

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇİNKO-ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLARIN DEĞİŞİK ORTAMLARDAKİ
YORULMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Mak. Yük. Müh. Murat AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Doktor”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

109856

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12.02.2001

Tezin Savunma Tarihi : 23.05.2001

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Mehmet DEMİRKOL

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

Trabzon 2001

ÖNSÖZ

Demir olmayan metallerin çoğundan daha üstün mekanik ve tribolojik özelliklere sahip olan çinko-alüminyum esaslı alaşımlar, kaymalı yatak imalatı başta olmak üzere günümüzde bir çok alanda kullanılmaktadır. Ancak, bu alaşımların özellikle korozyon ortamlarındaki yorulma davranışları hakkında literatürde herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Bu durum bu alaşımlardan imal edilen parçaların dizaynında önemli bir eksiklik olarak kendini göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada, çinko-alüminyum alaşımlarının değişik ortamlardaki yorulma özelliklerinin incelenmesi, kimyasal bileşimin söz konusu alaşımların yorulma özelliklerine etkilerinin belirlenmesi ve bu alaşımların değişik ortamlardaki yorulma ömürlerinin belirlenmesine ilişkin bağıntılar geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, değişik kimyasal bileşimlerde bir dizi çinko-alüminyum esaslı alaşım kokil döküm yöntemiyle üretilerek, laboratuvarında imal edilen dönel eğmeli bir yorulma deney makinası yardımıyla söz konusu alaşımların farklı ortamlardaki yorulma davranışları incelendi ve alaşımların kimyasal bileşimleri ile yorulma özellikleri arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar geliştirildi. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, bu alaşımların değişik ortamlardaki yorulma davranışlarının Basquin bağıntısı ile ifade edilebileceği belirlendi.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde her türlü yardım ve fedakarlığı esirgemeyen, değerli fikir ve tecrübeleriyle bana yol gösteren sayın hocam Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmaya katkılarından dolayı Dr. Celal Durman'a, Dr. Tevfik Küçükömeroğlu'na, K.T.Ü. Müh.-Mim. Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimleri ve Takım Tezgahları Laboratuvarlarında görevli teknisyenlere teşekkür ederim.

Bu çalışma, 97.112.003.18 kod numaralı proje kapsamında K.T.Ü. Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Bu nedenle, adı geçen fon yetkililerine teşekkür ederim.

Murat AYDIN

Mayıs 2001

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa no</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Faz Diyagramları.....	2
1.3. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Mekanik Özellikleri.....	4
1.3.1. Giriş.....	4
1.3.2. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Yorulma Özellikleri.....	7
1.4. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı.....	9
2. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	10
2.1. Alaşımların Üretimi.....	10
2.2. Metalografik İncelemeler.....	10
2.3. Mekanik Deneyler.....	13
2.3.1. Çekme ve Sertlik Deneyleri.....	13
2.3.2. Yorulma Deneyi.....	13
3. BULGULAR.....	19
3.1. Alaşımların Kimyasal Bileşimi.....	19
3.2. Alaşımların İç Yapısı.....	19
3.3. Mekanik Deneylerden Elde Edilen Bulgular.....	25
3.3.1. Sertlik ve Çekme Deneylerinden Elde Edilen Bulgular.....	25
3.3.2. Yorulma Deneyinden Elde Edilen Bulgular.....	26
3.3.2.1. Yorulma Deneylerinden Elde Edilen Verilerin Korelasyonu.....	44
3.3.2.2. Yorulma Örneklerinin Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesinden Elde Edilen Bulgular.....	60
4. İRDELEME.....	67

5.	SONUÇLAR.....	73
6.	ÖNERİLER.....	75
7.	KAYNAKLAR.....	76
8.	ÖZGEÇMİŞ.....	82



ÖZET

Farklı kimyasal bileşimlere sahip bir dizi ikili çinko-alüminyum ve üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımı kokil döküm yöntemiyle üretildi ve üçlü alaşımlardan bazılarında yaşlandırma işlemi uygulandı. Üretilen alaşımların iç yapısı ışık ve elektron mikroskopları ile incelendikten sonra sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri yapılan mekanik deneyler yardımıyla ölçüldü. Bu çalışma için imal edilen bir dönel eğmeli yorulma deney makinası yardımıyla söz konusu alaşımların hava, tuzlu su (%3,5 lik NaCl çözeltisi) ve asit çözeltisi (%1'lik HCl) ortamlarındaki gerilme-çevrim sayısı eğrileri elde edilerek, kimyasal bileşim ve çalışma ortamının bu alaşımların yorulma davranışına etkileri belirlendi.

Yapılan incelemeler sonucunda, korozyon ortamlarının çinko-alüminyum alaşımlarının yorulma dayanımı ve yorulma ömrünü önemli ölçüde düşürdüğü ve özellikle HCl sulu çözelti ortamının bu alaşımların yorulma davranışları üzerinde tuzlu su ortamından daha etkili olduğu görüldü. Hava ortamında en yüksek yorulma ömrü en yüksek çekme mukavemetine sahip ZnAl40Cu2 alaşımından elde edilirken, en düşük yorulma ömrü en düşük sertlik ve mukavemet değerine sahip ZnAl20 alaşımından elde edildi. Çinko-alüminyum alaşımlarının yorulma dayanımı ve yorulma ömrünün hava ortamında artan alüminyum oranı ile arttığı, korozyon ortamlarında ise alüminyum oranı arttıkça azaldığı görüldü. Bakır katkısının sözü edilen alaşımların hava ortamındaki yorulma özelliklerini iyileştirdiği, ancak belirli bir değerin (%2) üzerindeki bakır katkısının bu alaşımların yorulma davranışını olumsuz etkilediği belirlendi. Diğer taraftan bakır katkısının korozyon ortamında söz konusu alaşımların yorulma davranışını fazla etkilemediği görüldü. Ayrıca, ısıl işlem uygulanan üçlü alaşımların sertlik ve mukavemeti önemli ölçüde artarken, yorulma özelliklerinin fazla değişmediği gözlemlendi.

Yapılan korelasyonlar sonucunda çinko-alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimi ile yorulma özellikleri arasında doğru denklemleriyle ifade edilebilen ilişkiler olduğu görüldü. Ayrıca, söz konusu alaşımların hava, tuzlu su ve asidik çözelti ortamlarındaki yorulma davranışlarının Basquin bağıntısı ile ifade edilebileceği belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Çinko-Alüminyum Alaşımları, Yorulma Davranışı, Yorulma Ömrü, Korozyonlu Yorulma, Basquin Bağıntısı.

SUMMARY

Investigation of Fatigue Behavior of Zinc-Aluminum Based Alloys In Different Environments

A series of binary zinc-aluminum and ternary zinc-aluminum-copper alloys were produced by permanent mould casting. Two of the ternary alloys were heat-treated by aging at 100°C. The microstructure of the alloys was examined using optical and electron metalography. Hardness, tensile strength and total elongation of the alloys were determined by hardness measurements and tensile testing. Fatigue properties of the alloys were investigated in air, salt water (3.5% NaCl solution) and acid solution (1% HCl) using a rotating beam fatigue machine which was designed and built for this work. As a result of this work the effect of chemical composition and corrosive environments on the fatigue behavior of the alloys was determined.

The fatigue strength and fatigue life of the zinc-aluminum alloys were found to be very sensitive to corrosive environments. However the acid solution was found to be more effective on the fatigue behavior of the alloys than the salt water. The highest fatigue strength was obtained with the ZnAl40Cu2 alloy while the binary ZnAl20 alloy exhibited the lowest fatigue strength among the alloys in air. The fatigue strength and fatigue life of the alloys increased with increasing aluminum content in air, but in corrosive environments they decreased with increasing aluminum content. It was also found that addition of copper up to 2% increased the fatigue strength and fatigue life of the ZnAl40 alloy in air. However, above this level fatigue strength of the ternary alloys decreased with increasing copper content. On the other hand, the copper addition had a little effect on the fatigue behavior of the alloys in corrosive environments. Although the heat treatment increased the hardness and tensile strength of the ternary alloys greatly, it was found to be not effective on the fatigue behavior of them.

The relationships between the fatigue properties and chemical composition of the alloys were found to be expressed by linear equations. It was also found that Basquin's law can be used to express the fatigue behavior of the zinc-aluminum alloys in the environments used.

Key Words: Zinc-Aluminum Alloys, Fatigue Behavior, Fatigue Life, Corrosion
Fatigue, Basquin's Law.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa no

Şekil 1. İkili çinko-alüminyum faz diyagramı.....	2
Şekil 2. Üçlü Zn-Al-Cu alaşım sistemine ait faz diyagramının 350°C sıcaklığındaki izotermal kesiti.....	3
Şekil 3. Kalıbın şekli ve boyutları.....	11
Şekil 4. Üretilen külçelerden metalografi, sertlik, çekme ve yorulma örneklerinin alındığı bölgeleri gösteren şematik resim. a) Önden görünüm, b) üstten görünüm.....	12
Şekil 5. Yorulma deney makinasının şematik resmi.....	16
Şekil 6. Yorulma makinasının genel görünümü.....	17
Şekil 7. Deney örneğinin kırılması durumunda yorulma makinasının görünümü.....	17
Şekil 8. Yorulma örneğinin şekli ve boyutları.....	18
Şekil 9. ZnAl20 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.....	20
Şekil 10. ZnAl40 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.....	21
Şekil 11. ZnAl60 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.....	21
Şekil 12. ZnAl80 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.....	22
Şekil 13. ZnAl40Cu1 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.....	22
Şekil 14. ZnAl40Cu2 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.....	23
Şekil 15. ZnAl40Cu3 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.....	23
Şekil 16. ZnAl40Cu4 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.....	24
Şekil 17. ZnAl40Cu5 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.....	24
Şekil 18. Çözündürme ve su verme işlemi sonrası 100°C sıcaklıkta 2 saat yaşlandırılan ZnAl40Cu2 alaşımının iç yapısı.....	25
Şekil 19. Dökülmüş durumdaki ikili Zn-Al alaşımlarından hava ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	32
Şekil 20. Dökülmüş durumdaki üçlü Zn-Al-Cu alaşımlarından hava ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	33
Şekil 21. Dökülmüş durumdaki ikili Zn-Al alaşımlarından tuzlu su (%3,5 NaCl içeren su) ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	34

