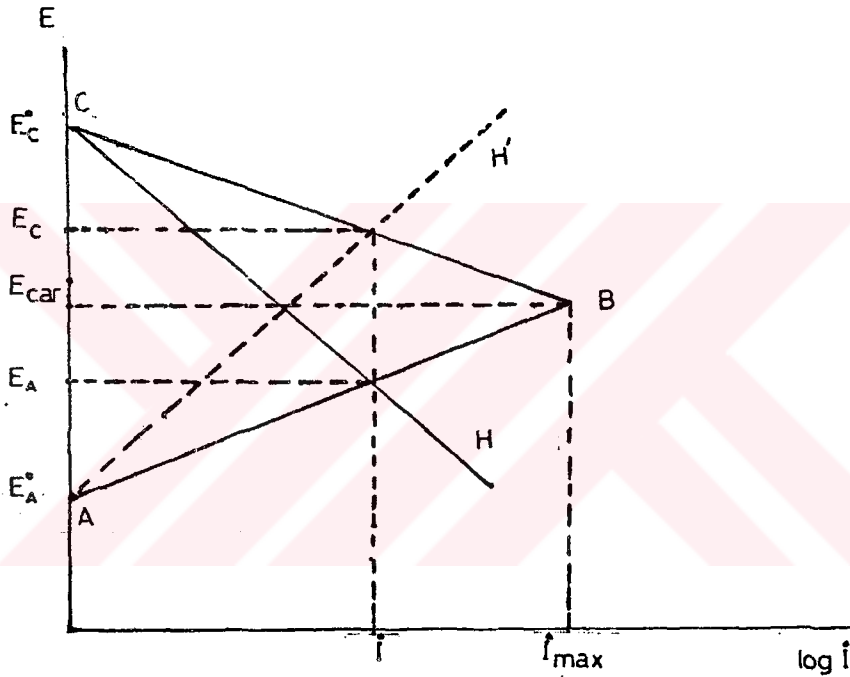
Korozyon inhibitörleri, metalik malzemeleri korozyona karşı korumak için kullanılan, korozif ortamda buldukları sürece korozyon hızını yavaşlatan kimyasal maddelerdir. Inhibitörler ya anot olaylarını ya da katot olaylarını engellerler. Hem anod hem de katot olaylarını birlikte engelleyen çift etkiye sahip inhibitörlerde vardır. Anodik inhibitörler anodik polarizasyonu arttırır ve korozyon potansiyelini pozitif yöne kaydırırlar. Katodik inhibitörler ise katodik polarizasyonu arttırarak korozyon potansiyelinin negatif yöne kaymasına neden olur. Çift etkiye sahip inhibitörlerin potansiyel üzerinde etkisi daha küçüktür.

Metallerin korozyonunun önlenmesi metalin bulunduğu ortam ile ilişkisini kesmekle mümkündür. Bu olay metal yüzeyinde mikro düzeyde yüzey filminin oluşturulmasıyla sağlanır. Yüzey filmi inhibitör denilen kimyasal maddelerin yüzeyde adsorbsiyonu ile gerçekleşir. Bazı durumlarda ortama inhibitör olarak eklenen maddeler yüzeyde koruyucu oksit tabakası oluşturarak etki ederler.

Metal yüzeyinde adsorbsiyon filmi oluşturan inhibitörler daha çok organik maddelerdir. Yüzeyde koruyucu oksit tabakası oluşmasına yardımcı olan inhibitörler ise genelde anorganik maddelerdir. Bunların dışında yüzeyde çökeltili oluşturarak ya da ortandan korozif maddeleri uzaklaştırarak korozyonu önlemek de mümkündür.

Tüm korozyon olaylarında elektrokimyasal çözünme, anot ve katot olayları olmak üzere ayrı ayrı incelenir. Anottaki çözünme hızı, korozyon hızına, aynı zamanda katottaki

redüksiyon hızına eşittir. Korozyon hızını metalin polarizasyon karakteristikleri belirler. Sekil 6.1. 'deki Evans diyagramları yardımıyla inhibitörlerin korozyon hızını nasıl etkilediği açıklanabilir. Metal üzerindeki anodik bölgelerin sahip olduğu potansiyel E_A katodik bölgelerin potansiyeli E_C ile gösterilmiştir. Diyagramda görülen AB ve CB doğruları korozyon olayının aktivasyon denetimli olduğu koşullardaki sırasıyla anodik ve katodik Tafel eğrileridir.



Sekil 6.1. İki elektrot sistemi için Evans diyagramı

Egrilerin kesiştiği B noktasındaki maksimum akım mevcut koşullardaki en yüksek korozyon hızıdır. Ancak eğrilerin eğimi değiştirilerek, örneğin CB ile belirtilen katodik Tafel eğrisinin CH olarak değişmesi ya da AB ile belirtilen anodik Tafel eğrisinin AH olarak değişmesi $i_{max} \rightarrow i$ değerine düşürür. Bu ise korozyon hızının düşmesi demektir. Korozyon akımının i olduğu koşullarda katodik ve anodik potansiyeller sıra ile,

$$E_C = E_C^0 - P_C \cdot I \quad (1)$$

$$E_A = E_A^0 + P_A \cdot I \quad (2)$$

bağıntılarıyla verilir. Eşitlikteki I, yük değişimi akım yoğunluğundan sapma (I), P_C ve P_A 'da sırayla katodik ve anodik polarizasyon dirençlerini göstermektedir. Eşitlik (1) ve (2) 'den P_C ve P_A için aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

$$P_C = \frac{E_C^0 - E_C}{\Delta I} \quad (3)$$

$$P_A = \frac{E_A - E_A^0}{\Delta I} \quad (4)$$

Korozyon akımının I_{mak} olduğu koşullarda $E_C = E_A$ 'dır.

$$E_C^0 - P_C \cdot I_{mak} = E_A^0 + P_A \cdot I_{mak} \quad (5)$$

$$I_{mak} = \frac{E_C^0 - E_A^0}{P_C + P_A} \quad (6)$$

Son eşitlikten (6) görüleceği gibi aktivasyon denetimli bir korozyon sisteminde korozyonun yürütücü kuvveti anot ve katodun denge potansiyelleri arasındaki farkla orantılıdır. Sistemin etkin direnci ise anot ve katodun polarizasyon direnci toplamıdır. ($P_C + P_A$)

Korozyon sistemini oluşturan anot ve katodun B noktasına kadar polarizlenmesi genelde gerçekleşmez. Ortamın R direncinden dolayı anot ve katot potansiyellerinin sırasıyla E_A ve E_C değerlerine kadar polarizlendiğinde,

$$E_C - E_A = I.R \quad (7)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu son (7) bağıntısı ile (1) ve (2) bağıntıları birleştirilirse,

$$(E_C^0 - P_C \cdot I) - (E_A^0 + P_A \cdot I) = I.R \quad (8)$$

$$I = \frac{E_C^0 - E_A^0}{P_C + P_A + R} \quad (9)$$

bağıntısı elde edilir. Görüldüğü gibi (9) bağıntıdan ortamın bir R direnci varsa sadece etkin direnç değişmektedir. Sistemin toplam direnci polarizasyon dirençleriyle çözeltinin gösterdiği direncin toplamına eşittir.

Korozyonun yavaşlatılmasında önemli olan metal/ortam ara yüzeyindeki direnci arttırmaktır. Bunu sağlamak için ya ara yüzeyinde adsorblanarak polarizasyon direncini arttıran maddeler kullanılır, ya da ara yüzeyinde ürünler oluşturan ve polarizasyon üzerine etkileri olmaksızın direnç artışına neden olan maddeler kullanılarak gerçekleştirilir. Şekil 6.1.'de gösterilen Evans diyagramına göre ;

1. Anodik Tafel eğrisinin eğimini değiştirerek (AB konumundan AH konumuna getirilerek) korozyon hızını yavaşlatan maddelere "anodik inhibitörler" denilmektedir.

2. Katodik Tafel eğrilerinin eğimini değiştirerek (CB konumundan CH konumuna getirilerek) etkin olan maddelere "katodik inhibitörler" denir.

3. Yukarıdaki etkileri birlikte gösteren maddelere ise "karma inhibitörler" olarak isimlendirilir.

Bu sınıflandırmada inhibitör etkisi için mekanizmalardan yararlanılmaktadır. Inhibitör olarak etkiyen mad-

delerin bazıları organik kökenli bazıları da anorganik kökenlidir. Bu nedenle sınıflandırmayı "organik inhibitörler" ve "anorganik inhibitörler" olarak da yapmak mümkündür.

Çoğunlukla anorganik inhibitörler metal yüzeyini pasifleştirerek (oksitleyerek) etki ederler. Bu nedenle ortamda yeterli derişimlerde bulunmadıkları zaman korozyonu hızlandırırılar. Organik inhibitörler ise ortamdaki miktarlarıyla orantılı olarak korozyonu yavaşlatırlar. Tüm inhibitörlerin ortak yanı metal/ortam ara yüzeyindeki direnci arttırmaktır. Bu direnç artışı ya polarizasyon dirençlerinin artışı şeklinde gerçekleşmekte ya da ara yüzeyde dirençli bir tabaka oluşturmaktadır.

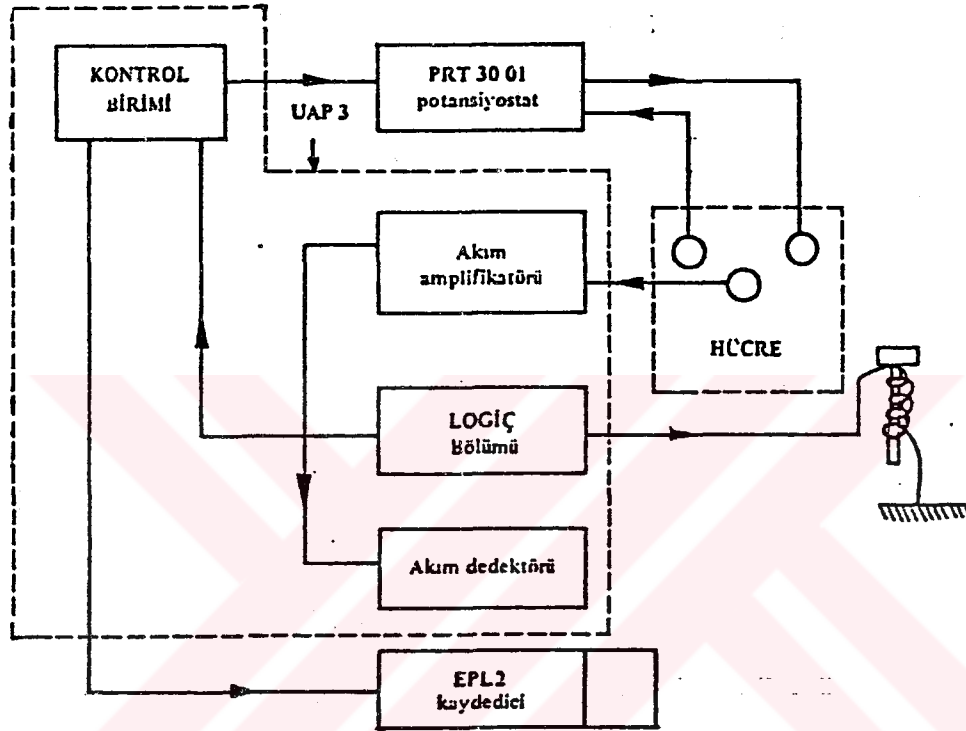
Inhibitör etkinliği inhibitörün korozyon hızını azaltma derecesidir. Değişik şekillerde ifade edilmesine karşın en yaygın olan etkinlik ifadesi korozyon hızını yüzde azaltma miktarıdır. Inhibitörsüz ve inhibitörlü koşullarda belirlenen korozyon hızları yardımıyla aşağıdaki bağıntı kullanılarak yüzde inhibitör etkinliği elde edilir.

$$\% \text{ Inhibitor Etkinliği} = \frac{i_0 - i_{inh}}{i_0} \times 100 \quad (10)$$

Bu bağıntıda i_0 ve i_{inh} sırası ile inhibitörsüz ve inhibitörlü koşullarda belirlenen korozyon hızlarıdır.

7. DENEYSEL BÖLÜM

Polarizasyon ölçümlerinde potansiyodinamik yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemin akım şeması Şekil 7.1. görülmektedir.



Şekil 7.1. PRG 5'in akım şeması

7.1. Kullanılan Maddeler

a) Elektrotlar : Saf alüminyum metali, 2024, 1100 6061 ve 7075 alüminyum alaşımları.