Şekil 22. Dökülmüş durumdaki üçlü Zn-Al-Cu alaşımlarından tuzlu su (%3,5 NaCl içeren su) ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	35
Şekil 23. Dökülmüş durumdaki ikili Zn-Al alaşımlarından % 1'lik HCl sulu çözelti ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	36
Şekil 24. Dökülmüş durumdaki üçlü Zn-Al-Cu alaşımlarından % 1'lik HCl sulu çözelti ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	37
Şekil 25. Dökülmüş durumdaki ZnAl ₂₀ ve ZnAl ₄₀ Cu ₁ alaşımlarından hava ortamında elde edilen verilerdeki saçılmayı gösteren gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	38
Şekil 26. ZnAl ₂₀ alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	39
Şekil 27. ZnAl ₄₀ alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	39
Şekil 28. ZnAl ₆₀ alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	40
Şekil 29. ZnAl ₈₀ alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	40
Şekil 30. ZnAl ₄₀ Cu ₁ alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	41
Şekil 31. ZnAl ₄₀ Cu ₃ alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	41
Şekil 32. ZnAl ₄₀ Cu ₅ alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	42
Şekil 33. Isıl işlem görmüş durumdaki üçlü ZnAl ₄₀ Cu ₁ ve ZnAl ₄₀ Cu ₂ alaşımlarından hava ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	42
Şekil 34. Dökülmüş ve ısıl işlem görmüş durumdaki ZnAl ₄₀ Cu ₁ ve ZnAl ₄₀ Cu ₂ alaşımlarından hava ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri.....	44
Şekil 35. Alüminyum oranının ikili Zn-Al alaşımlarının hava ortamındaki yorulma dayanımına etkisi.....	48
Şekil 36. Alüminyum oranının ikili Zn-Al alaşımlarının hava ortamındaki yorulma ömrüne etkisi.....	49
Şekil 37. Bakır oranının ZnAl ₄₀ alaşımının hava ortamındaki yorulma dayanımına etkisi.....	49

Şekil 38. Bakır katkısının ZnAl40 alaşımının hava ortamındaki yorulma ömrüne etkisi.....	50
Şekil 39. Alüminyum oranının ikili çinko-alüminyum alaşımlarının % 3,5'lik NaCl ortamındaki yorulma dayanımına etkisi.....	50
Şekil 40. Alüminyum oranının ikili çinko-alüminyum alaşımlarının % 3,5'lik NaCl ortamındaki yorulma ömrüne etkisi.....	51
Şekil 41. Bakır katkısının ZnAl40 alaşımının, %3,5'lik NaCl ortamındaki yorulma dayanımına etkisi.....	51
Şekil 42. Bakır katkısının ZnAl40 alaşımının, %3,5'lik NaCl ortamındaki yorulma ömrüne etkisi.....	52
Şekil 43. Alüminyum oranının ikili çinko-alüminyum alaşımlarının %1'lik HCl sulu çözelti ortamındaki yorulma dayanımına etkisi.....	52
Şekil 44. Alüminyum oranının ikili çinko-alüminyum alaşımlarının %1'lik HCl sulu çözelti ortamındaki yorulma ömrüne etkisi.....	53
Şekil 45. Bakır katkısının ZnAl40 alaşımının %1'lik HCl sulu çözelti ortamındaki yorulma dayanımına etkisi.....	53
Şekil 46. Bakır katkısının ZnAl40 alaşımının %1'lik HCl sulu çözelti ortamındaki yorulma ömrüne etkisi.....	54
Şekil 47. Dökülmüş durumdaki alaşımlardan hava ortamında elde edilen log N – log σ diyagramları.....	56
Şekil 48. Dökülmüş durumdaki alaşımlardan %3,5'lik NaCl ortamında elde edilen log N – log σ diyagramları.....	57
Şekil 49. Dökülmüş durumdaki alaşımlardan %1'lik HCl sulu çözelti ortamında elde edilen log N – log σ diyagramları.....	58
Şekil 50. Isıl işlem görmüş durumdaki üçlü ZnAl40Cu1 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarından hava ortamında elde edilen log N – log σ eğrileri.....	59
Şekil 51. Hava ortamında, 120 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	62
Şekil 52. Hava ortamında, 197 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	62

Şekil 53. Hava ortamında, 120 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan yaşlandırılmış durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	63
Şekil 54. Hava ortamında, 197 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan yaşlandırılmış durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	63
Şekil 55. % 3,5'lik NaCl sulu çözelti ortamında, 87 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	64
Şekil 56. % 3,5'lik NaCl sulu çözelti ortamında, 164 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	64
Şekil 57. % 1'lik HCl sulu çözelti ortamında, 76 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	65
Şekil 58. % 1'lik HCl sulu çözelti ortamında, 109 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	65
Şekil 59. Hava ortamında, 87 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40 alaşımında yorulma sonucunda oluşan duraklama çizgilerinin SEM görüntüsü.....	66

TABLolar DİZİNİ

Sayfa no

Tablo 1. İkili çinko-alüminyum alaşım sisteminde meydana gelen faz dönüşümleri.....	3
Tablo 2. Çinko-alüminyum-bakır alaşım sisteminde meydana gelen faz dönüşümleri....	4
Tablo 3. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ile bazı ticari alaşımların mekanik özellikleri.....	6
Tablo 4. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ile bazı ticari alaşımların yorulma özellikleri.....	8
Tablo 5. Alaşımların kimyasal bileşimi.....	19
Tablo 6. Üretilen çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri.....	26
Tablo 7. Hava ortamında yapılan yorulma deneylerinden elde edilen veriler.....	29
Tablo 8. % 3,5'lik NaCl sulu çözelti ortamında yapılan yorulma deneylerinden elde edilen veriler.....	30
Tablo 9. % 1'lik HCl sulu çözelti ortamında yapılan yorulma deneylerinden elde edilen veriler.....	31
Tablo 10. Korozyon ortamlarının alaşımların yorulma dayanımına etkisi.....	43
Tablo 11. Dökülmüş ve ısıl işlem görmüş durumlardaki çinko-alüminyum alaşımlarından farklı ortamlarda elde edilen k ve c sabitleri.....	60

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

1930'lu yıllarda geliştirilmeye başlanılan çinko-alüminyum esaslı alaşımlar günümüzde pek çok mühendislik alanında kullanılmaktadır [1,2,3]. Bu alaşımlar üzerinde özellikle 1970'li yıllarda yapılan yoğun çalışmalar sonucunda ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 ticari isimli alaşımlar geliştirilmiştir [4,5]. Yüksek çekme dayanımı ve üstün aşınma direncine sahip olan ZA-27 alaşımı kaymalı yatak üretiminde bronzun yerini almış bulunmaktadır [1-6]. Son yıllarda yapılan çalışmalar, düşük oranlardaki bakır ve silisyum katkılarının söz konusu alaşımların döküm ve mekanik özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir [7,8,9]. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlarda meydana gelen faz dönüşümleri son zamanlarda ayrıntılı bir biçimde incelenerek kararlı iç yapılar elde etmek için uygulanması gereken ısı işlemler belirlenmiştir [10]. Diğer taraftan uygun termomekanik işlemlerle süperplastiklik özelliği kazandırılan ötektoid bileşimdeki çinko-alüminyum alaşımlarının metal şekillendirme endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılabilmesi ortaya konulmuştur [10].

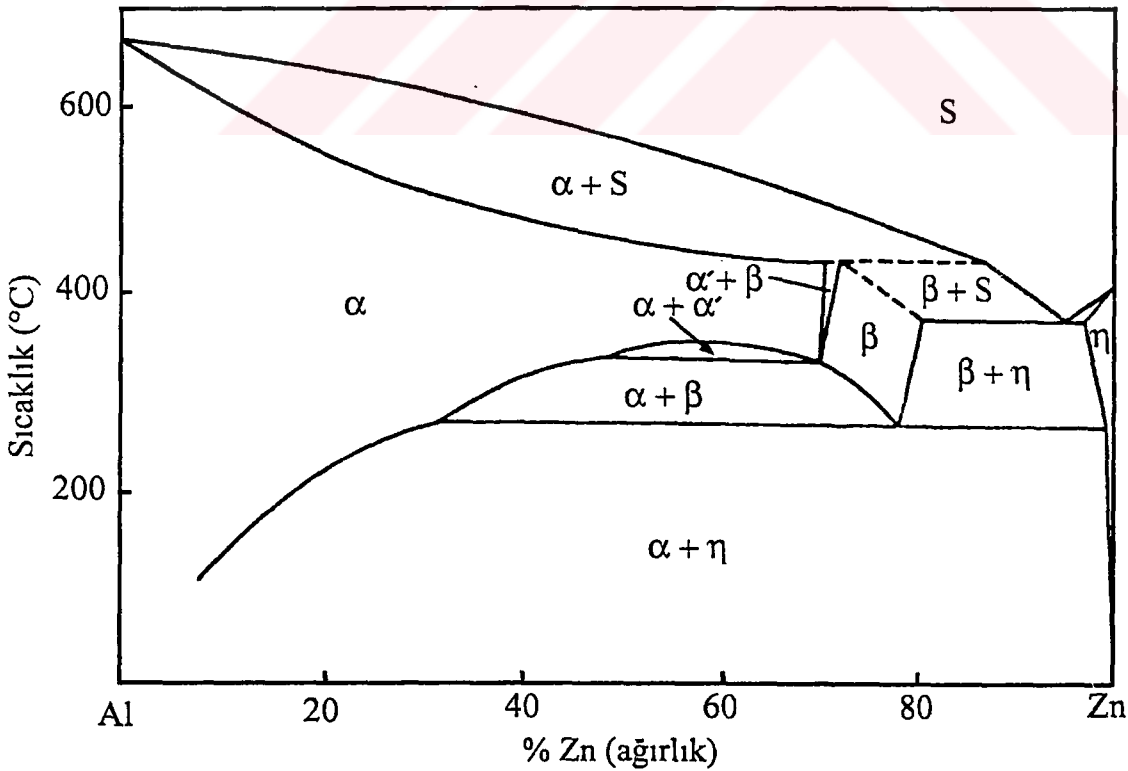
Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar demir olmayan bazı metallere göre pek çok üstünlüklere sahiptir [1,2,11]. Bu üstünlüklerin başında ideal döküm özelliklerine ve düşük ergime noktasına sahip olmaları, ısı işleme elverişli olmaları, döküm sonrası az bir ilave işlem gerektirmeleri, özgül mukavemetlerinin (mukavemet/yoğunluk) ve aşınma dayanımlarının yüksek olması ve alaşım elementlerinin kolay ve ucuza temin edilebilmesi yani ekonomik olmaları gelmektedir [2,11]. Bununla birlikte çalışma sıcaklığının sınırlı olması, darbe direncinin düşük olması ve düşük ergime noktası nedeniyle yüksek sıcaklıklardaki mukavemet değerlerinin düşük olması bu alaşımların kullanımını kısıtlayan etkenlerin başında gelmektedir [11]. Bu hususlar, araştırmacıları sözü edilen alaşımlar için en uygun bileşim oranını ve ısı işlemlerini belirlemeye yöneltmiştir.