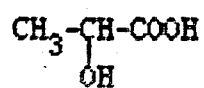
b) Tuz ve asitler :

Sodyum klorür (NaCl)

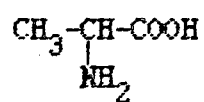
Glikolik asit $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{-COOH} \\ | \\ \text{OH} \end{array}$

Glisin $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{-COOH} \\ | \\ \text{NH}_2 \end{array}$

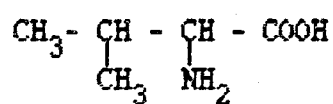
Laktik asit



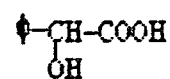
Alanin



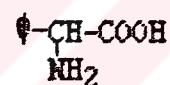
Velin



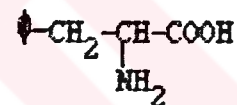
Mandelik asit



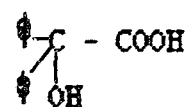
Fenil glisin



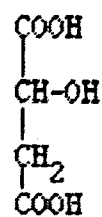
Fenil alanin



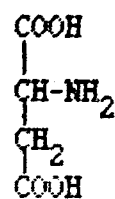
Benzilik asit



Malik asit

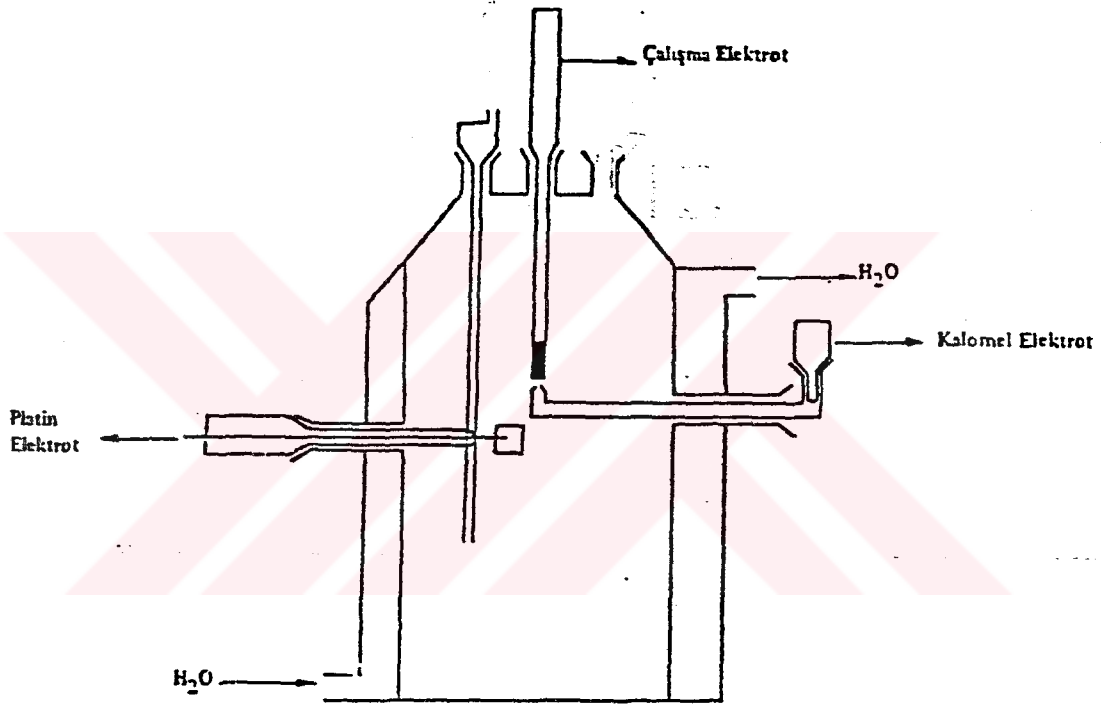


Aspartik asit



7.2. Kullanılan Araçlar

- a) Potansiyostat Tacussel PRG 5
- b) Platin elektrot
- c) Standart kalomel elektrot
- d) 500 cc'lik camdan korozyon hücresi
- e) Zımpara



Sekil 7.2. Korozyon hücresi

7.3. Dene Ortamının Saptanması

10^{-3} M NaCl ortamında glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin, valin, mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin, benzilik asit, malik asit ve aspartik asidin 10^{-3} M çözeltileri hazırlanmış, bu çözeltiler içerisinde polarizasyon eğrileri elde edilmiştir. Çözeltiler deiyonize su ile

hazırlanmış ve deney oda sıcaklığında yapılmıştır.

7.4. Deney Elektrotlarının Hazırlanması

Kimyasal bileşenleri Çizelge 3.1. 'de verilen deney elektrotları $0,5 \text{ cm}^2$ kesitli düz yüzeylidir. Bu elektrotların yüzey alanına dik olacak şekilde pirinç çubuklar perçinlenerek tutturulmuştur. Elektrotların yüzeyleri açık kalacak şekilde polyester ile kaplanmıştır. Açıkta kalan elektrot yüzeylerindeki perçinlenen pirincin uçları kapatılarak sadece ilgili elektrot yüzeyinin açıkta kalması sağlanmış ve bu yüzey alanları her elektrot için ölçülüp kaydedilmiştir.

Yardımcı elektrot olarak 1 cm boyunda platin tel elektrot kullanılmıştır. Bu elektrot saf platinin bakır tele kaynak edilip sadece platin telin çözeltiye temas etmesi için cam içerisine monte edilerek hazırlanmıştır.

Referans elektrot olarak kalomel elektrot kullanılmıştır. Kalomel elektrot (Elektrokimya Laboratuvar Uygulaması, Berkem, 1978) yararlanılarak hazırlanmıştır.

8. DENEYSEL ÇALIŞMA

Polarizasyon eğrileri Şekil 7.1. 'de şematik olarak gösterilen sistemle elde edilmiştir.

Elektrot potansiyeli ölçülürken, referans elektrot ile çalışma elektrodu arasındaki potansiyel düşüşü (omik düşme $E = I.R$) ihmal edilecek kadar az olmalıdır. Bunu sağlamak için kalomel elektrodun çalışma elektrodundan uzaklığı, yapıçapının üç katı olacak şekilde yaklaştırılmalıdır (Berthold and Herrmann, 1982). $I.R$ ifadesinde I polarizasyon akımını, R metal elektrot ile kalomel elektrot arasındaki direnci göstermektedir (Danielson, 1982).

Önce alüminyum ve alüminyum alaşımları için 10^{-2} M NaCl çözeltisi daha sonra 10^{-3} M NaCl çözeltisinde glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin, valin, mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin, benzilik asit, malik asit ve aspartik asit'in 10^{-3} M çözeltileri sırasıyla korozyon hücresine konulmuştur. Gerekli elektriksel bağlantılar yapıldıktan sonra 15 dak. kadar sistemin dengeye ulaşması için beklenmiştir. Sistem dengeye geldiğinde denge potansiyeli (korozyon potansiyeli) kaydedilerek, katodik akım uygulanmıştır. Denge potansiyelinden başlayarak 1 mV/sn potansiyel değiştirme hızı ile yaklaşık 500 mV daha katodik değerlere kadar taranmıştır. Belirli aralıklarla okunan potansiyelle karşılık gelen akımlar elektrodun yüzey alanına bölünerek (i/A), logaritmaları alınmıştır [$\log i/A$ ($\mu A/cm^2$)]. Daha sonra okunan potansiyellere, E (mV), karşı $\log i/A$ değerleri grafiğe geçirilerek katodik polarizasyon eğrileri

elde edilmiştir. Elde edilen polarizasyon eğrilerinin çizgisel Tafel bölgelerinin E_{kor} değerlerine ekstrapolasyonundan her bir çözelti için i_{kor} değerleri saptanmıştır.



9. DENEY SONUCLARI VE TARTISMA

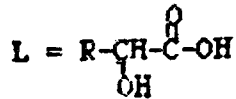
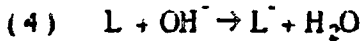
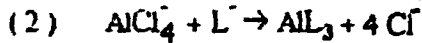
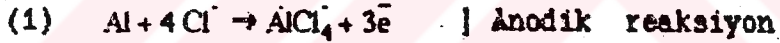
Saf alüminyum, 1100, 2024, 6061 ve 7075 alüminyum alaşımları için hidroksi karboksilik asit veya amino karboksilik asit içeren 10^{-1} M NaCl çözeltilerinde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri sırası ile Şekil 9.1., Şekil 9.2., Şekil 9.3., Şekil 9.4., Şekil 9.5., Şekil 9.6., Şekil 9.7., Şekil 9.8., Şekil 9.9., Şekil 9.10., Şekil 9.11., Şekil 9.12., Şekil 9.13., Şekil 9.14., Şekil 9.15 de verilmiştir. Polarizasyon eğrilerinden elde edilen sonuçlar ise çizelgeler halinde Çizelge 9.1., Çizelge 9.2., Çizelge 9.3., Çizelge 9.4., Çizelge 9.5.'de verilmiştir.

Saf alüminyum ile 1100 alüminyum alaşımlarının korozyon potansiyelleri -700 mV civarında, 2024 alüminyum alaşımının korozyon potansiyeli $(-550$ mV) $-(-650$ mV) arası, 7075 alüminyum alaşımı da -760 mV civarındadır. Alüminyum 2024 alaşımının korozyon potansiyelinin anodik değere kayması alaşım katkı elementi olarak en fazla bakır içermesi (% 4,5 Cu) ile açıklanabilir. Alüminyum 7075 alaşımının korozyon potansiyellerinin katodik değere kayması ise alaşım katkı elementi olarak, en fazla çinko (% 5,5 Zn) içermesi ile açıklanabilir.

Sadece 10^{-1} M NaCl içeren çözeltilerde korozyon hızı en yüksek alaşım alüminyum 7075 alaşımıdır. Saraç ve Bereket tarafından sodyum klorürlü ortamda alüminyum ve alüminyum alaşımlarının korozyonuna bazı organik bileşiklerin korozyon etkisi konulu çalışmalarında da bu çalışmada olduğu gibi alaşım elementi olarak çinko miktarının artmasıyla korozyon potansiyelinin katodığa kayarak korozyon hızı

zının arttığı bulunmuştur (Saraç, et al., 1990).

Tüm alüminyum ve alüminyum alaşımlarında hidroksi karboksilik asitler korozyon arttırıcı etki göstermiştir. Korozyon potansiyelinin anodige kayarak korozyon hızının artması hidroksi karboksilik asit içeren sodyum klorürlü ortamda alüminyum ve alüminyum alaşımlarının korozyon hızının katodik olarak kontrol edildiğini gösterir. Bir başka deyişle hidroksi karboksilik asitler katodik reaksiyonu hızlandırarak korozyonu arttırır. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının havalı sodyum klorür çözeltilerindeki korozyonunda önce alüminyum ve alüminyum alaşım yüzeylerindeki oksit tabakasına klorür iyonları adsorbe olur. Adsorbe olan klorür iyonları alüminyum oksit (Al_2O_3) örgüsündeki Al^{3+} ile çözünür. $AlCl_4^-$ kompleks iyonu vererek koruyucu oksit tabakasını kırar. Oksit tabakasından arınmış alüminyum aşağıdaki reaksiyona göre reaksiyon verir.



Yukarıdaki reaksiyonlardan görüldüğü gibi katodik reaksiyon sonucu açığa çıkan OH^- iyonları, hidroksi karboksilik asitlerle reaksiyona girerek katodik reaksiyonu hızlandırmaktadır. Ayrıca protonunu veren hidroksi karboksilik asit alüminyumla çözünür kompleks oluşturarak anodik reaksiyonu

da hızlandırdığı düşünülebilir.

Halbuki alüminyum ve alüminyum alaşımları için benzoik asit , dihidroksi benzoik asit , trihidroksi benzoik asit , p-hidroksi benzoik asit gibi karboksilik asitler ile fenolün inhibitör olarak davrandığı gözlenmiştir (Chakrabarty, et al.; 1983).

Diğer yandan (Samuels, et al.,1981) kompleks oluşturabilen tartarik asit ve sitrik asit gibi hidroksi karboksilik asitlerin sodyum tuzlarının 2024 alüminyum alaşımının sodyum klörlü ortamda korozyonunda korozyon potansiyelini negatif değere kaydırarak korozyon hızını arttırdığını bulmuşlar ve bu olayı çözünür kompleks oluşumuyla açıklamışlardır.

Bu çalışmada kullanılan tüm hidroksi karboksilik asitlerde metal iyonları ile kompleks verebilir. Çalışmada kullanılan hidroksi karboksilik asitlerin asitlik sırasımı malik asit > benzilik asit > mandelik asit > glikolik asit> laktik asit şeklinde olmalıdır. İyonlaşmış haldeki hidroksi karboksilik asitlerin metal iyonları ile daha kararlı kompleks oluşturması beklenir. Bu nedenle asitliği en fazla olan hidroksi karboksilik asit içeren çözeltilerde korozyon hızının yüksek olması gerekirdi ancak aromatik halkadaki delokalize π elektronlarından metal yüzeyine adsorbsiyon söz konusudur. Bu etki ise korozyon azaltıcı özellik göstermesine neden olur. Fenil halkası içeren hidroksi karboksilik asitlerde kompleks oluşumu yanında fenil halkasından adsorbsiyon yer aldığı için asitlik değeri ile korozyon arttırıcı etkisi arasında tam bir korelasyon gözlenememiştir.