Günümüzde çinko-alüminyum esaslı alaşımlar genel olarak iş makinaları, vites kutusu, torna tezgahı, taş kırma makinası ve madencilikte kullanılan düşük hızlı araçların kaymalı yataklarında, hidrolik kaldırma silindirlerinde, su pompalarında, matbaa makinalarında, kapı kolu imalatı ve süs eşyaları yapımında, tekstil ve otomobil sanayi gibi bir çok mühendislik alanında kullanılmaktadır [11-14]. Ancak, söz konusu

alaşımların hava ortamındaki yorulma davranışı hakkında literatürde yeterli bilgi olmadığı gibi, değişik korozyon ortamlarındaki yorulma davranışı hakkında hiç bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu özelliklerin incelenmesi, söz konusu alaşımlardan üretilen parçaların tasarımı ve kullanım ömürlerinin belirlenmesinde yararlı olabilir.

1.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Faz Diyagramları

İkili çinko-alüminyum faz diyagramı Şekil 1’de verilmiştir [15]. Bu diyagramdaki α alüminyumca zengin, η ise çinkoca zengin faz bölgelerini göstermektedir. Çinko, alüminyum içerisinde % 83 oranına kadar çözünerek yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip, α , α' ve β olarak adlandırılan üç değişik faz bölgesi oluşturmaktadır. Bu fazların her biri yavaş soğuma sonucunda kararlı çinko ve alüminyum fazlarına dönüşür. Bu fazların her birinin hızlı soğuması sonucunda aşırı doymuş katı çözelti elde edilir ve sonradan uygulanan yaşlandırma işlemi sırasında bir takım geçiş fazları oluşur [16,17,18]. İkili çinko-alüminyum alaşım sisteminde dengeli soğuma sırasında meydana gelen faz dönüşümleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1. İkili çinko-alüminyum faz diyagramı [12,15].

Tablo 2. Çinko-alüminyum-bakır alaşım sisteminde meydana gelen faz dönüşümleri [7,17].

Dönüşüm	Sıcaklık (°C)
$T' + \beta \rightleftharpoons \alpha + \varepsilon$	288
$\beta \rightleftharpoons \alpha + \eta$	275
$\beta + \varepsilon \rightleftharpoons \alpha + \eta$	276
$\alpha + \varepsilon \rightleftharpoons T' + \eta$	268

Çinko-alüminyum-silisyum alaşım sistemindeki önemli faz dönüşümleri Zhu ve arkadaşları [22] tarafından elektron mikroskobu ve X-ışınları difraksiyonu yardımıyla yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir.

1.3. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Mekanik Özellikleri

1.3.1. Giriş

Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar, demir olmayan bir çok metalden ve dökme demirden daha yüksek mukavemete sahiptir [12]. Bazı ticari çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri Tablo 3'de verilmiştir. Bu tablo ZA-27 alaşımının ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarından daha yüksek sertlik ve mukavemet değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, basınçlı döküm yöntemiyle üretilen ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarının diğer döküm yöntemleriyle üretilen ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarından daha yüksek sertlik ve mukavemete sahip olduğu, ZA-27 alaşımının sertlik ve mukavemetinin ise döküm yöntemine göre pek değişmediği görülmektedir. Isıl işlem ZA-27 alaşımının sertlik ve mukavemetini düşürmekte, kopma uzaması değerini ise artırmaktadır. Ayrıca, söz konusu tabloda verilen bütün çinko-alüminyum alaşımlarının SAE 660 bronzundan daha yüksek sertlik ve mukavemete ve genel makina imalatında kullanılan lamel grafitli dökme demirden de daha yüksek çekme dayanımı ve kopma uzamasına sahip olduğu görülmektedir.

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların akma ve çekme dayanımı ile sertliğinin artan sıcaklıkla azaldığı, kopma uzamasının ise arttığı görülmüştür [16]. Bu alaşımların sertlik ve çekme dayanımının artan alüminyum oranı ile arttığı belirlenmiştir [4,23,24]. Yapılan araştırmalar sonucunda, çinko-alüminyum esaslı alaşımların sertlik ve mukavemetini artırmak için uygulanabilecek en uygun yöntemin alaşım elementi katma olduğu belirlenmiştir [25,26]. Düşük oranlardaki bakır, magnezyum ve silisyum katkıları bu alaşımların mukavemet değerlerini önemli ölçüde artırmaktadır [2,20,26]. Özellikle % 2 oranına kadar katılan bakır ikili alaşımların mukavemet, korozyon, aşınma ve sürünme dayanımını büyük ölçüde artırmakla birlikte boyutsal kararsızlık probleminde de yol açmaktadır [20,27,29]. % 2 değerinin üzerindeki bakır katkısının bu alaşımların mukavemetini artırmadığı, aksine düşürdüğü görülmüştür [27]. Bu nedenle, bakır katkısının % 3 değerinin altında tutulması tavsiye edilmektedir [20,29]. Düşük oranlardaki silisyum katkısı ise mukavemet değerlerini bakır kadar artırmamakla birlikte aşınma direncini büyük ölçüde iyileştirmektedir [2]. Yapılan araştırmalar [18] Bi, Ti, Zr, La ve Ce gibi katkıların bu alaşımların tane boyutunu küçülterek mukavemet değerlerini yükselttiğini göstermiştir.

Ticari çinko-alüminyum alaşımlarının, saf alüminyum ile bazı alüminyum alaşımlarından daha yüksek darbe dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir [12]. ZA-27 alaşımının darbe direnci ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarının darbe dirençlerinden çok daha yüksektir [12].

Boyutsal kararlılık sağlamak için çinko-alüminyum esaslı alaşımlara uygulanan stabilizasyon işlemi bu alaşımların mukavemetini önemli ölçüde düşürmektedir [2,29]. Ayrıca, söz konusu alaşımların sertlik ve mukavemetinin çökelme sertleştirme yöntemiyle önemli ölçüde artırılacağı görülmüştür [25,26].

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların ergime sıcaklıklarının düşük ve katılaşma aralıklarının oldukça geniş olması, iç yapıda gözeneklerin (mikroboşluk) oluşmasına neden olmaktadır [4,30]. Katılaşma sırasında iç yapıda oluşan gözenekler alaşımların mukavemet değerlerini önemli ölçüde düşürmektedir [4,30]. Bu nedenle, döküm sırasındaki katılaşmaya etki eden döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve katılaşma hızı gibi faktörlerin kontrol edilerek gözenek oluşumunun önlenmesi ya da en aza indirilmesinde büyük yararlar vardır.

Tablo 3. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlarla bazı ticari alaşımların mekanik özellikleri [12].

Mekanik Özellikler	ZA-8				ZA-12				ZA-27				Dökme demir	Bronz
	Kum döküm	Kokil döküm	Basinçli döküm	Kum döküm	Kum döküm	Kokil döküm	Basinçli döküm	Kum döküm	Kum döküm	Kokil döküm	Basinçli döküm	Kum döküm *		
Çekme dayanımı (MPa)	263	240	374	299	328	404	421	441	426	318	241	SAE 660		
% 0,2'lik akma dayanımı (MPa)	198	208	290	211	268	320	371	376	371	257	124	124		
Kopma uzaması, %	1,7	1,3	8	1,5	2,2	5	4,6	2,5	2,5	9,4	20	20		
Sertlik (BSD)	85	87	103	94	89	100	113	114	119	94	170-269	65		
Darbe enerjisi (J)	20	-	42	25	-	29	48	-	13	58	100	100		
Young modülü (GPa)	85,5	85,5	85,5	82,7	82,7	82,7	77,9	77,9	77,9	89,6	100	77,9		

(* 321 °C sıcaklıkta 3 saat tutulmuş ve fırında soğutulmuş)

1.3.2. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Yorulma Özellikleri

Makina elemanlarında çalışma sırasında meydana gelen hasarların % 80 veya daha fazlasının yorulmadan kaynaklandığı bilinmektedir [31,32,33]. Bu durum, tekrarlı gerilme etkisi altında çalışan parçaların tasarımında yorulma olayının dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların yorulma özellikleri hakkında literatürde yeterli bilgi bulunmamakla birlikte ticari ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 alaşımlarının değişik döküm şartlarındaki yorulma dayanımı değerleri Tablo 4’de verilmiştir [12]. Bu tablodaki yorulma dayanımı değerleri oda sıcaklığında ölçülen değerler olup, 5×10^8 ’lik çevrim sayısına karşılık gelmektedir. Bu değerler 10.000 dev./dak.’lık sabit dönme hızında çalışan dönel eğmeli yorulma deney makinasında ASTM E446 test yöntemi kullanılarak yapılan deneylerden elde edilmiştir.

Tabloda görüldüğü gibi alüminyum oranı arttıkça alaşımların yorulma dayanımı değerleri artmakta [12,24,34] ve döküm yöntemi alaşımların yorulma davranışlarını büyük ölçüde etkilemektedir [12]. Şöyle ki; basınçlı döküm yöntemiyle üretilen ZA-8 alaşımının yorulma dayanımı kokil döküm yöntemiyle üretilen ZA-8 alaşımının yorulma dayanımının hemen hemen iki katına eşit olup, kum döküm yöntemiyle üretilen ZA-27 alaşımı basınçlı döküm yöntemiyle üretilen ZA-27 alaşımından daha yüksek yorulma dayanımına sahiptir. Kokil döküm yöntemiyle üretilen çinko-alüminyum esaslı alaşımlarda, basınçlı döküm yöntemiyle üretilen alaşımlara göre daha fazla gözenek oluştuğu bilinmektedir [35]. Söz konusu gözenekler, yorulma çatlaklarının oluşmasında önemli bir etken olarak ortaya çıkmakta ve alaşımların yorulma ömürlerini düşürmektedir [37]. Ayrıca, basınçlı döküm yöntemiyle üretilen bütün alaşımlar ile kum döküm yöntemiyle üretilen ZA-12 ve ZA-27 alaşımlarının lamel grafitli dökme demirden, basınçlı döküm yöntemiyle üretilen ZA-12 ve ZA-27 alaşımlarının da SAE 660 bronzundan daha yüksek yorulma dayanımına sahip oldukları ve ısıl işlemin ZA-27 alaşımının yorulma dayanımını düşürdüğü görülmektedir.

Başka bir çalışmada, çinko-alüminyum esaslı alaşımların sertlik ve mukavemeti arttıkça, yorulma ömrünün arttığı görüldü [23,24,34]. Ayrıca, düşük oranlardaki silisyum katkısının Zn-Al-Cu alaşımlarının yorulma ömrünü az da olsa artırdığı gözlemlendi [23,24].

Tablo 4. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ile bazı ticari alaşımların yorulma özellikleri [12].