Çizelge 9.1., Çizelge 9.2., Çizelge 9.3., Çizelge 9.4., Çizelge 9.5.'de görüldüğü gibi hidroksi karboksilik asitlerin 10^{-3} M NaCl çözeltilerinde bulunan i_{corr} değerleri benzer yapıda amino asit içeren 10^{-3} M NaCl çözeltilerinde bulunan i_{corr} değerlerinden daha büyüktür. Korozif ortama katılan bileşikler metal yüzeyinde çözünür kompleks oluşturursa korozyonu hızlandırır. Çözünmeyen kompleks veya adsorbe olursa metal ile ortam arasındaki direnci arttırmışından dolayı korozyonu yavaşlatır. Amino asitler alüminyum ve alüminyum alaşımları üzerindeki pasif film veya alaşım bileşikleriyle iki şekilde etkileşir.

i- Adsorbsiyon

ii- Kompleks oluşturma.

Amino asitler amin, $-NH_2$, grubundan, karboksil, $-COOH$, grubundan, aromatik amino asitlerde ilaveten aromatik halkadaki π elektronlarından metal yüzeyine adsorbe olabilir. Benzer yapıdaki hidroksi karboksilik asitler ise hidroksil, $-OH$ grubu üzerinden metal yüzeyine adsorbe olamamaktadır. Bunun nedeni hidroksi karboksilik asitlerdeki $-OH$, üzerindeki ortaklanmamış elektronların, amino asitlerdeki $-NH_2$ grubu üzerindeki elektronlardan daha az serbest yani oksijen tarafından daha çok çekilmesinden kaynaklanmaktadır. Hidroksi karboksilik asitler ile amino asitlerin bu küçük yapısal farklılığı, amino asitlerin kompleks oluşturma yanında metal yüzeyinde adsorbe olmasını, hidroksi karboksilik asitlerin ise çözünür kompleks yapmalarının tercih nedenleridir. Amino asit içeren çözeltilerde korozyon potansiyelleri katodığe kaydırmakta ve bu katodığe kaymanın artışına paralel olarak korozyon hızı azalmaktadır. Bu ise inhibitör özel-

liği gösteren amino asitlerin katodik inhibitör olarak davrandığını belirtir.

Çalışmada kullanılan alüminyum ve alüminyum alaşımlarının 10^{-1} M NaCl ortamındaki korozyonuna valin, daha sonra da fenil alanin en iyi inhibitör etkisi göstermiştir. Amino asitlerin inhibitör etkinliği metal yüzeyine adsorbsiyondan kaynaklanmaktadır. Adsorbsiyon ise adsorbe olan bileşiklerde elektron yoğunluğu ile ilişkilidir. Valinde $-NH_2$ grubunun bağlı olduğu karbonun B konumundaki karbona

iki metil grubu bağlıdır. $(CH_3 - \overset{B}{\underset{\begin{array}{c} | \\ CH_3 \end{array}}{CH}} - \underset{\begin{array}{c} | \\ NH_2 \end{array}}{CH} -)$ metil grupları

indüktif olarak elektron veren gruplar olduğundan $-NH_2$ grubu üzerindeki elektron yoğunluğunu arttırır. Bu durum çalışılan diğer amino asitler arasında valindeki $-NH_2$ grubu üzerinde elektron yoğunluğu en fazla olmasını sağlar. Valin adsorbsiyon kapasitesi en fazla bu nedenle de en iyi olan inhibitördür. Valinden sonra fenil alanin en iyi inhibitör olarak davranmıştır. Fenil alaninde metalle adsorbsiyon valinden farklı olarak fenil halkasının π elektronları aracılığı ile de gerçekleşir.

Fenil alaninden sonra inhibitör etkinliği sırasını alanin > fenil glisin > glisin izler. Alaninde $-NH_2$ 'nin bağlı olduğu karbona karboksil grubundan farklı olarak bir metil grubu bağlıdır. Metil grubunun indüktif elektron verme etkisi, alaninin inhibitör etkinliği sırasında valin ve fenil alaninden sonra üçüncü sırayı almasına neden olur. Fenil alaninle fenil glisin karşılaştırılabilir. Fenil alaninde fenil glisinden farklı olarak $-NH_2$ 'nin bağlı olduğu kar-

bona ile fenil grubu arasında bir $-CH_2-$ köprüsünün bulunmasıdır. Fenil halkası çok az indüktif olarak elektron çeken gruptur ve $-NH_2$ üzerindeki elektron yoğunluğunu çok az azaltmaktadır. Diğer yandan fenil halkasındaki π elektronlarının adsorbsiyona katkısı vardır. Fenil glisinde aynı şekilde adsorbsiyon hem fenil halkası üzerinden hem de $-NH_2$ üzerinden gerçekleşmektedir. Fenil glisinde $-NH_2$ 'nin bağlı olduğu karbon fenil halkasına direkt bağlıdır ve fenil halkasının reaktif merkezden ($-NH_2$ grubundan) indüktif elektron çekmesi fenil alanine göre daha fazladır. Bu farklılık fenil alaninin fenil glisinden daha iyi inhibitör olmasına neden olur.

Bu çalışmada olduğu gibi korozyon potansiyelini katodige kaydırarak korozyon hızını azaltmasına ilişkin çalışmalar vardır. Örneğin, alüminyumun nitrik asit içerisindeki korozyonuna üre, tiyüre ve fenil tiyürenin etkileri incelenmiştir. Bu bileşiklerin alüminyum yüzeyine adsorbe olarak katodik reaksiyonu yavaşlatması ve korozyon potansiyelini daha katodige kaydıracağı dolayısıyla katodik inhibitör olarak davrandığı bulunmuştur (Singh, et al.; 1981).

Nitrik asit içerisinde alüminyumun korozyonuna katodik inhibitör olarak davranması benzoik asit ve benzoik asidin hidroksi türevleri için de gözlenmiştir (Chakraborty, et al.; 1983).

Amino asitler gibi hem kompleks oluşturma hem de adsorbsiyon özelliği gösteren fenantrolin ve fenantrolin türevleri, 7075 alüminyum alaşımının sodyum klorür ortamındaki korozyonunda adsorbsiyon özelliği ağır bastığı için bu çalışmadaki gibi inhibitör olarak etki etmiştir (Agarwal, 1990)

Bu çalışmada alüminyum ve bazı alüminyum alaşımlarının 10^{-3} M NaCl ortamındaki korozyonuna inhibitör etkinliği gösteren fenil alanin, alüminyumun 1 N HCl ortamındaki korozyonunda da inhibitör etkinliği göstermiştir (Fouada and El-Semongy, 1982).

Dikarboksilik hidroksi asit ile dikarboksilik amino asitler 7075 alüminyum alaşımı hariç diğer tüm alüminyum ve alüminyum alaşımlarında korozyon hızını arttırmıştır. Alüminyum 7075 alaşımının korozyon hızını azaltmasının nedeni, korozyon arttırıcı etki yapan alaşım elementi çinko (Zn)'nin seçimli olarak kompleks halde ortandan uzaklaştırılması ile açıklanabilir. Bazı alaşım elementlerinin ortandan uzaklaştırılıp korozyon hızının azaltılmasına ilişkin çalışmalara bu çalışmada olduğu gibi literatürde rastlanmıştır (Nişancıoğlu, et al., 1985).

Çizelge 9.1. Saf alüminyum için sodyum klorürü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin, valin, mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin, benzilik asit, malik asit ve aspartik asidin korozyon potansiyeli, E_{kor} , korozyon akımı, I_{kor} ve yüzde inhibitör etkinliği

Elektrot	Çözelti	Org. Bil. Formülü	E_{kor} (mV)	I_{kor} ($\mu A/cm^2$)	$\frac{I_0 - I_1}{I_0} \times 100$
Saf	10^{-1} M NaCl	—	-700	3,9	—
Saf	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Glikolik asit	$\begin{array}{c} CH_2-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-630	11,6	-198,6
Saf	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Glisin	$\begin{array}{c} CH_2-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-700	3,8	2,3
Saf	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Laktik asit	$\begin{array}{c} CH_3-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-620	10,2	-163,0
Saf	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Alanin	$\begin{array}{c} CH_3-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-725	2,1	46,9
Saf	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Valin	$\begin{array}{c} CH_3-CH-CH-COOH \\ \quad \\ CH_3 \quad NH_2 \end{array}$	-790	2,0	49,9
Saf	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Mandelik a.	$\begin{array}{c} \phi-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-700	10,1	-160,0
Saf	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Fenil glisin	$\begin{array}{c} \phi-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-725	3,6	6,7
Saf	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Fenil alanin	$\begin{array}{c} \phi-CH_2-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-785	1,8	59,2
Saf	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Benzilik asit	$\begin{array}{c} \phi-C-COOH \\ / \quad \\ \phi \quad OH \end{array}$	-635	6,6	-69,8
Saf	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Malik asit	$\begin{array}{c} HOOC-CH_2-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-695	7,2	-84,0
Saf	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Aspartik a.	$\begin{array}{c} HOOC-CH_2-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-695	7,5	-92,7

Çizelge 9.2. Alüminyum 1100 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin, valin, mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin, benzilik asit, malik asit ve aspartik asidin korozyon potansiyeli, E_{kor} , korozyon akımı, I_{kor} ve yüzde inhibitör etkililiği

Elektrot	Çözelti	Org. Bil. Formülü	E_{kor} (mV)	I_{kor} ($\mu A/cm^2$)	$\frac{i_0 - i_i}{i_0} \times 100$
1100	10^{-1} M NaCl	—	-690	1,7	—
1100	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Glikolik asit	$\begin{array}{c} CH_2-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-688	10,2	-116,2
1100	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Glisin	$\begin{array}{c} CH_2-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-680	6,9	46,2
1100	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Laktik asit	$\begin{array}{c} CH_3-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-690	10,0	-111,3
1100	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Alanin	$\begin{array}{c} CH_3-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-685	3,6	24,2
1100	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Valin	$\begin{array}{c} CH_3-CH-CH-COOH \\ \quad \\ CH_3 \quad NH_2 \end{array}$	-705	1,6	65,3
1100	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Mandelik a.	$\begin{array}{c} \phi-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-690	9,4	99,5
1100	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Fenil glisin	$\begin{array}{c} \phi-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-700	4,2	10,9
1100	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Fenil alanin	$\begin{array}{c} \phi-CH_2-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-690	3,8	-18,7
1100	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Benzilik asit	$\begin{array}{c} \phi-C-COOH \\ \\ \phi \quad OH \end{array}$	-695	8,5	-79,8
1100	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Malik asit	$\begin{array}{c} HOOC-CH_2-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-690	11,9	-92,7
1100	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Aspartik a.	$\begin{array}{c} HOOC-CH_2-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-695	9,2	-95,0

Çizelge 9.3. Alüminyum 2024 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin, valin, mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin, benzoik asit, malik asit ve aspartik asidin korozyon potansiyeli, E_{kor} , korozyon akımı, i_{kor} ve yüzde inhibitör etkinliği