Alaşım	Döküm yöntemi	Yorulma dayanımı (MPa)
ZA-8	Kum döküm	
	Kokil döküm	52
	Basınçlı döküm	103
ZA-12	Kum döküm	103
	Kokil döküm	-
	Basınçlı döküm	117
ZA-27	Kum döküm	172
	Kum döküm*	103
	Basınçlı döküm	145
Dökme demir (lam.graf.)	-	97
Bronz (SAE 660)	Kum döküm	110

(* Isıl işlem görmüş durumda)

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların değişik korozyon ortamlarındaki yorulma davranışları hakkında literatürde herhangi bir bilgiye rastlanılmamış, ancak bileşimi söz konusu alaşımlara yakın olan ticari 7017 alüminyum (Al-%5.0Zn-%2.4Mg), 7050 alüminyum (Al-%6.2Zn-%2.3Cu-%2.25Mg) ve 7075 alüminyum (Al-%5.1Zn-%1.2Cu-%2.1Mg) alaşımlarının değişik korozif ortamlardaki yorulma özellikleri incelenmiştir [37,38,39].

Yapılan çalışmalar, korozyon ortamının çatlak oluşumunu kolaylaştırıp, ilerleme hızını artırarak söz konusu alaşımların yorulma dayanımı ve yorulma ömrünü önemli ölçüde azalttığını göstermiştir [37,38]. Gerilmeli ve tanalerarası korozyona duyarlı olmaları bu alaşımların korozif ortamlarda kullanımlarını büyük ölçüde kısıtlamaktadır [39]. Ayrıca, tuzlu su (% 5 ve % 3,5'lik NaCl) ortamının 7000 serisi alüminyum alaşımlarının da çatlak ilerleme hızını artırdığı ve bunların yorulma dayanımını düşürdüğü belirlenmiştir [37,38]. Tuzlu su ortamındaki yorulma sonucunda kırılan örneğin kırık yüzeyinin, hava ortamındaki yorulma sonucunda kırılan örneğin kırık yüzeyinden daha düzgün ve pürüzsüz bir görünüm sergilediği gözlenmiştir [38].

1.4. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Kaymalı yatak imalatı başta olmak üzere günümüzde pek çok alanda kullanılan çinko-alüminyum esaslı alaşımlar, demir olmayan metallerin çoğundan daha üstün mekanik ve tribolojik özelliklere sahiptir. Ayrıca, söz konusu alaşımların üretiminde kullanılan elementler kolay ve ucuza temin edilebilmektedir. Öte yandan bu alaşımların kullanımını kısıtlayan faktörlerin başında, yüksek sıcaklıklarda mukavemet değerlerinde meydana gelen azalma ve özellikle bakır içeren alaşımlarda ortaya çıkan boyutsal karasızlık problemi gelmektedir. Söz konusu sorunların, kimyasal bileşimin iyi ayarlanması ve uygun ısı işlem uygulamak suretiyle büyük ölçüde giderilebileceği belirlenmiştir. Kimyasal bileşim ve döküm yönteminin çinko-alüminyum esaslı alaşımların mekanik özellikleri ve özellikle yorulma davranışı üzerinde çok etkili olduğu görülmüştür. Alüminyum oranı arttıkça bu alaşımların yorulma dayanımı ve yorulma ömrünün arttığı belirlenmiştir.

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların değişik ortamlardaki yorulma davranışları hakkında literatürde yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu durum, bu alaşımlardan üretilen edilen parçaların ve makina elemanlarının tasarımında önemli bir eksiklik olarak kendini göstermektedir. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı çinko-alüminyum alaşımlarının hava, tuzlu su ve hidroklorik asit çözeltisi gibi değişik ortamlardaki yorulma davranışlarını incelemek, kimyasal bileşim ve ısı işleminin söz konusu alaşımların yorulma özelliklerine etkilerini belirlemek ve bu alaşımlardan üretilen makina parçalarının ve yapı elemanlarının yorulma ömürlerinin belirlenmesine ilişkin bağıntı geliştirmeye çalışmaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Alaşımların Üretimi

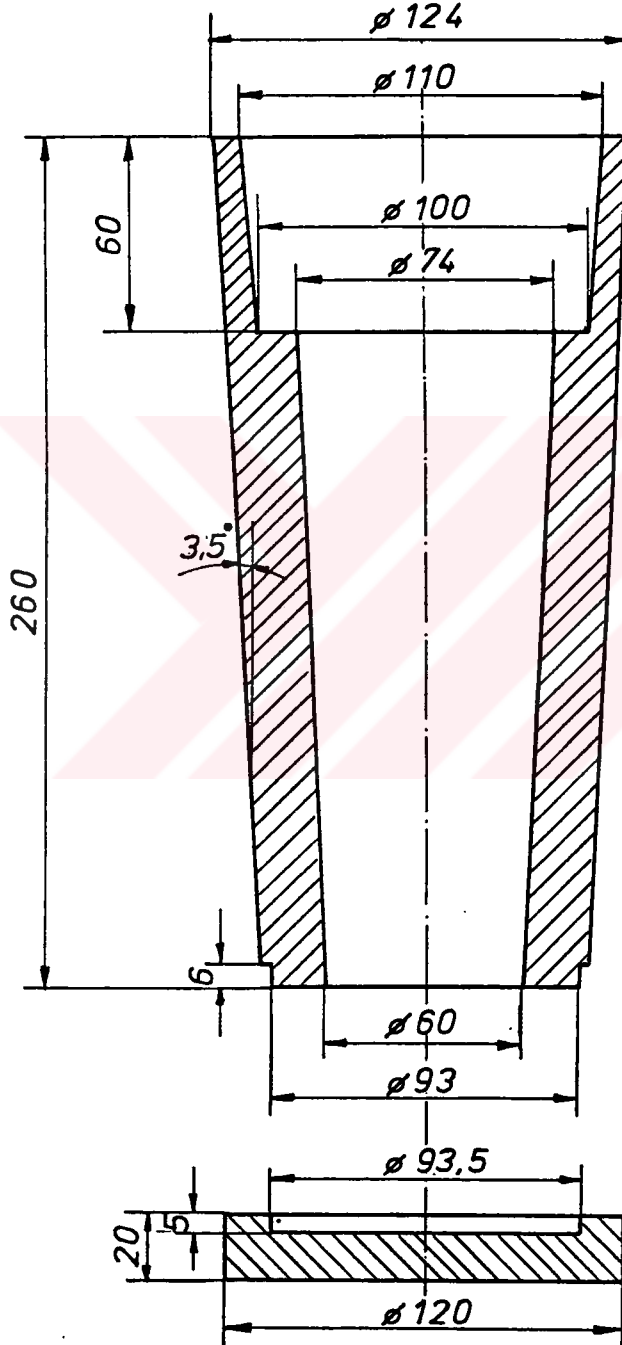
Bu çalışmada, dört adet ikili çinko-alüminyum (ZnAl20, ZnAl40, ZnAl60 ve ZnAl80) ve beş adet üçlü çinko-alüminyum-bakır (ZnAl40Cu1, ZnAl40Cu2, ZnAl40Cu3, ZnAl40Cu4 ve ZnAl40Cu5) alaşımı kokil döküm yöntemiyle üretildi. Alaşımların üretiminde yüksek saflıkta (%99,9) çinko, ticari saflıkta (%99,8) alüminyum ve elektrolitik bakır (%99,9) kullanıldı. Üçlü alaşımların üretilmesi için bir intermetalik alüminyum-bakır (AlCu50) alaşımı kullanıldı. Ergitme işlemi elektrikli bir pota fırını içerisinde gerçekleştirildi. Ergitilen alaşımlar ergitme sıcaklıklarının 40-50 °C üzerindeki sıcaklıklardan başka bir deyişle 570-680 °C arasında yer alan sıcaklıklardan 100 °C sıcaklıktaki bir kokil kalıba dökülerek katılaştırıldı. Söz konusu kalıbın şekli ve boyutları Şekil 3'te verilmiştir. Külçelerin çekme boşluğu içeren yaklaşık 60 mm uzunluğundaki üst kısımları kesilerek atıldı. Üretilen her bir külçeden talaşlı imalat yöntemiyle bir metalografi, bir sertlik, iki çekme ve dört yorulma örneği hazırlandı. Söz konusu örneklerin külçenin hangi bölgelerinden alındıklarını gösteren şematik resim Şekil 4'de verilmiştir. Bütün çekme ve yorulma örnekleri deneye tabi tutulmadan önce ışıklı stereo mikroskopta incelendi ve bunlardan boşluk içerenler kullanılmadı. Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri yaş kimyasal analiz ve atomik absorpsiyon yöntemleri ile belirlendi.

Üretilen ZnAl40Cu1 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarına ait külçelerin bazılarında ısıl işlem uygulandı. Bunun için bu alaşımlar 375°C sıcaklıkta 24 saatlik bir süre çözündürme işlemine tabi tutulduktan sonra suda soğutuldu. Su verilen alaşımlar 100 °C sıcaklıkta 2 saat yaşlandırıldı.

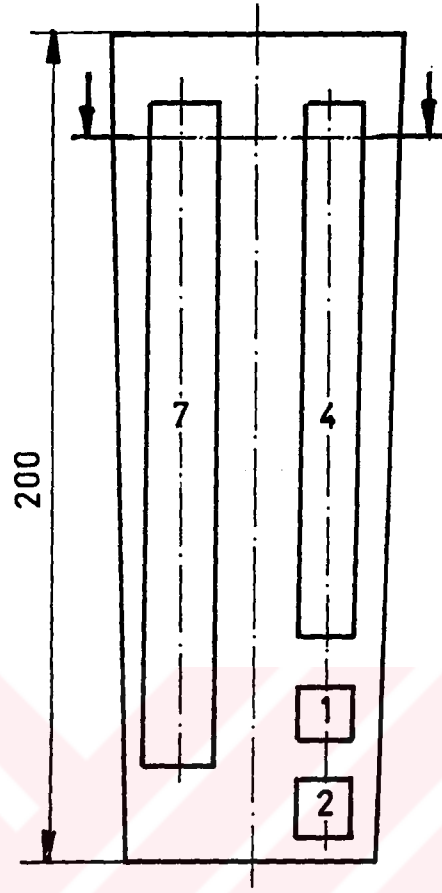
2.2. Metalografik İncelemeler

İç yapı incelemeleri için dökülmüş ve ısıl işlem görmüş durumdaki alaşımlardan alınan örnekler standart metalografi yöntemi ile hazırlandıktan sonra % 5'lik Nital (%5 nitrik asit+alkol) çözeltisi içerisinde dağlandı. Ancak, yüksek oranda alüminyum içeren

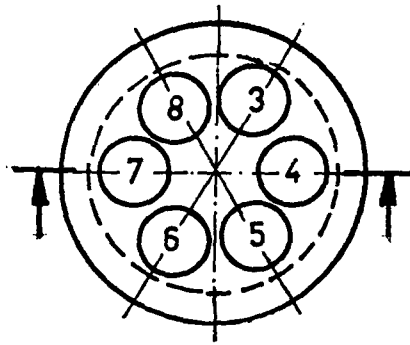
ZnAl80 alaşımının dağlanmasında % 20'lik Nital kullanıldı. Hazırlanan örnekler ışık mikroskobunda incelenerek iç yapılarını gösteren fotoğrafları çekildi. Ayrıca, yorulma deneyi sonucunda kırılan örneklerin kırık yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla incelendi.



Şekil 3. Kalıbın şekli ve boyutları



(a)



(b)

Şekil 4. Üretilen külçelerden metalografi (1), sertlik (2), çekme (3,4) ve yorulma örneklerinin (5,6,7,8) alındığı bölgeleri gösteren şematik resim. a) Önden görünüm, b) üstten görünüm.

2.3. Mekanik Deneyler

2.3.1. Çekme ve Sertlik Deneyleri

Çekme deneyleri için alaşımlardan talaşlı işleme çapı 10 mm, ölçü uzunluğu 50 mm olan 10x50 TS 138A standardına uygun örnekler hazırlandı. Hazırlanan örnekler bir çekme makinasında 0,3 mm/s'lik çekme hızında çekme deneyine tabi tutuldu. Her deney için üç örnek kullanıldı. Alaşımların çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri bu üç örnekten elde edilen verilerin ortalaması alınarak belirlendi.

Sertlik deneyi için alaşımlardan alınan örnekler talaşlı imalat yöntemi ile yüzeyleri paralel olacak şekilde işlendikten sonra parlatıldı. Sertlik ölçümleri; Brinell sertlik ölçme yöntemi ile 31,25 kg yük altında ve 2,5 mm çaplı bilya uç kullanılarak gerçekleştirildi. Her örnek üzerinde beş ölçüm yapılarak elde edilen değerlerin ortalaması alındı.

2.3.2. Yorulma Deneyi

Alaşımların değişik korozyon ortamlarındaki yorulma davranışlarını incelemek amacıyla dönel eğmeli bir yorulma deney düzeneği tasarlanarak imal edildi. Şematik resmi Şekil 5'te gösterilen bu deney düzeneği; 3 kW gücünde bir elektrik motoru, iki adet mil, millerin yataklanmasında kullanılan iki adet ana yatak, yük askı kolları, ikişer adet oynak rulmanlı yatak ve yatak gövdesi ile çeşitli ağırlıklar içeren bir yükleme ve dengeleme sistemi, kavrama, örnek tutucuları, otomatik kumanda sistemi, anahtar, devir sayacı, korozyon kabı ve korozyon kabı dengeleme sistemi gibi elemanlardan oluşmaktadır.

Deney milinin dönme hareketi yanında açısal hareket serbestliğinin de sağlanabilmesi için sistemdeki bütün yataklamalar oynak bilyalı rulmanlarla gerçekleştirilmiştir. Motor ile deney düzeneğinin mili arasındaki bağlantıyı sağlayan özel bir kardan kavrama, sisteme açısal hareket serbestliği kazandırmaktadır. Deney örneğinin kırılmasına kadar geçen çevrim sayısını belirlemek için bir elektronik devir sayacı, örnek kırıldığında düzeneğin otomatik olarak durmasını sağlamak için de bir anahtar kullanılmıştır. Motorun devir sayısı bir hız kontrol ünitesi yardımıyla ayarlanabilmektedir. Deney düzeneğinde deney süresini ölçmek için bir zaman saati kullanılmıştır. Ayrıca, değişik ortamlarda yorulma deneyleri yapılabilmesi için bu düzeneğe bir korozyon kabı

monte edilmiştir. Söz konusu kabın boyutları 120mm x 120mm x 90 mm olup, iç hacmi 700 ml'dir. Korozyon kabının ağırlığının dengelenmesi için düzenekte taşıyıcı gövde, makara, ağırlık askı kancası ve dengeleme ağırlığı gibi elemanlardan oluşan bir dengeleme sistemi kullanılmıştır. Şekil 6'daki fotoğraf yorulma deney düzeneğinin genel bir görünümünü, Şekil 7'deki fotoğraf ise örneğin kırıldıktan sonraki durumunu göstermektedir.

Talaşlı yöntemle yüzeyi hassas bir şekilde işlenen yorulma örneği iki ucundan yorulma makinasının örnek tutucularına bağlanarak sabitlenmektedir. Yük askı koluna ağırlık asılarak örneğe eğme yükü uygulanmakta, bu eğme yükü iki yükleme kolu arasında sabit bir eğme momenti oluşturmakta ve bu eğme momenti örneğin en dar kesiti olan orta noktasında en yüksek eğme gerilmesi oluşturmaktadır. Söz konusu örnek elektrik motoru ile sürekli olarak döndürülmekte ve örneğin en dar kesiti üzerindeki her bir nokta sinüzoidal bir değişim gösteren çekme ve basma gerilmelerinin etkisi altında kalmaktadır. Yorulma örneğine etkiyen eğme gerilmesi aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{eğ} = \frac{M_{eğ}}{W_{eğ}} \quad \left(M_{eğ} = \frac{P}{2} L \quad , \quad W_{eğ} = \frac{\pi}{32} d^3 \right) \quad (1)$$

Burada $\sigma_{eğ}$ eğme gerilmesini, $M_{eğ}$ eğme momentini, $W_{eğ}$ mukavemet momentini, P örneğe uygulanan yükü, L moment kolu uzunluğunu ve d örneğin en dar kesitinin çapını göstermektedir. Deney düzeneğine ait L (110mm) ve d (8mm) büyüklükleri (1) bağıntısında yerine konulduğunda örneğe uygulanan yük (P) ile örneğin en dar kesitinde oluşan maksimum eğme gerilmesi ($\sigma_{eğ}$) arasında aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilen bir ilişkinin bulunduğu belirlendi.

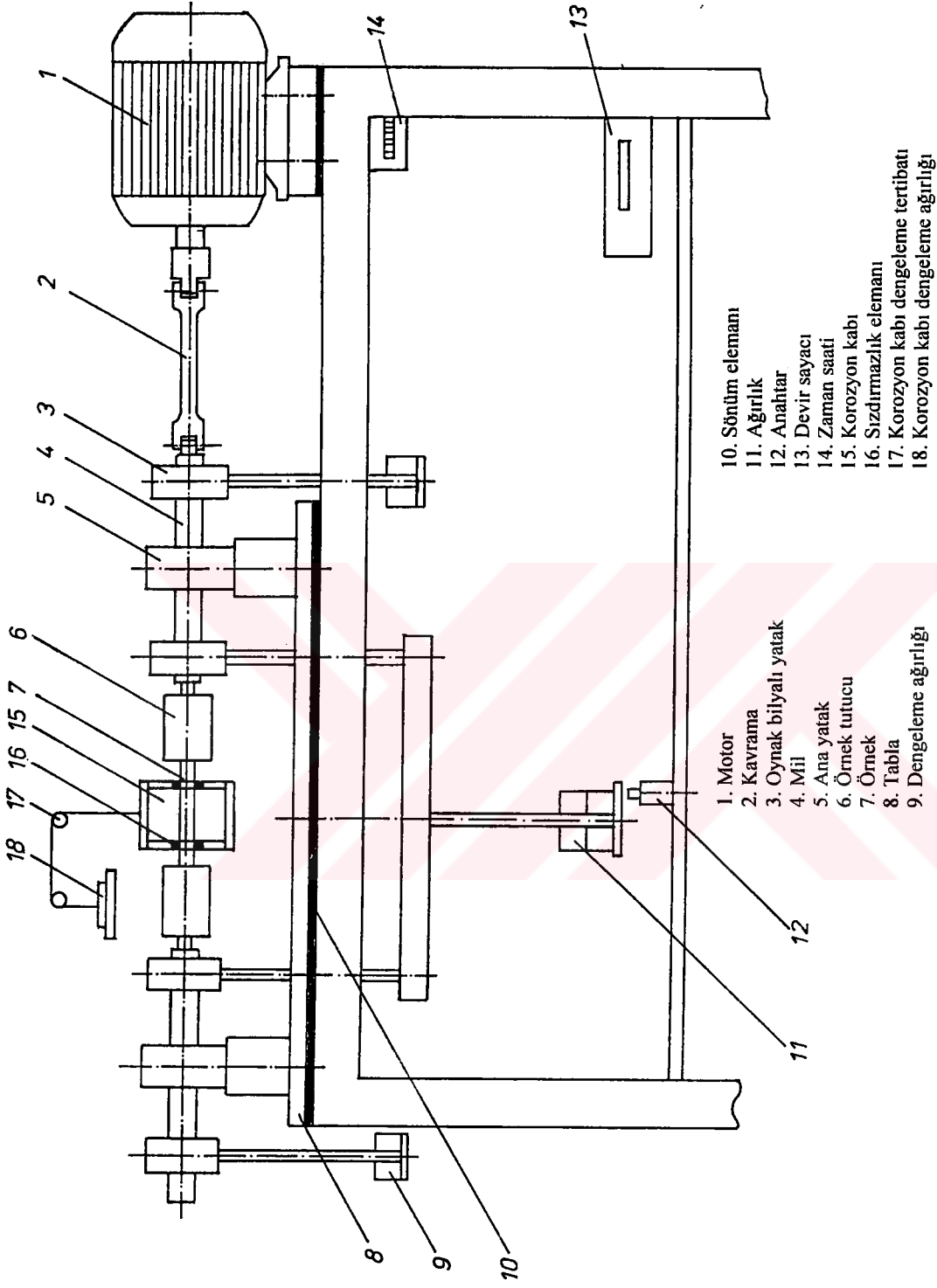
$$\sigma_{eğ} = 1,09. P \quad (2)$$

Burada $\sigma_{eğ}$ 'nin birimi MPa, P'nin birimi ise N olarak alınmıştır.