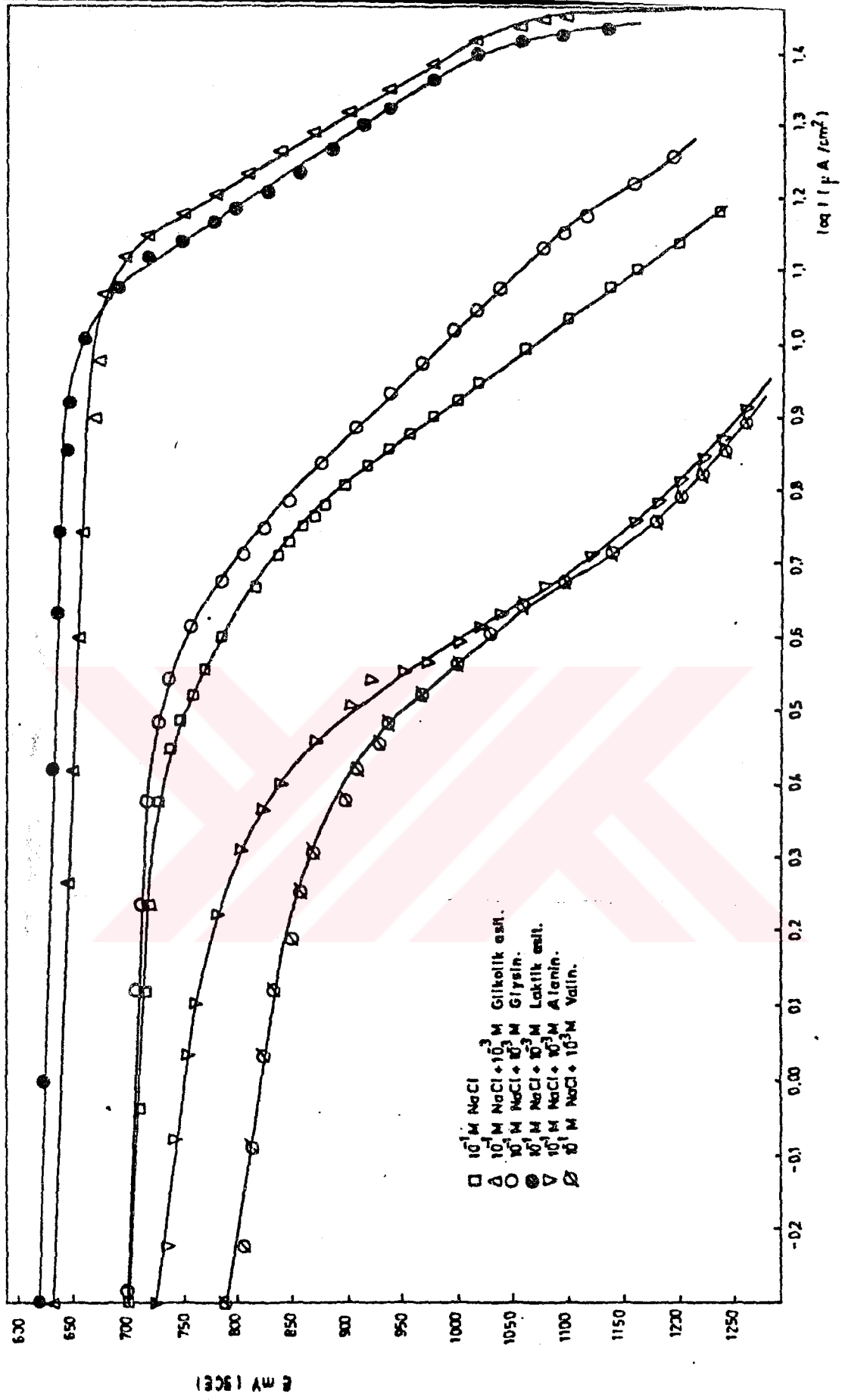
Elektrot	Çözelti	Org. Bil. Formülü	E_{kor} (mV)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	$\frac{i_0 - i_i}{i_0} \times 100$
2024	10^{-1} M NaCl	—	-570	4,4	—
2024	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Glikolik asit	$\begin{array}{c} CH_2-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-685	5,5	-25,0
2024	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Glisin	$\begin{array}{c} CH_2-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-545	4,8	-9,1
2024	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Laktik asit	$\begin{array}{c} CH_3-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-540	8,9	-102,2
2024	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Alanin	$\begin{array}{c} CH_3-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-540	4,7	-6,8
2024	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Valin	$\begin{array}{c} CH_3-CH-CH-COOH \\ \quad \\ CH_3 \quad NH_2 \end{array}$	-600	3,0	31,8
2024	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Mandelik a.	$\begin{array}{c} \phi-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-540	11,8	168,2
2024	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Fenil glisin	$\begin{array}{c} \phi-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-580	5,1	-16,1
2024	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Fenil alanin	$\begin{array}{c} \phi-CH_2-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-524	4,1	6,8
2024	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Benzoik asit	$\begin{array}{c} \phi-C-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-550	16,0	-263,6
2024	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Malik asit	$\begin{array}{c} HOOC-CH_2-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-550	14,0	-218,2
2024	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Aspartik a.	$\begin{array}{c} HOOC-CH_2-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-580	8,6	-95,5

Çizelge 9.4. Alüminyum 6061 alaşımları için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin, valin, mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin, benzilik asit, malik asit ve aspartik asidin korozyon potansiyeli, E_{kor} , korozyon akımı, i_{kor} ve yüzde inhibitör etkinliği

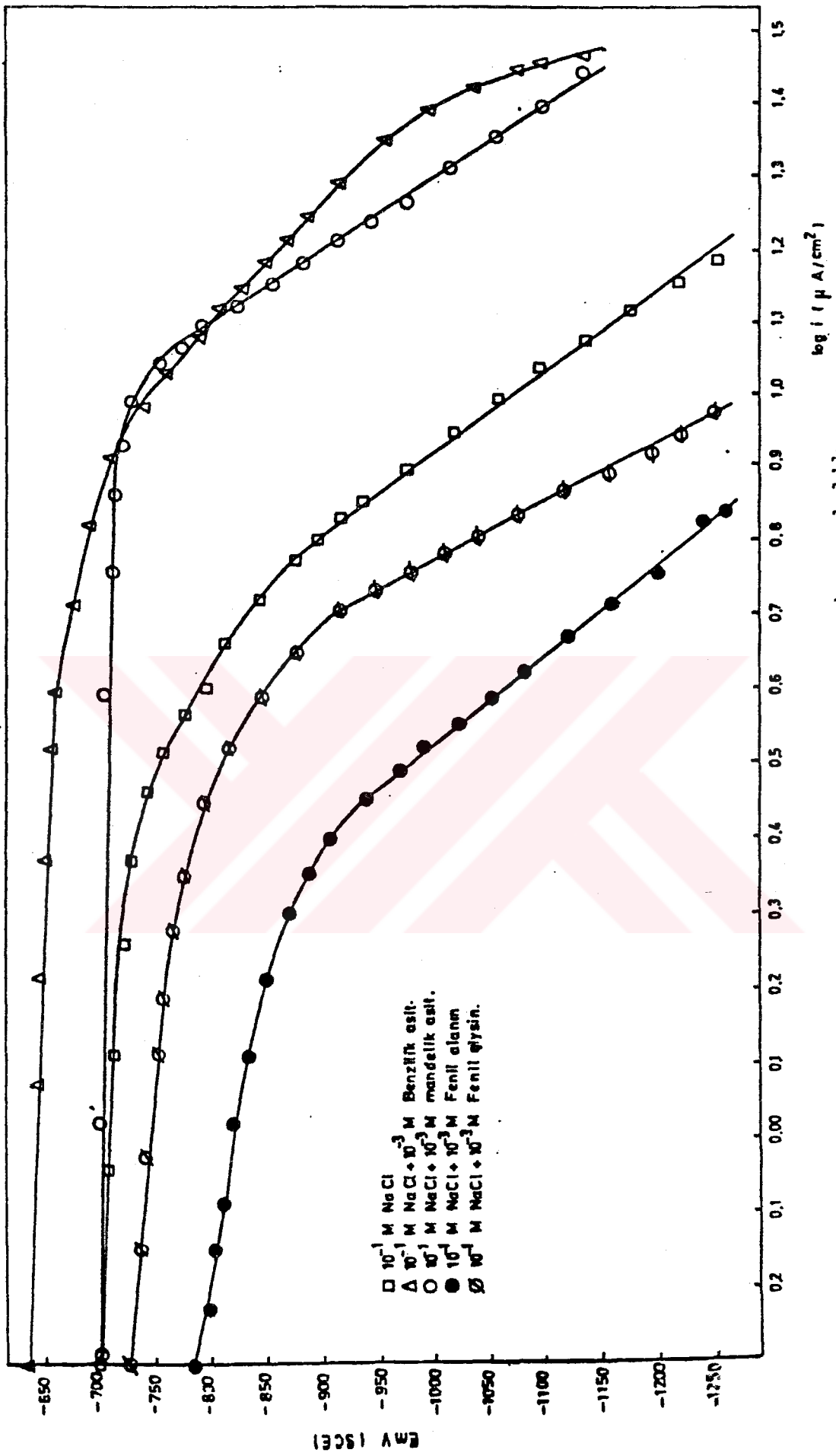
Elektrot	Çözelti	Org. Bil. Formülü	E_{kor} (mV)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	$\frac{i_0 - i_1}{i_0} \times 100$
6061	10^{-1} M NaCl	---	-820	3,9	---
6061	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Glikolik asit	$\begin{array}{c} CH_2-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-660	7,5	-92,8
6061	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Glisin	$\begin{array}{c} CH_2-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-715	3,31	-14,9
6061	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Laktik asit	$\begin{array}{c} CH_3-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-670	10,4	-169,2
6061	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Alanin	$\begin{array}{c} CH_3-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-670	6,7	-71,2
6061	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Valin	$\begin{array}{c} CH_3-CH-CH-COOH \\ \quad \\ CH_3 \quad NH_2 \end{array}$	-830	1,7	56,8
6061	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Mandelik a.	$\begin{array}{c} \phi-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-665	8,2	-111,3
6061	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Fenil glisin	$\begin{array}{c} \phi-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-780	4,9	-25,8
6061	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Fenil alanin	$\begin{array}{c} \phi-CH_2-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-740	5,8	-47,9
6061	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Benzilik asit	$\begin{array}{c} \phi-C-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-670	7,5	-92,7
6061	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Malik asit	$\begin{array}{c} HOOC-CH_2-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-660	10,0	-157,0
6061	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Aspartik a.	$\begin{array}{c} HOOC-CH_2-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-665	8,4	-116,2

Çizelge 9.5. Alüminyum 7075 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin, valin, mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin, benzilik asit, malik asit ve aspartik asidin korozyon potansiyeli, E_{kor} , korozyon akımı, I_{kor} ve yüzde inhibitör etkinliği

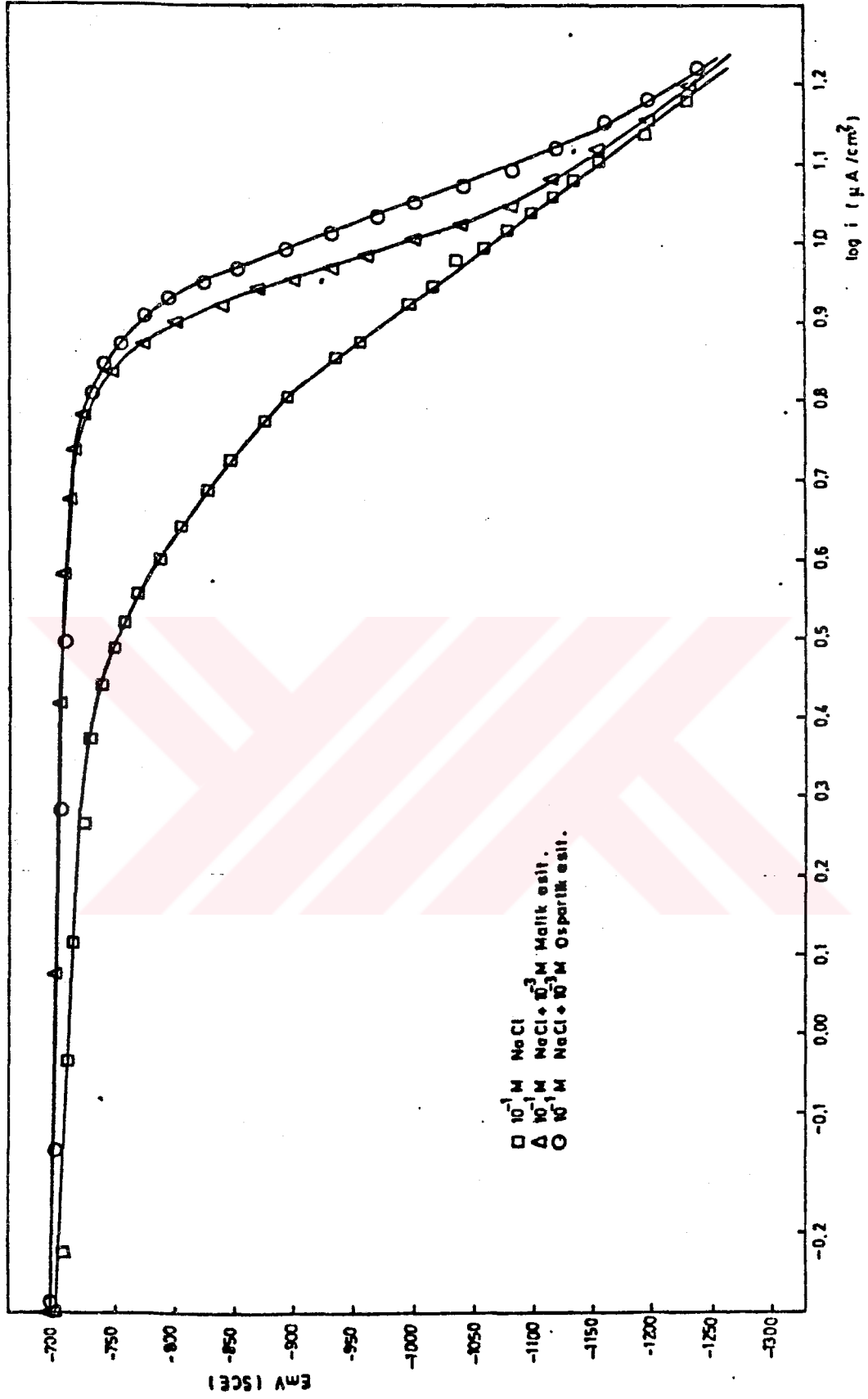
Elektrot	Çözelti	Org. Bil. Formülü	E_{kor} (mV)	I_{kor} ($\mu A/cm^2$)	$\frac{I_0 - I_i}{I_0} \times 100$
7075	10^{-1} M NaCl	—	-760	16,7	—
7075	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Glikolik asit	$\begin{array}{c} CH_2-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-750	17,4	-4,7
7075	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Glisin	$\begin{array}{c} CH_2-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-750	15,3	7,7
7075	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Laktik asit	$\begin{array}{c} CH_3-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-755	17,8	-7,4
7075	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Alanin	$\begin{array}{c} CH_3-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-758	11,7	29,2
7075	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Valin	$\begin{array}{c} CH_3-CH-CH-COOH \\ \quad \\ CH_3 \quad NH_2 \end{array}$	-780	4,1	75,4
7075	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Mandelik a.	$\begin{array}{c} \phi-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-750	18,2	-9,6
7075	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Fenil glisin	$\begin{array}{c} \phi-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	—	—	—
7075	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Fenil alanin	$\begin{array}{c} \phi-CH_2-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-765	10,2	38,3
7075	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Benzilik asit	$\begin{array}{c} \phi-C-COOH \\ \\ OH \end{array}$	—	—	—
7075	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Malik asit	$\begin{array}{c} HOOC-CH_2-CH-COOH \\ \\ OH \end{array}$	-755	13,5	18,7
7075	10^{-1} M NaCl + 10^{-3} M Aspartik a.	$\begin{array}{c} HOOC-CH_2-CH-COOH \\ \\ NH_2 \end{array}$	-760	9,5	42,5