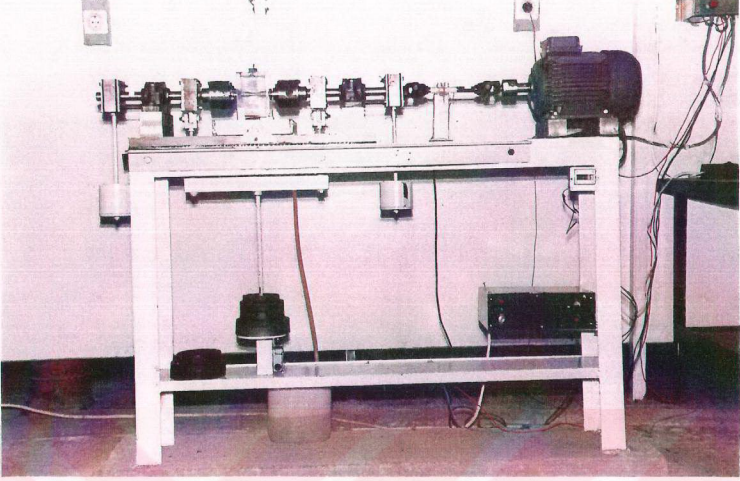
Bu çalışma için üretilen çinko-alüminyum alaşımlarından talaşlı yöntemle hassas bir şekilde işlenerek hazırlanan yorulma örneklerinin şekli ve boyutları Şekil 8'de verilmiştir. Bu örnekler hava, hidrojen iyon konsantrasyonu (pH) değeri 8 olan tuzlu su (% 3,5'lik NaCl) ve pH değeri 1,5 olan % 1'lik HCl sulu çözelti ortamlarında yorulma deneylerine tabi tutuldu. Yorulma deneyleri, sözü edilen deney düzeneğinde 2000

dev/dak'lık sabit devir sayısında ve farklı gerilmeler altında yapıldı. İkili alaşımların hava ortamındaki yorulma deneyleri 87 MPa-186 MPa, korozyon ortamlarındaki yorulma deneyleri ise 43 MPa-164 MPa arasındaki gerilmelerde yapıldı. Üçlü alaşımların hava ortamındaki yorulma deneyleri 109 MPa-197 MPa, korozyon ortamlarındaki yorulma deneyleri ise 65 MPa-164 MPa arasındaki farklı gerilmeler altında gerçekleştirildi. Her bir gerilme değerinde üç yorulma deneyi yapıldı ve örneğin kırılmasına kadar geçen çevrim sayısı bu deneylerden elde edilen verilerin ortalaması alınarak belirlendi. Bu veriler kullanılarak alaşımların değişik ortamlardaki gerilme-çevrim sayısı eğrileri çizildi.

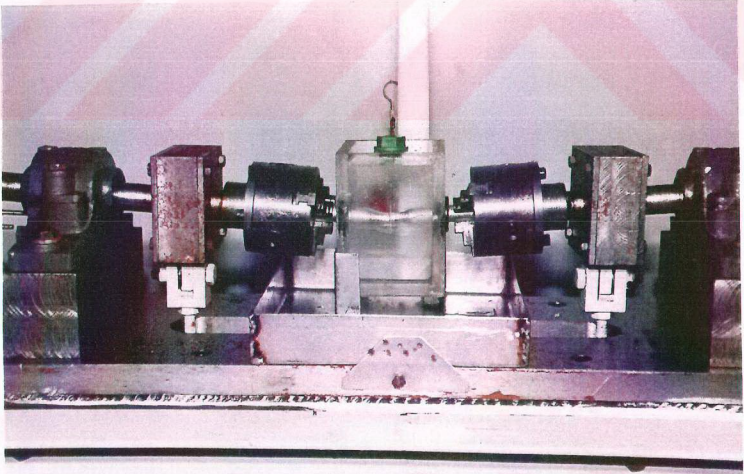




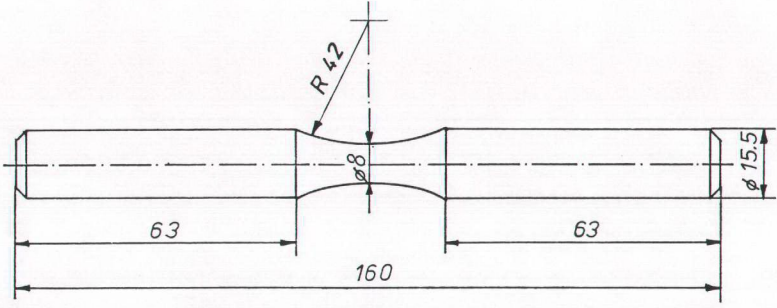
Şekil 5. Yorulma deney makinasının şematik resmi



Şekil 6. Yorulma makinasının genel görünümü



Şekil 7. Deney örneğinin kırılması durumunda yorulma makinasının görünümü



Şekil 8. Yorulma örneğinin şekli ve boyutları

3. BULGULAR

3.1. Alaşımların Kimyasal Bileşimi

Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Alaşımların kimyasal bileşimi

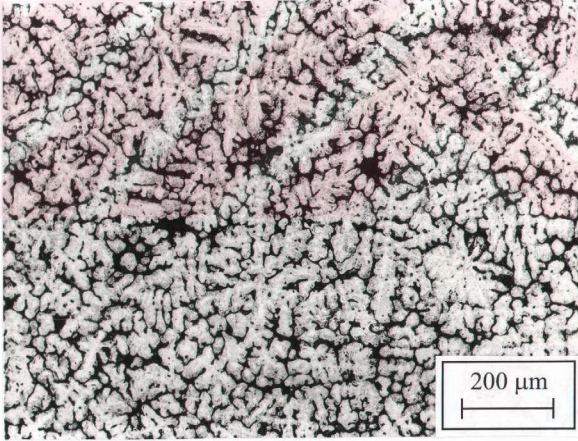
Alaşım	Kimyasal bileşim (% ağırlık)		
	Zn	Al	Cu
ZnAl20	78,9	21,1	-
ZnAl40	59,0	41,0	-
ZnAl60	39,2	60,8	-
ZnAl80	18,9	81,1	-
ZnAl40Cu1	59,2	39,7	1,1
ZnAl40Cu2	59,2	38,7	2,1
ZnAl40Cu3	57,0	39,0	3,0
ZnAl40Cu4	56,6	39,3	4,1
ZnAl40Cu5	55,2	39,5	5,3

3.2. Alaşımların İç Yapısı

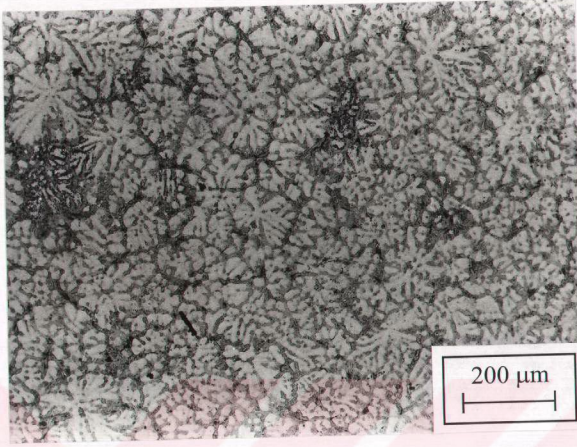
İkili ZnAl20, ZnAl40, ZnAl60 ve ZnAl80 alaşımlarının dökülmüş durumdaki iç yapılarını gösteren fotoğraflar sırasıyla Şekil 9, 10, 11 ve 12’de verilmiştir. Bu fotoğraflardan görüldüğü gibi bu alaşımların iç yapıları genel olarak alüminyumca zengin α dendritleri ile bunları çevreleyen çinkoca zengin fazlardan oluşmaktadır. Ancak, alüminyum oranı yüksek olan ZnAl60 ve ZnAl80 alaşımlarının iç yapılarının diğeri ikili alaşımların iç yapılarından farklı olarak yalnız ASTM tane numarası~4 olan iri α tanelerinden oluştuğu görülmektedir (Şekil 11 ve 12). Bu durum, alaşımlarda alüminyum oranının belirli bir değeri aşması halinde alaşımların dendritik yapılarının taneli yapılara dönüştüğünü göstermektedir.

Üçlü ZnAl40Cu1, ZnAl40Cu2, ZnAl40Cu3, ZnAl40Cu4 ve ZnAl40Cu5 alaşımların iç yapılarının da alüminyumca zengin α dendritleri ile bunları çevreleyen çinkoca zengin fazlardan oluştuğu gözlemlendi. Söz konusu alaşımların dökülmüş durumdaki iç yapılarını gösteren fotoğraflar sırasıyla Şekil 13,14,15,16 ve 17’de verilmiştir. Bu fotoğraflarda üçlü alaşımların dendritlerarası bölgelerinde parçacık görünümlü bazı fazların yer aldığı ve bunların oranının artan bakır oranı ile arttığı görülmektedir. SEM ile yapılan enerji dispersif spektrometre (EDS) analizleri sonucunda bu parçacıkların T’ ve θ fazları oldukları belirlendi.

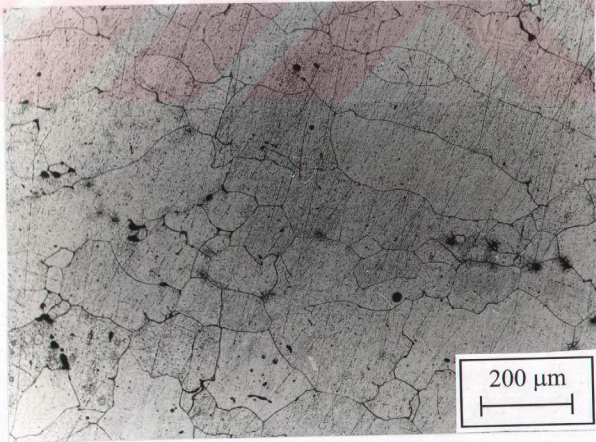
Isıl işlem uygulanan alaşımların iç yapılarının tamamen değiştiği görüldü. Nitekim uygulanan ısıl işlem sonucunda ZnAl40Cu2 alaşımının tane sınırları ve tane içi bölgelerinde çinko ve bakırca zengin çökeltilerin oluştuğu belirlendi (Şekil 18).



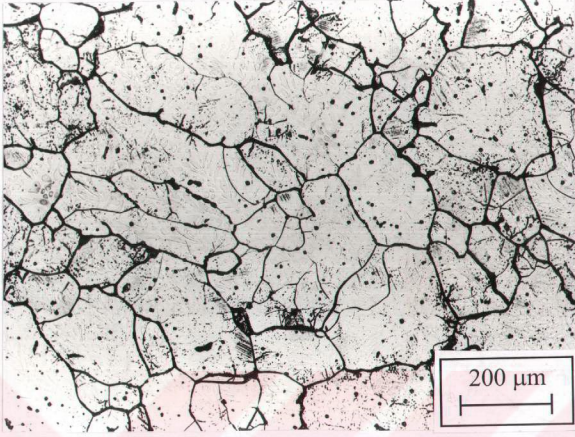
Şekil 9. ZnAl20 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



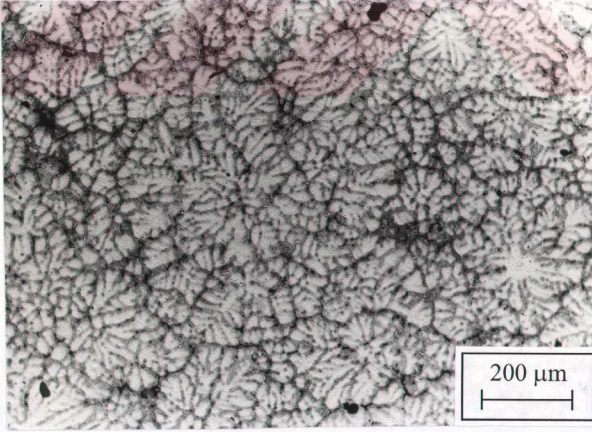
Şekil 10. ZnAl40 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



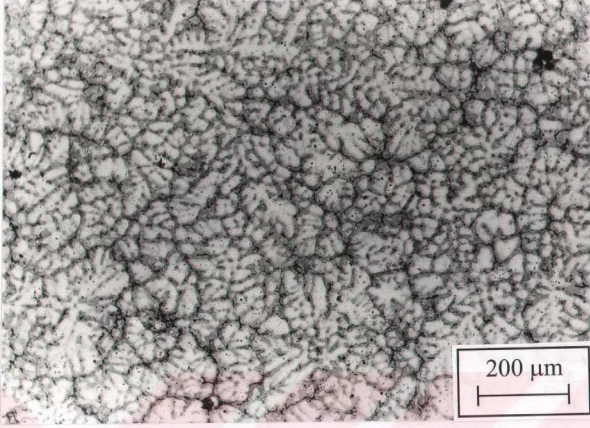
Şekil 11. ZnAl60 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



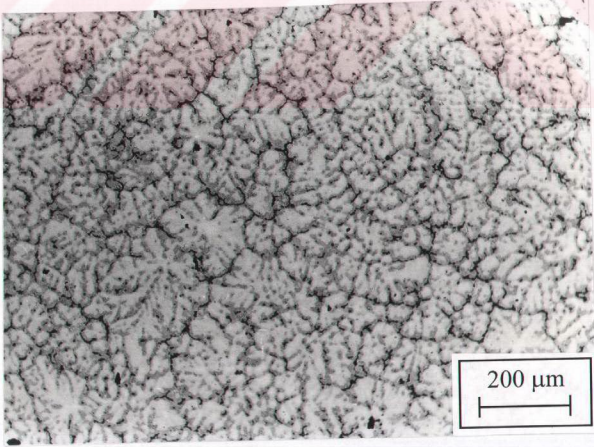
Şekil 12. ZnAl80 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



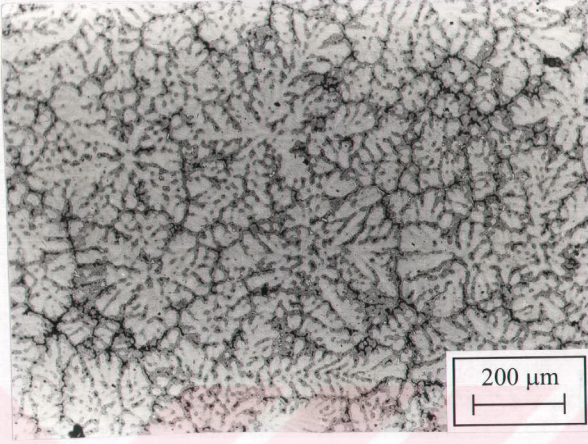
Şekil 13. ZnAl40Cu1 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



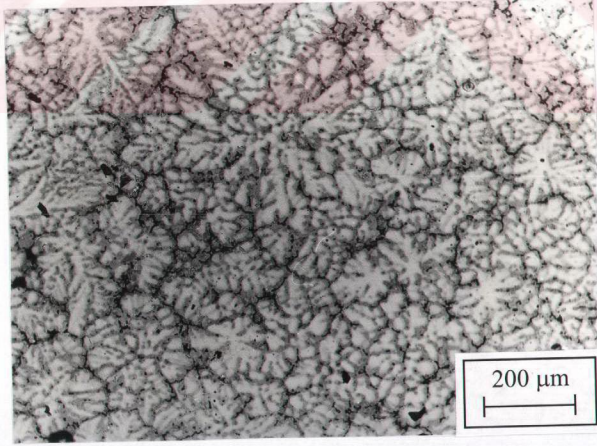
Şekil 14. ZnAl40Cu2 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



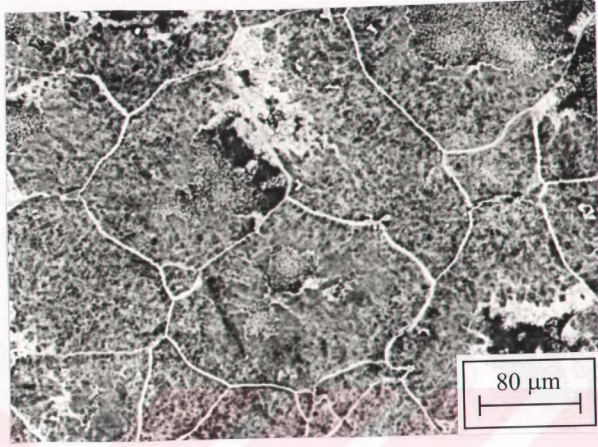
Şekil 15. ZnAl40Cu3 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



Şekil 16. ZnAl40Cu4 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



Şekil 17. ZnAl40Cu5 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



Şekil 18. Çözündürme ve su verme işlemi sonrası 100°C sıcaklıkta 2 saat yaşlandırılan ZnAl40Cu2 alaşımının iç yapısı

3.3. Mekanik Deneylerden Elde Edilen Bulgular

3.3.1. Sertlik ve Çekme Deneylerinden Elde Edilen Bulgular

Üretilen alaşımların, yapılan deneyler sonucunda belirlenen sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Bu tabloda, üçlü alaşımların ikili alaşımlardan daha yüksek sertlik ve çekme dayanımına sahip oldukları görülmektedir. Ancak, yüksek oranda alüminyum içeren ikili alaşımların üçlü alaşımlardan daha yüksek kopma uzaması sergiledikleri gözlemlendi. Dökülmüş durumdaki alaşımlar içerisinde en yüksek çekme dayanımı ZnAl40Cu2 alaşımından, en yüksek sertlik ZnAl40Cu5 alaşımından elde edilirken en düşük çekme dayanımı ve en düşük sertlik ikili ZnAl20 alaşımından elde edildi. Öte yandan ZnAl80 alaşımının ikili alaşımlar içerisinde en yüksek sertlik ve çekme dayanımına sahip olduğu görüldü. Ayrıca, ikili alaşımların sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinin artan alüminyum oranı ile arttığı gözlemlendi. Diğer taraftan söz konusu alaşımların sertlik ve çekme dayanımlarının artan bakır oranı ile arttığı

belirlendi. Ancak, bakır katkısının %2 oranının üzerine çıkması durumunda alaşımların sertliği artarken, çekme dayanımının azaldığı görüldü. Ayrıca, ısıl işlem uygulanan alaşımların sertlik ve çekme dayanımının arttığı, kopma uzaması değerlerinin ise azaldığı gözlemlendi.

Tablo 6. Üretilen çinko alüminyum alaşımlarının sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri

Alaşım	İşlem durumu	Sertlik (BSD2.5)	Çekme dayanımı (MPa)	Kopma uzaması %
ZnAl20	A	80	278	4,0
ZnAl40	A	94	295	5,0
ZnAl60	A	101	302	8,0
ZnAl80	A	105	307	9,5
ZnAl40Cu1	A	107	330	3,3
	B	159	415	1,5
ZnAl40Cu2	A	111	356	4,0
	B	169	455	1,5
ZnAl40Cu3	A	113	346	5,0
ZnAl40Cu4	A	116	344	3,5
ZnAl40Cu5	A	117	340	2,3

(A: Dökülmüş, B: Isıl işlem görmüş)

3.2.2. Yorulma Deneyinden Elde Edilen Bulgular

Alaşımlardan hazırlanan örneklerle hava, % 3,5 NaCl içeren su (tuzlu su) ve % 1 HCl içeren sulu çözelti ortamlarında farklı gerilmeler altında yapılan yorulma deneylerinden elde edilen bulgular sırasıyla Tablo 7, 8 ve 9'da verilmiştir. Bu tablolarda yorulma örneklerine uygulanan gerilmeler ile söz konusu örneklerin kırılmasına kadar geçen çevrim sayıları yer almaktadır. Tablolarda verilen (>) işareti çevrim sayısının 20.000.000'u aşmasına karşın örneklerin kırılmadığını göstermektedir. Bu tablolardaki verilerden yararlanılarak çizilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri de Şekil 19, 20, 21, 22, 23 ve 24'de verilmiştir. Yorulma deneylerinden elde edilen verilerde az da olsa saçılma görüldü. Örnek olması bakımından yalnız ZnAl20 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarından elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrilerini oluşturan verilerde meydana gelen saçılma Şekil 25'de verilmiştir.

Şekil 19 ve 20'deki eğrilere bakıldığında, çinko-alüminyum alaşımlarının hava ortamındaki yorulma ömürlerinin artan gerilme ile azaldığı ya da azalan gerilme ile arttığı görülmektedir. Bu ortamda, sözü edilen alaşımlar içerisinde en düşük yorulma ömrü en düşük alüminyum oranına sahip olan ZnAl₂₀ alaşımından elde edilirken, en yüksek yorulma ömrü ise ZnAl₄₀Cu₂ alaşımından elde edildi. Diğer taraftan üçlü alaşımların ikili alaşımlardan daha yüksek yorulma ömrüne sahip oldukları görüldü. Ayrıca, uygulanan gerilme azaldıkça ikili ve üçlü alaşımların yorulma ömürleri arasındaki farkın arttığı, ikili alaşımların yorulma ömürleri arasındaki farkın ise azaldığı gözlemlendi. Öte yandan üçlü alaşımlar içerisinde en düşük yorulma ömrü en düşük oranda bakır içeren ZnAl₄₀Cu₁ alaşımından elde edilirken, diğer üçlü alaşımların yorulma ömürlerinin birbirlerine oldukça yakın oldukları belirlendi (Şekil 20).

Çinko-alüminyum alaşımlarından tuzlu su ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrilerine (Şekil 21 ve 22) genel olarak bakıldığında tuzlu su ortamının bu alaşımların yorulma davranışını genelde olumsuz etkilediği görülmektedir. Ayrıca, bu ortamda elde edilen yorulma eğrileri hava ortamında elde edilen yorulma eğrilerinden farklı bir sıralama göstermektedir. Bu alaşımlardan % 1'lik HCl sulu çözelti ortamında elde edilen yorulma eğrilerinin (Şekil 23 ve 24) hava ortamında elde edilen yorulma eğrilerine benzedikleri, ancak sıralanışlarının farklı olduğu görüldü. Ayrıca, gerilme azaldıkça düşük oranda alüminyum içeren alaşımların yorulma eğrileriyle yüksek oranda alüminyum içeren alaşımların yorulma eğrilerinin birbirinden ayrıldıkları gözlemlendi. Öte yandan bu ortamın söz konusu alaşımların yorulma ömrü üzerinde tuzlu su ortamından daha etkili olduğu belirlendi.