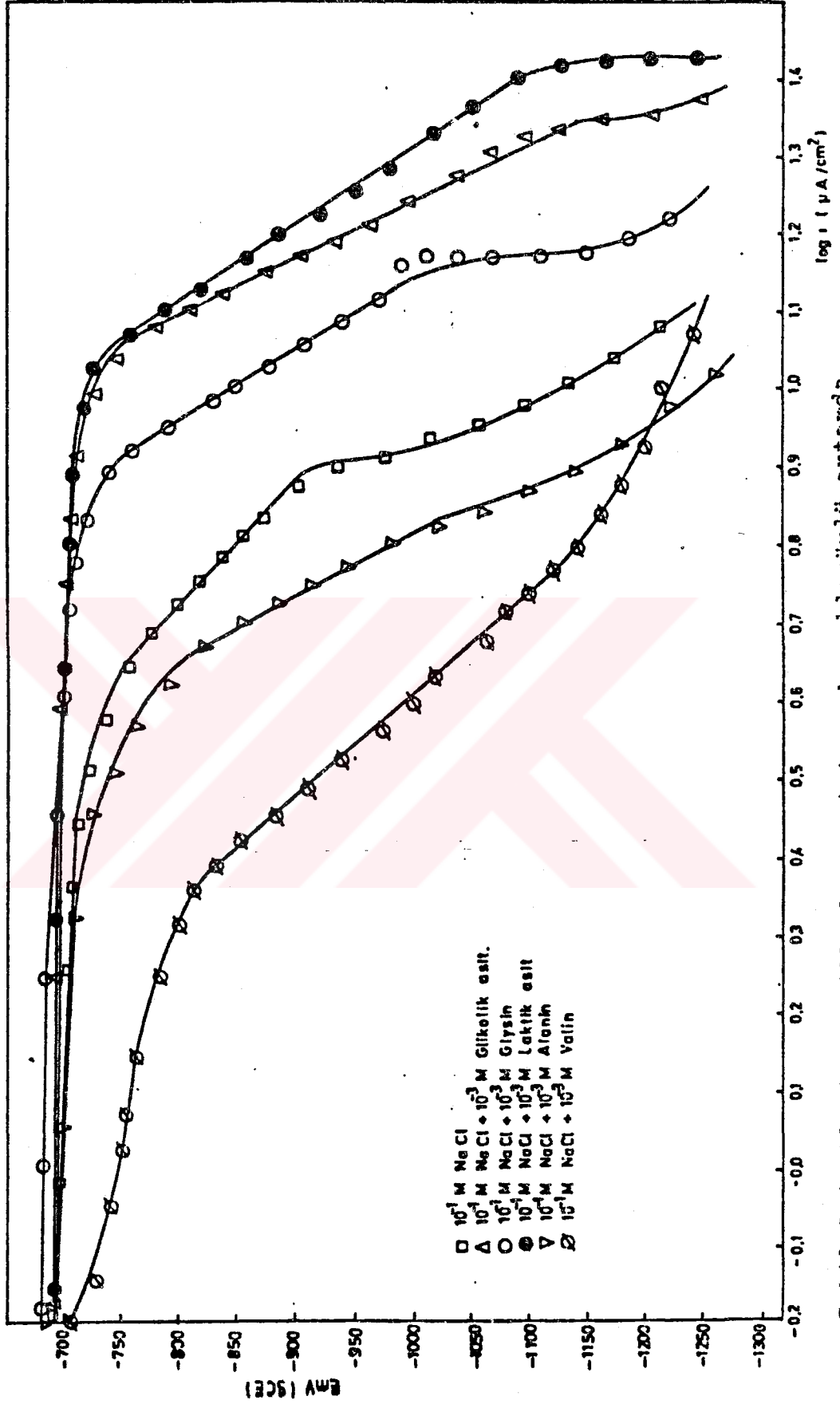
Sekil 9.1. Saf alüminyum için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin ve valin çözeltilerinin polarizasyon eğrileri



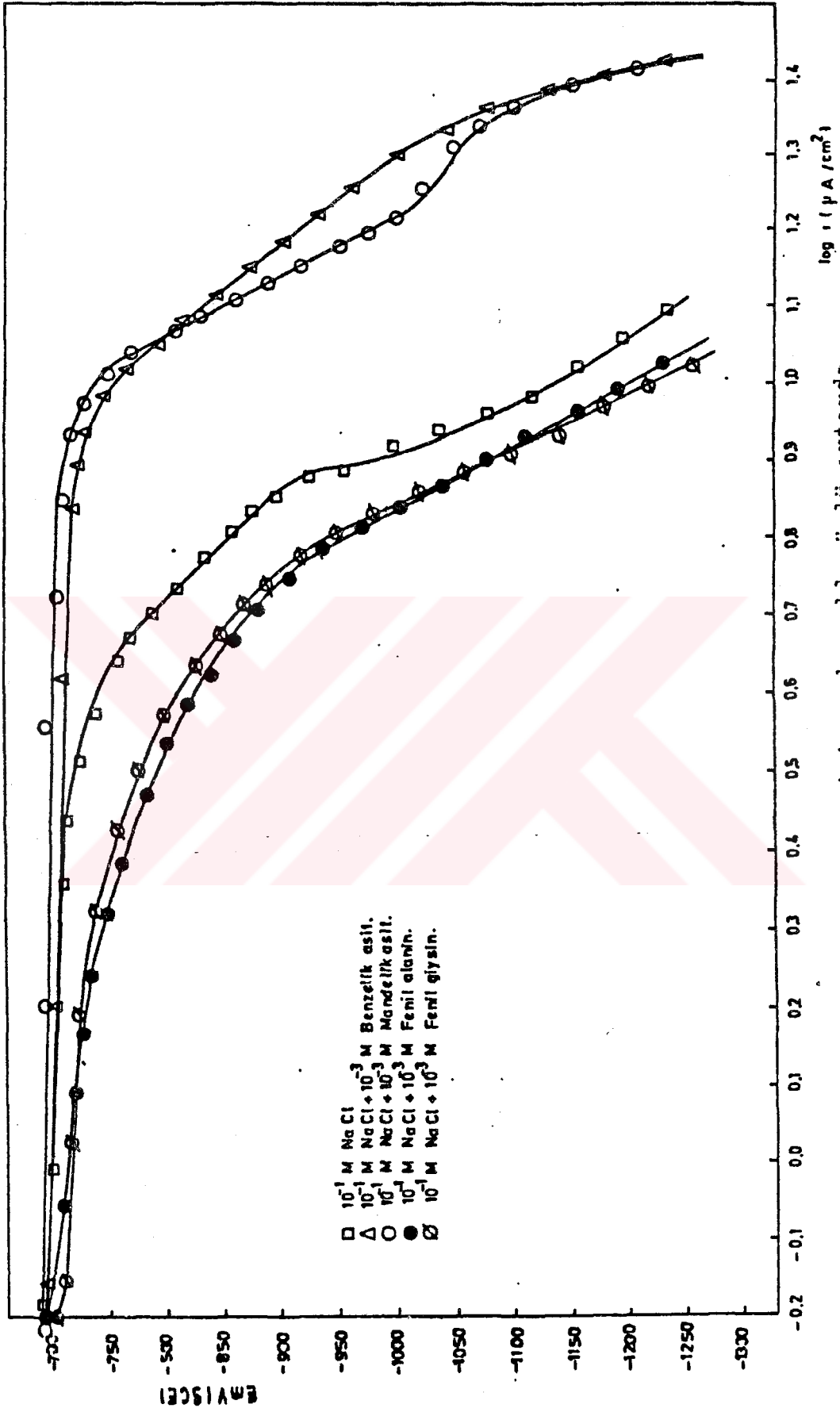
Sekil 9.2. Saf alüminyum için sodyum klorürlü ortamda mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin ve benzilik asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri



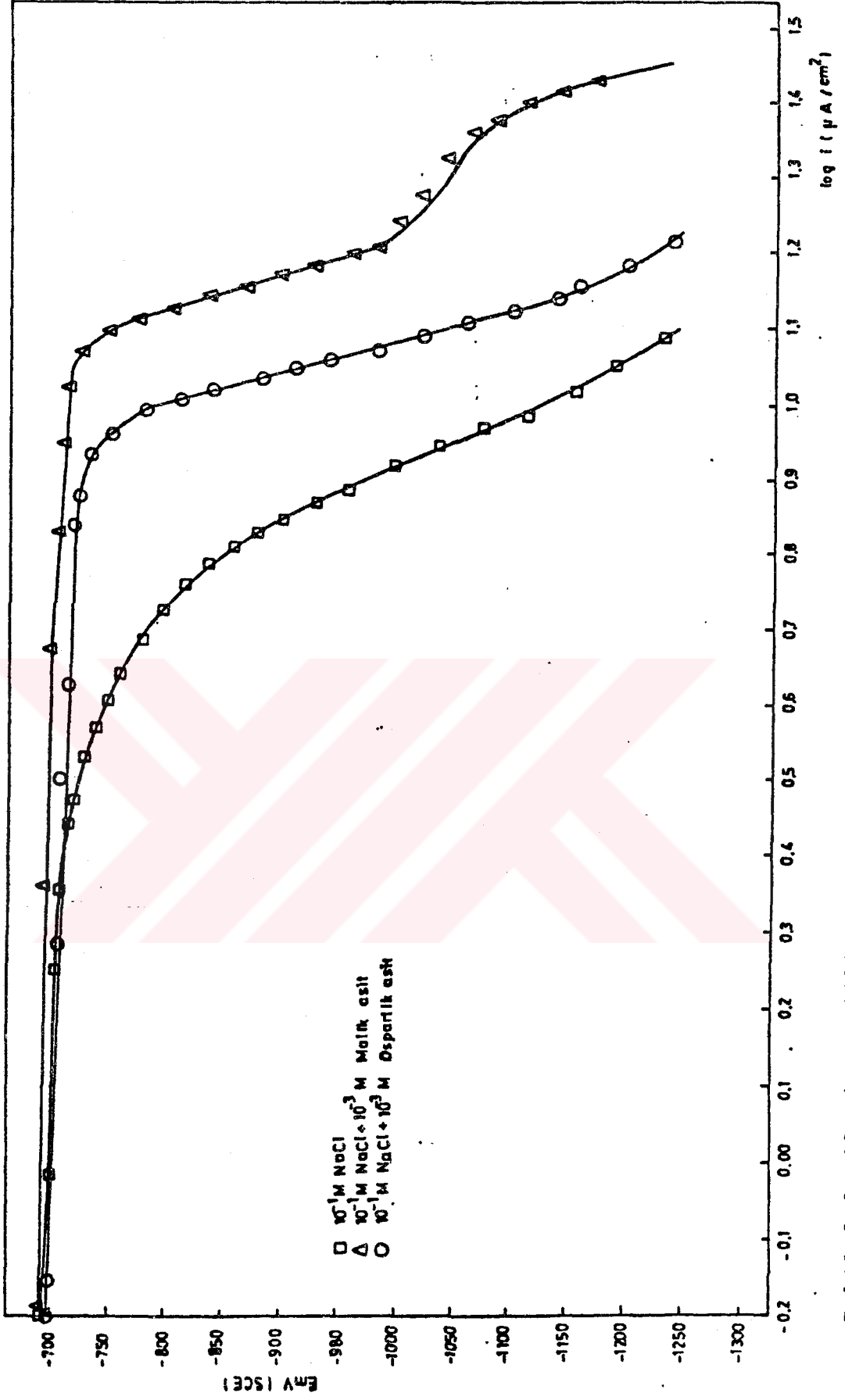
Şekil 9.3. Saf alüminyum için sodyum klorürlü ortamda aspartik asit ve malik asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri



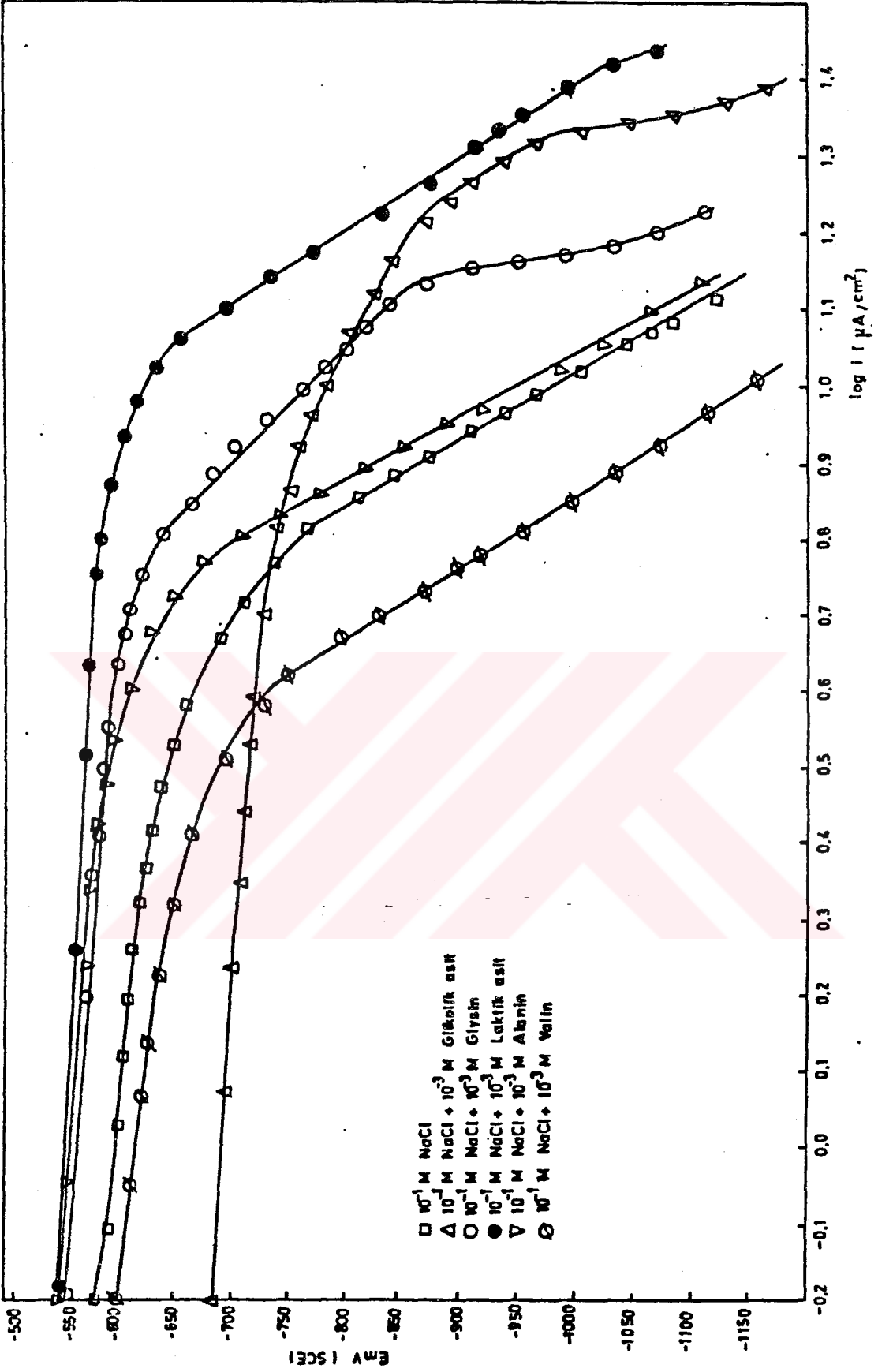
Sekil 9.4. Alüminyum 1100 alışımlı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin ve valin çözeltilerinin polarizasyon eğrileri



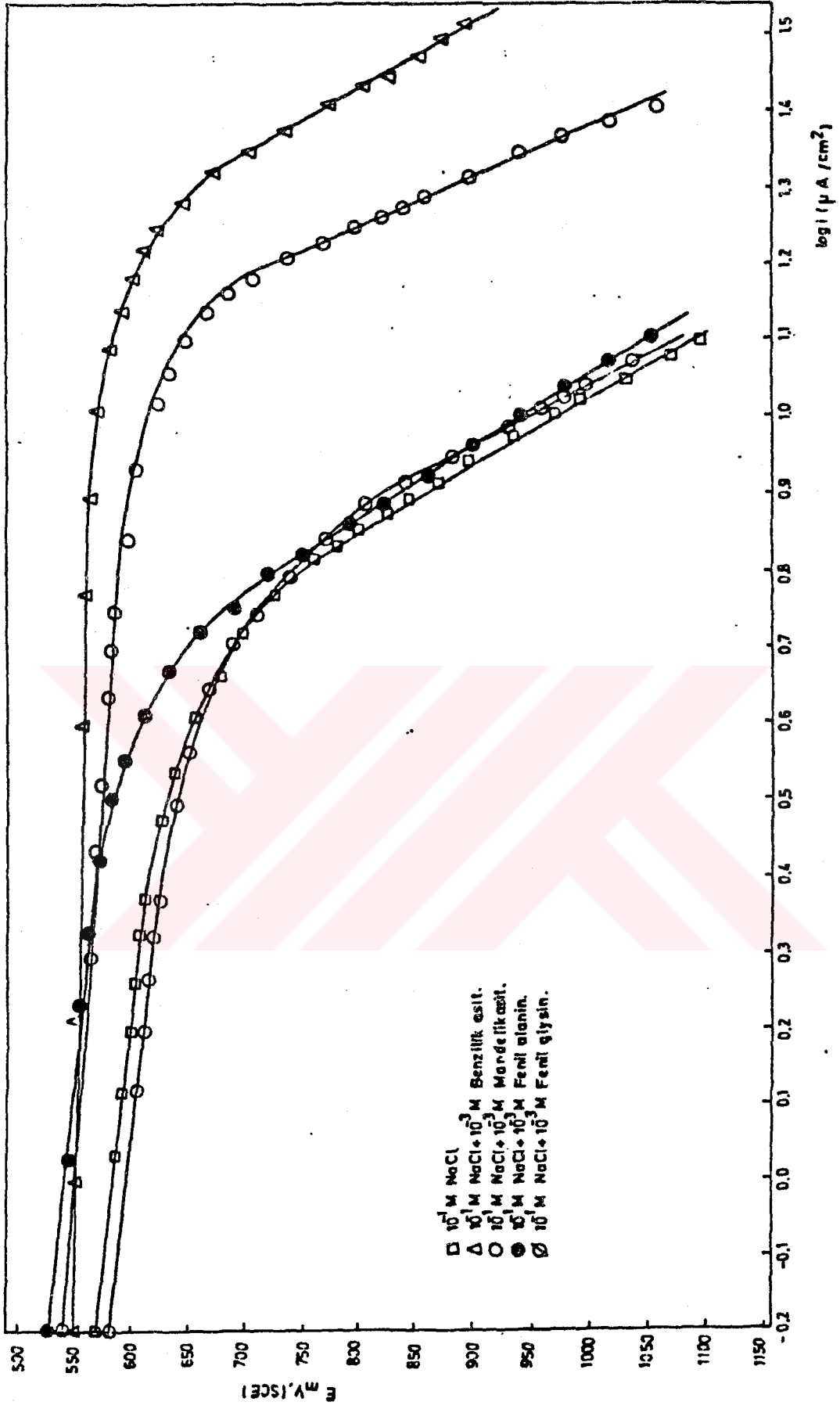
Sekil 9.5. Alüminyum 1100 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin ve benzilic asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri



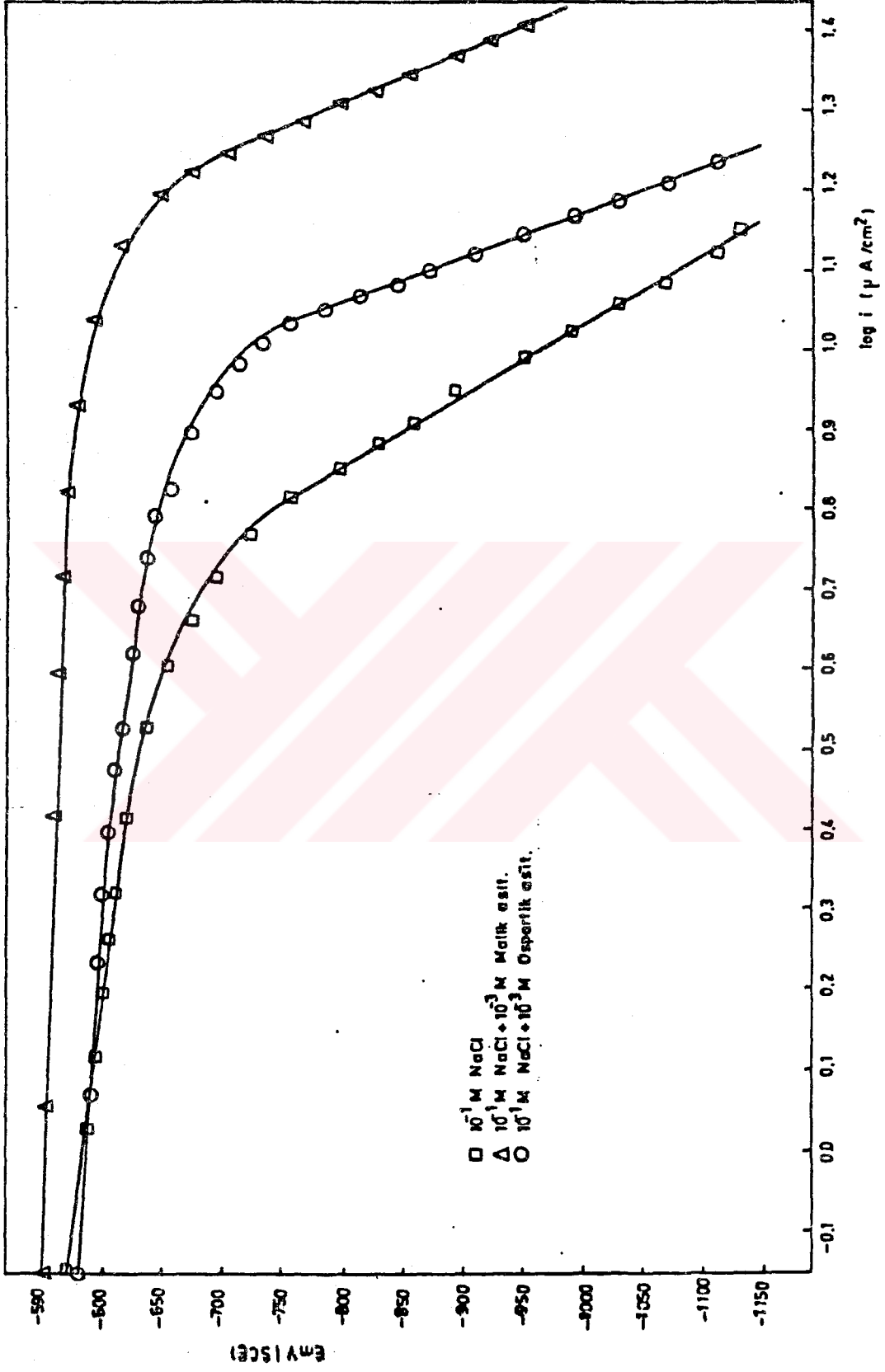
Sekil 9.6. Alüminyum 1100 alaşımları için sodyum klorürlü ortamda aspartik asit ve malik asit çözeltilerinin polari- zasyon eğrileri



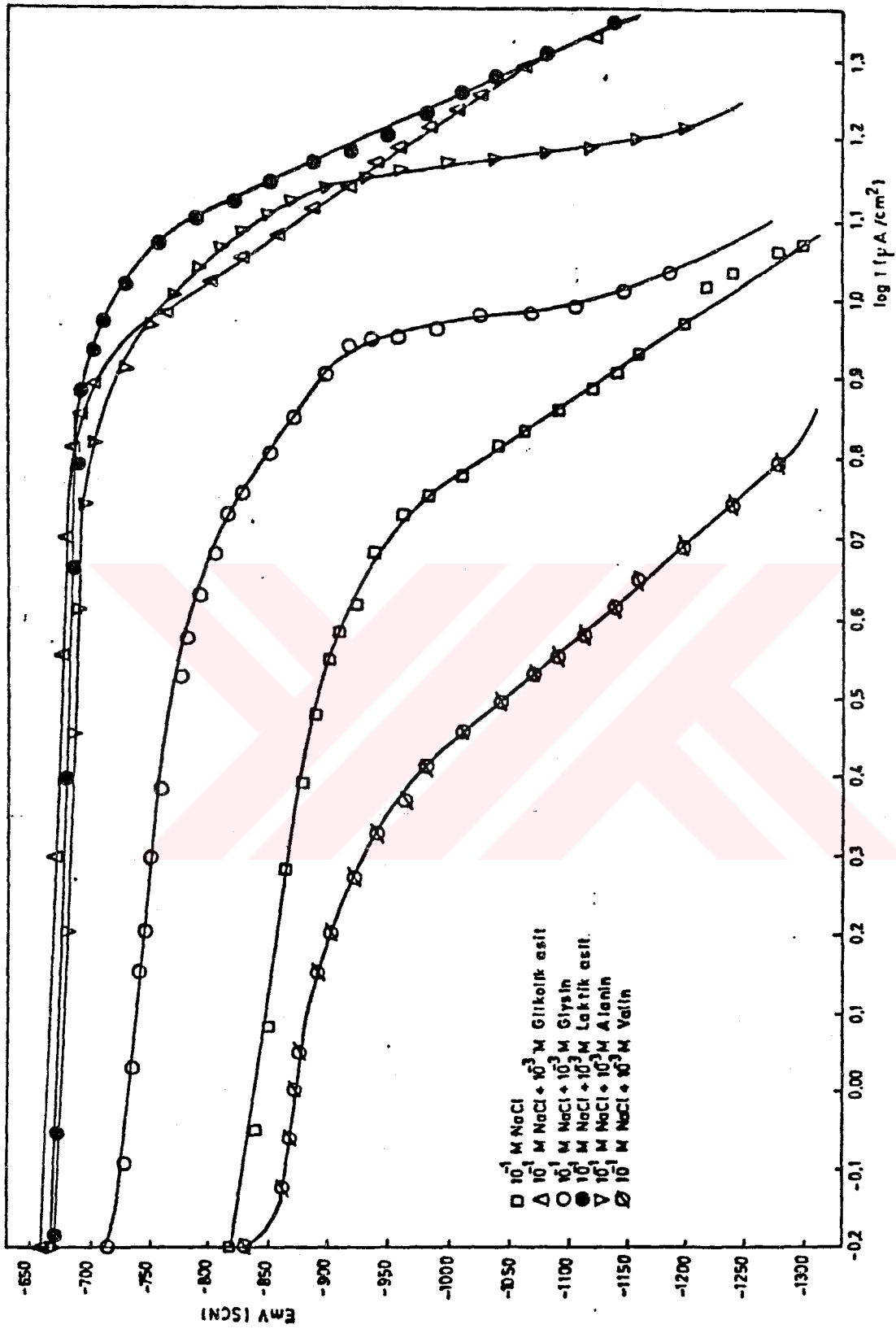
Sekil 9.7. Alüminyum 2024 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda
 Elikolik asit, glisin, laktik asit, alanin ve valin
 çözellilerinin polarizasyon eğrileri



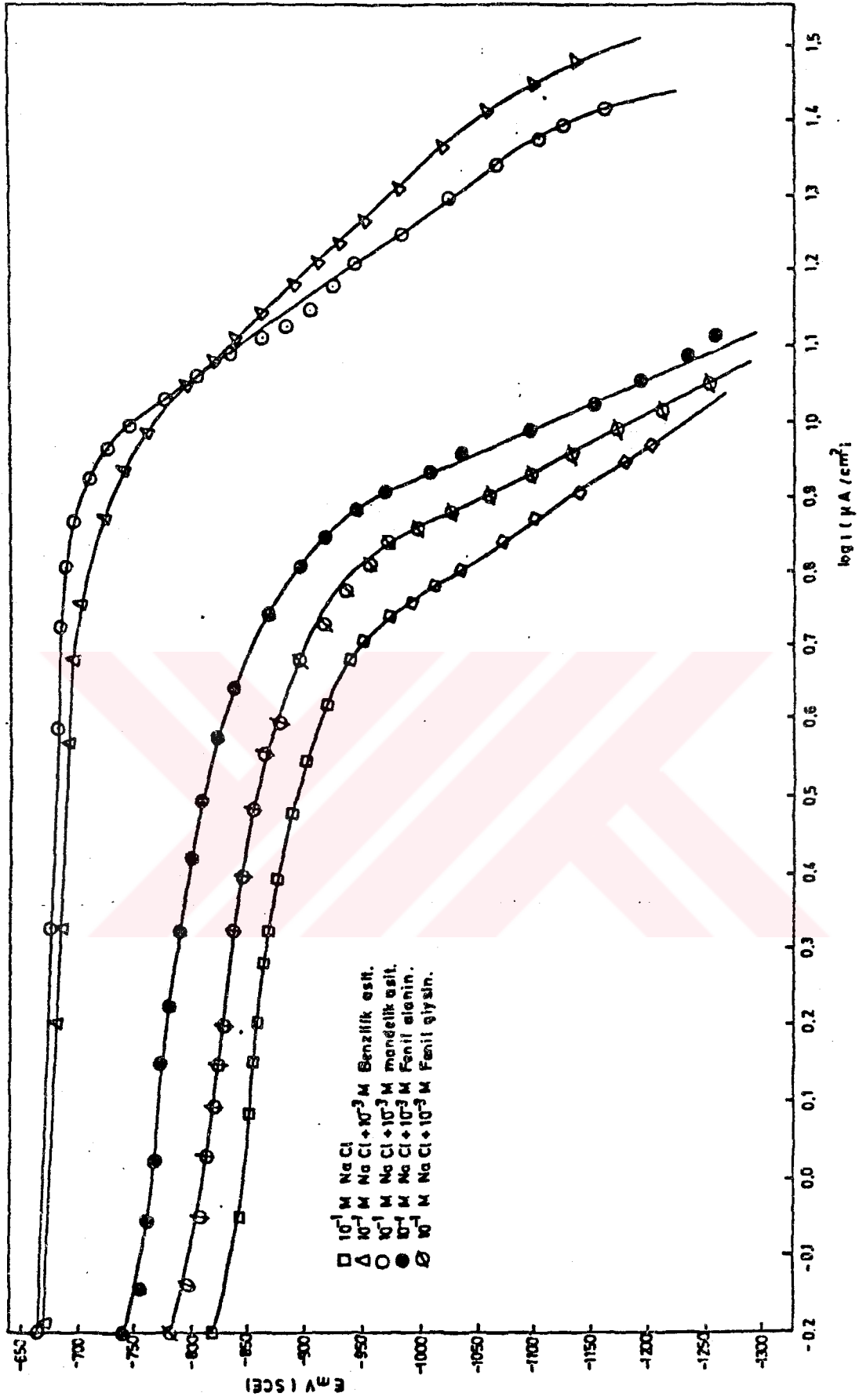
Sekil 9.8. Alüminyum 2024 alaşımı için sodyum klorürü ortamda mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin ve benzoik asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri



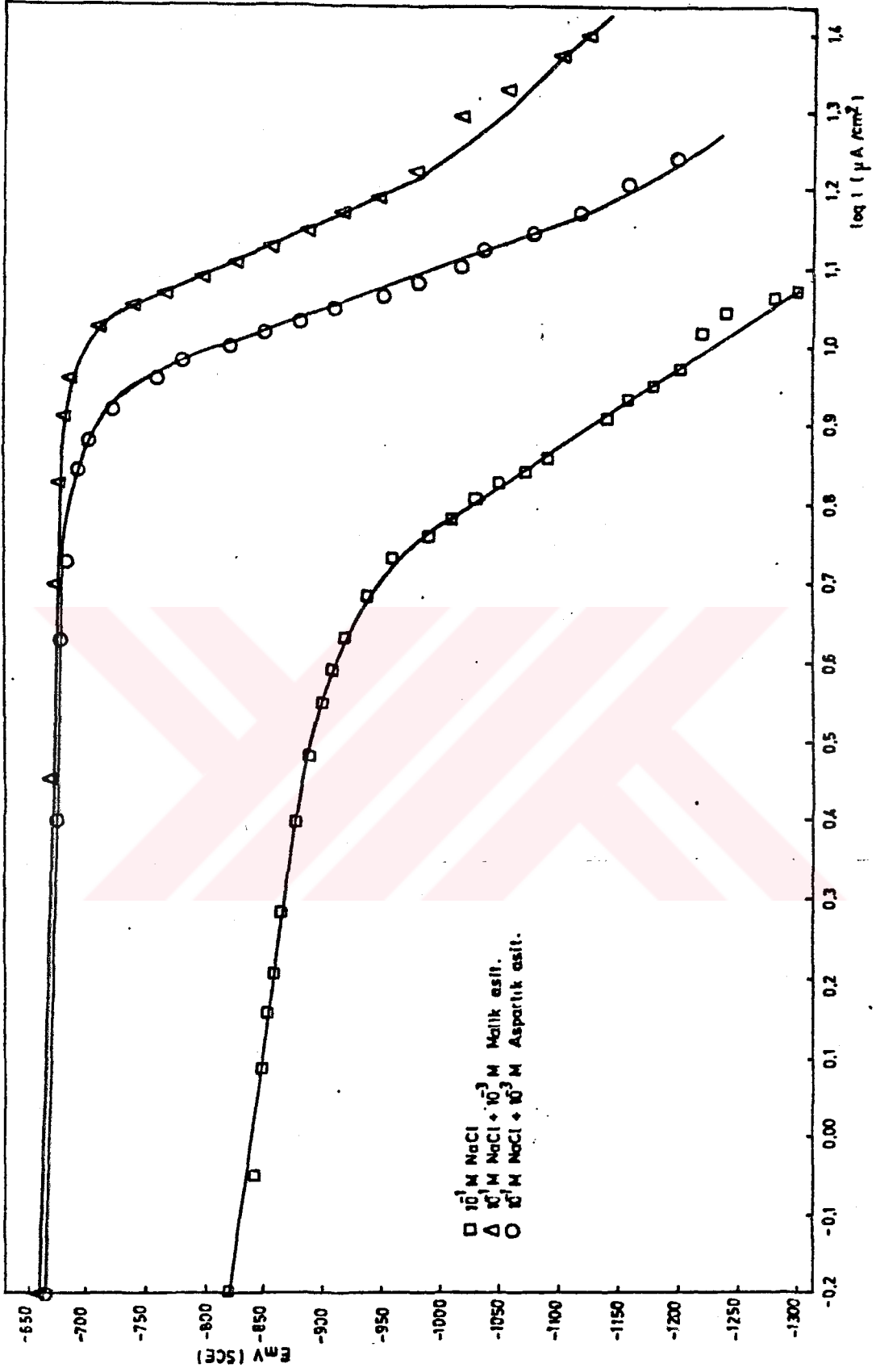
Sekil 9.9. Alüminyum 2024 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda aspartik asit ve malik asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri



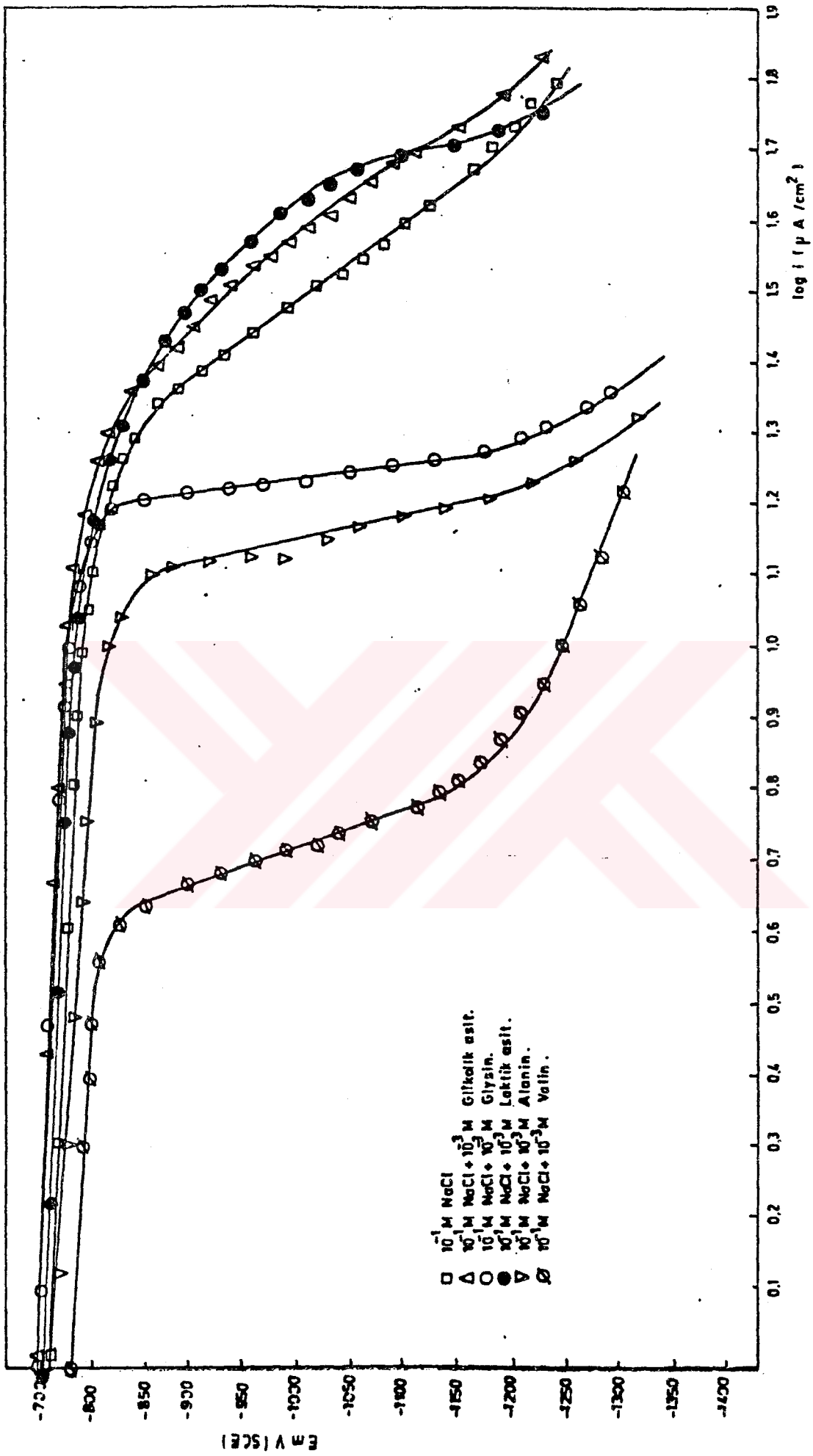
Sekil 9.10. Alüminyum 6061 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin ve valin çözeltilerinin polarizasyon eğrileri



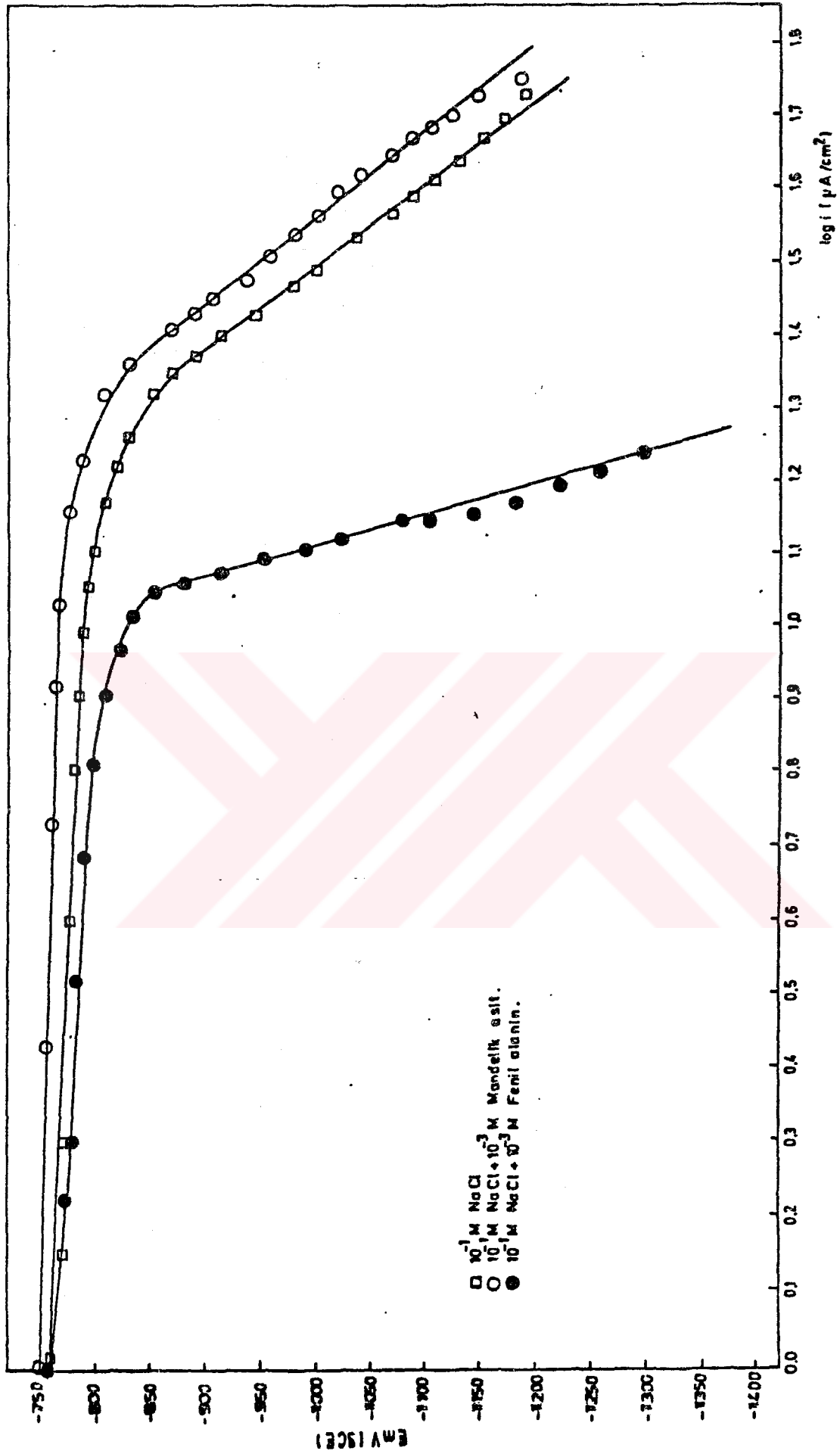
Sekil 9.11. Alüminyum 0061 alaşımlı için sodyum klorürlü ortamda mandelik asit, fenil glisin, fenil alanin ve benzilic asit çözeltilerinin polarizasyon eğrileri



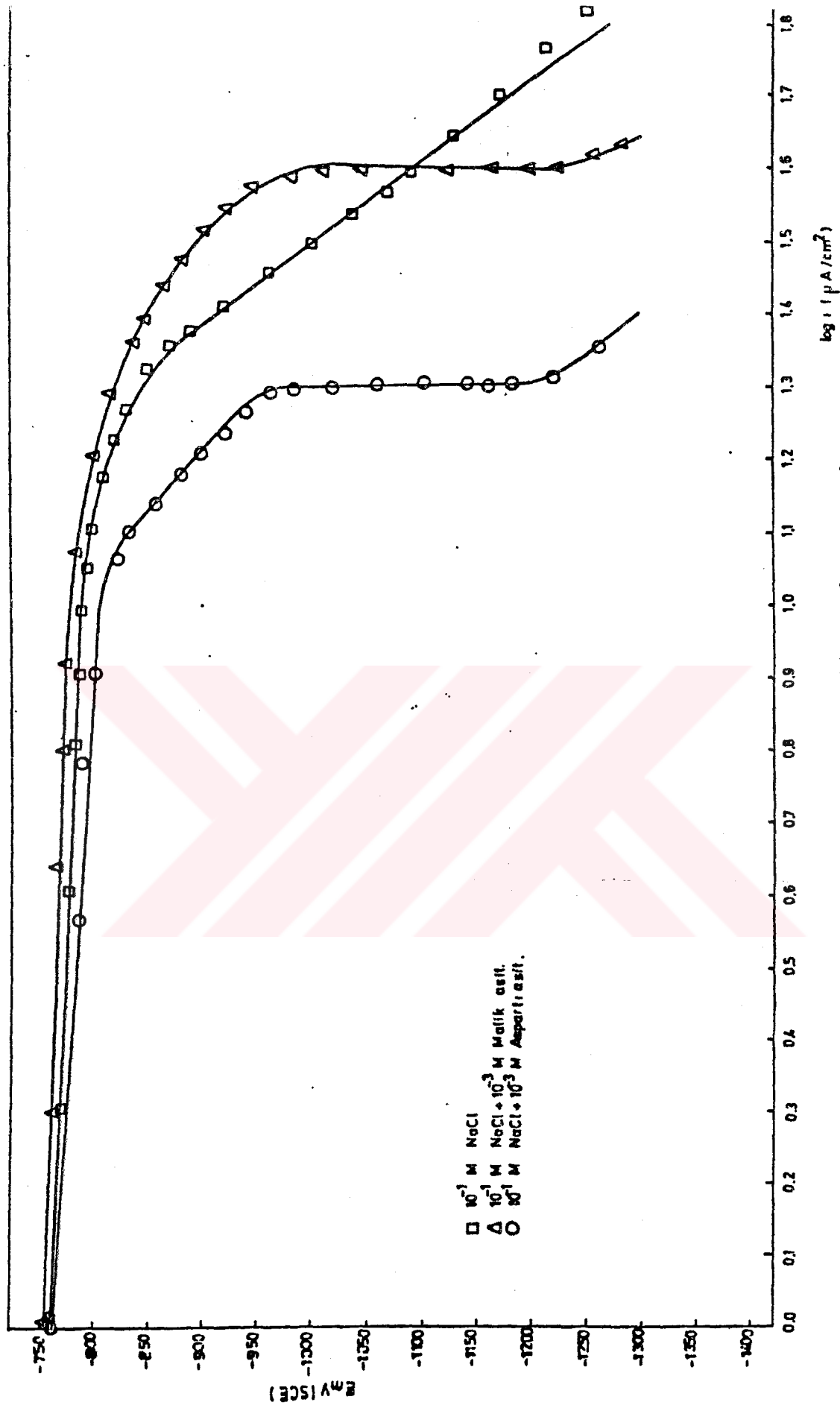
Sekil 9.12. Alüminyum 6061 alayımı için sodyum klorürlü ortamda aspartik asit ve malik asit çözeltilerinin polari- zasyon eğrileri



Sekil 9.13. Alüminyum 7075 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda glikolik asit, glisin, laktik asit, alanin ve valin çözeltilerinin polarizasyon eğrileri



Şekil 9.14. Alüminyum 7075 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda mandelik asit ve fenil alanin çözeltilerinin polarizasyon eğrileri



Sekil 9.15. Alüminyum 7075 alaşımı için sodyum klorürlü ortamda aspartik asit ve malik asit çözeltilerinin polari- zasyon eğrileri

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Agarwala, V.S., 1990, Corrosion, 45, 5, 376-379.
- Berkem, A.R., 1978, Elektrokimya Laboratuvar Uygulaması.
- Berthold, M., and Herrmann, S., 1982, Corrosion, 38, 241 p.
- Chakrabarty, C., Singh, M.M., and Agarwala, C.V., 1983, Corrosion, 39, 2, 481-483.
- Clark, G.C.F., Williams, D.F., 1982, J. Biomed Mater. Res., 16, 125 p.
- Chawla, S.K., Brown, S.A., Merritt, K. and Payer, J.H., 1990, Corrosion, 46, 2, 147-152.
- De Berry, D.W., Wiehback, A., 1988, Corrosion, 44, 5, 299 p.
- Danielson, M.J., 1982, Corrosion, 38, 580 p.
- Doruk, M., 1982, Korozyon ve Önlenmesi, ODTÜ.
- Fouda, A.S., and El-Semongy, M.M., 1982, J. Indian Chem. Soc., 12, 89 p.
- Mueller, H.J., 1987, J. Electrochem. Soc., 134, 3, 575 p
- Mueller, H.J., 1989, Corrosion, 45, 9, 735 p.
- Nişancıoğlu, K., Lunder, O., and Holton, H., 1985, Corrosion, 41, 247 p.
- Pourbaix, 1960, Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions.
- Salvarezza, R.C., de Mele, M.F.L., Videla, H.H., and Goni, F.R., 1983, J. Biomedical Material Research, 19, 1073-1084 p.
- Samuels, B.W., Sotoudeh, K., and Foley, R.T., 1980, Corrosion, 37, 2, 92 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Saraç, A.S., Bereket, G., Gürbüz, R., 1990, Proceedings of the " 7th European Symposium on Corrosion Inhibitors ", Ann. Univ., Ferrara, N.S., Sez.V, Suppl. N.9, 1133 p.

Suare, C.W., Belton, G., and Korostott, E., 1970, J. Biomed. Mater. Res., 4, 457 p.

Üneri, S., 1978, Elektrokimya-I, A.Ü., Fen Fak.

Üneri, S., 1979, Elektrokimya-II, A.Ü., Fen Fak.

Üneri, S., 1981, Korozyon Mühendisliği, SEGEM.

Williams, R.L., Brown, S.A, and Merritt, K., 1988, Biomaterials, 9, 181-185 p.

Wranglen, G., 1985, An Introduction to Corrosion and Protection of Metals.