Ortamın çinko-alüminyum alaşımlarının yorulma özelliklerine etkilerini daha açık bir şekilde ortaya koymak için her bir alaşımdan farklı ortamlarda elde edilen verilerle çizilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri sırasıyla Şekil 26, 27, 28, 29, 30, 31 ve 32'de verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi alaşımların yorulma ömürleri büyükten küçüğe doğru hava, tuzlu su ve asit çözeltisi sırasını izlemektedir. Başka bir deyişle en yüksek yorulma ömrü hava, en düşük yorulma ömrü de asit çözeltisinde elde edilmiştir. Ayrıca, bu eğriler korozyon ortamlarının üçlü alaşımların yorulma davranışı üzerinde daha etkili olduklarını göstermektedir. Öte yandan bu eğrilerden korozyon etkisinin gerilme değerine de bağlı olduğu görülmektedir. Nitekim alaşımlardan farklı ortamlarda elde edilen yorulma eğrilerinin yüksek gerilme değerlerinde birbirlerine yaklaşmış, düşük gerilme değerlerinde

birbirlerinden uzaklaşmaları korozyon etkisinin artan gerilme ile azaldığını ve azalan gerilme ile de arttığını göstermektedir. Ayrıca, HCl sulu çözelti ortamının ZnAl60 ve ZnAl80 gibi yüksek oranda alüminyum içeren alaşımların yorulma davranışı üzerinde daha da etkili olduğu görülmektedir (Şekil 28 ve 29) . Bu eğriler üzerinde yapılan değerlendirme sonucunda tuzlu su ve asit çözeltisi ortamlarının çinko-alüminyum alaşımlarının yorulma dayanımına etkileri belirlenerek elde edilen sayısal veriler Tablo 10' da verilmiştir. Bu tablo, asit çözeltisi ortamının söz konusu alaşımların yorulma dayanımını tuzlu su ortamına göre daha fazla azalttığını göstermektedir. Ayrıca, alüminyum oranı arttıkça bu alaşımların söz konusu ortamlara özellikle asit ortamına daha duyarlı hale geldiği görülmektedir.

Isıl işlem görmüş durumdaki ZnAl40Cu1 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarından hava ortamında elde edilen yorulma eğrileri Şekil 33'de verilmiştir. Bu şekilde ısıl işlem görmüş durumdaki alaşımların gerilme-çevrim sayısı eğrilerinin dökülmüş durumdaki alaşımlardan elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrilerine benzedikleri görülmektedir. Ayrıca % 2 oranında bakır içeren alaşımın (ZnAl40Cu2) yorulma dayanımının ısıl işlem görmüş durumda da % 1 oranında bakır içeren alaşımın (ZnAl40Cu1) yorulma dayanımından daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Isıl işlemin söz konusu alaşımların yorulma davranışına etkisini belirlemek amacıyla ZnAl40Cu1 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarından hem dökülmüş hem de ısıl işlem görmüş durumlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri aynı eksen takımında verilmiştir (Şekil 34). Bu şekilden yaşlandırma işleminin sözü edilen alaşımların yorulma davranışını çok fazla etkilemediği ve ısıl işlem görmüş alaşımların yüksek gerilme değerlerinde dökülmüş durumdaki alaşımlardan daha yüksek, düşük gerilme değerlerinde ise daha düşük yorulma ömrüne sahip oldukları görülmektedir.

Tablo 7. Hava ortamında yapılan yorulma deneylerinden elde edilen veriler

Gerilime (MPa)	Alaşım ve çevrim sayısı												
	ZnAl20	ZnAl40	ZnAl60	ZnAl80	ZnAl40Cu1	ZnAl40Cu1*	ZnAl40Cu2	ZnAl40Cu2*	ZnAl40Cu3	ZnAl40Cu4	ZnAl40Cu5		
87	> 20x10 ⁶	> 20x10 ⁶	> 20x10 ⁶	> 20x10 ⁶	-	-	-	-	-	-	-	-	
94	2086200	6517200	> 20x10 ⁶	> 20x10 ⁶	-	-	-	-	-	-	-	-	
98	1236200	1039124	1759600	1824286	-	-	-	-	-	-	-	-	
109	548237	626200	521135	617415	> 20x10 ⁶	-	-	-	-	-	-	-	
120	247884	347826	289215	336746	2944400	487315	> 20x10 ⁶	-	> 20x10 ⁶	> 20x10 ⁶	> 20x10 ⁶	> 20x10 ⁶	
126	-	-	-	-	-	-	> 20x10 ⁶	-	> 20x10 ⁶	> 20x10 ⁶	> 20x10 ⁶	> 20x10 ⁶	
131	144836	147704	193656	261354	513696	280277	1139107	684400	1114805	1248510	888000	888000	
142	71780	93773	100271	230500	170186	152897	588437	396184	480714	565967	253270	253270	
153	50955	67846	106900	147084	150133	116224	233387	205382	241184	210857	230100	230100	
164	48426	63637	69207	93600	105417	86635	171256	166894	185384	156677	140400	140400	
175	23884	34915	43305	44277	56400	58325	90155	119304	83194	87897	83334	83334	
186	6625	13257	34800	36184	84400	43764	67486	95377	52617	59896	48246	48246	
197	-	-	-	-	16436	40337	52846	51825	35514	48685	29650	29650	

(> Çevrim sayısı bu değeri aşmasına karşın örnek kırılmadı)

(* Bu alaşım ıslık işlem görmüş durumda yorulma deneyine tabi tutuldu)

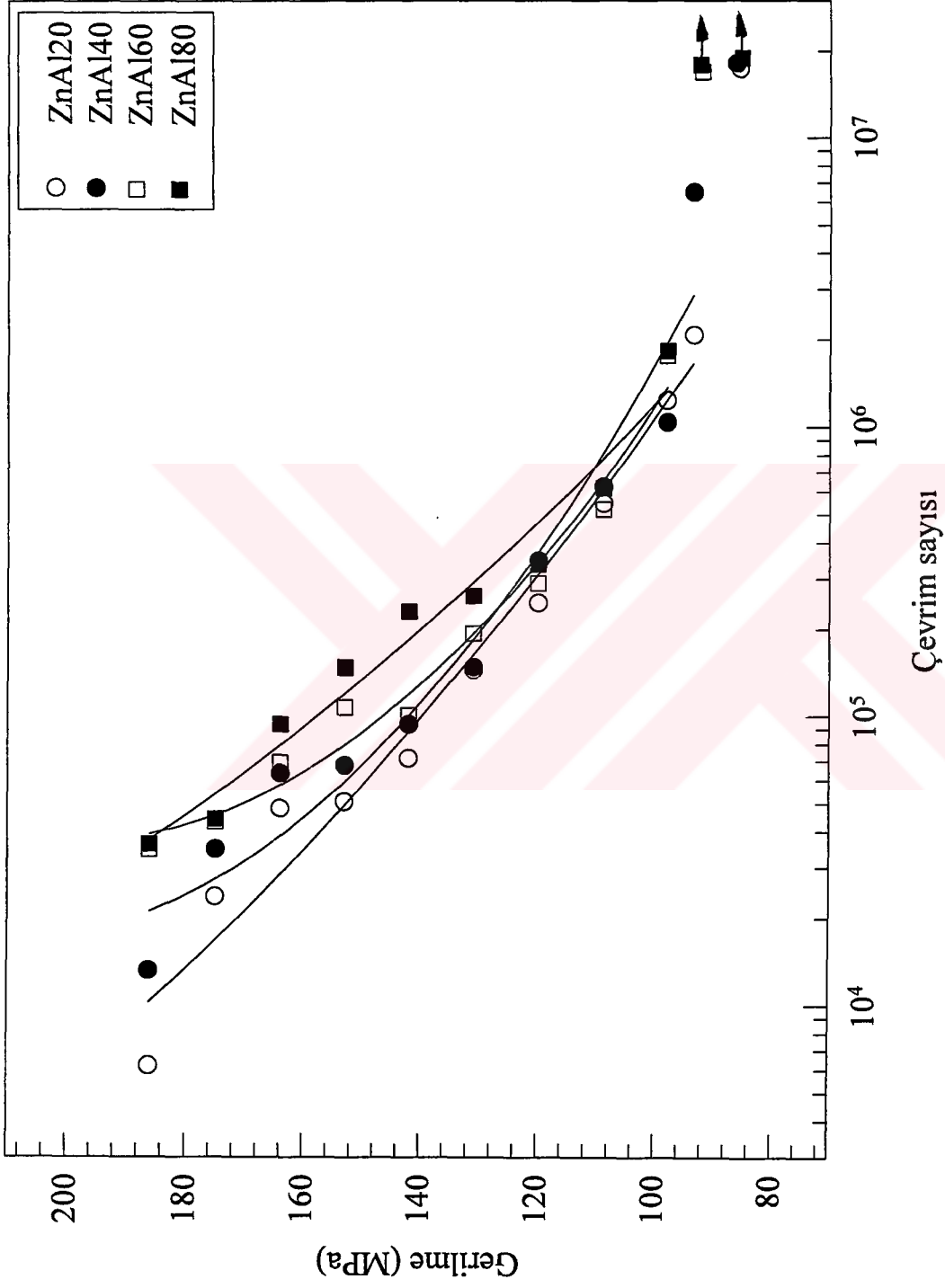
Tablo 8. % 3,5'lik NaCl sulu çözelti ortamında yapılan yorulma deneylerinden elde edilen veriler

Gerilme (MPa)	Alaşım ve çevrim sayısı									
	ZnAl20	ZnAl40	ZnAl60	ZnAl80	ZnAl40Cu1	ZnAl40Cu3	ZnAl40Cu5			
76	>10x10 ⁶	2156045	2004084	981925	3985705	5904016	>10x10 ⁶			
87	2310000	891756	884387	616235	1330846	1628435	1281167			
98	1207494	439437	363504	326455	770806	1043404	830585			
109	396075	150634	241026	186377	396175	336175	700737			
120	177984	98004	120455	136924	276626	211914	433806			
131	86865	78524	86865	100265	147563	111706	170827			
142	57894	83927	83016	87567	88086	99600	156000			
153	38867	41627	73034	98400	59645	83554	155184			
164	39074	34176	74655	76324	66385	52846	96464			

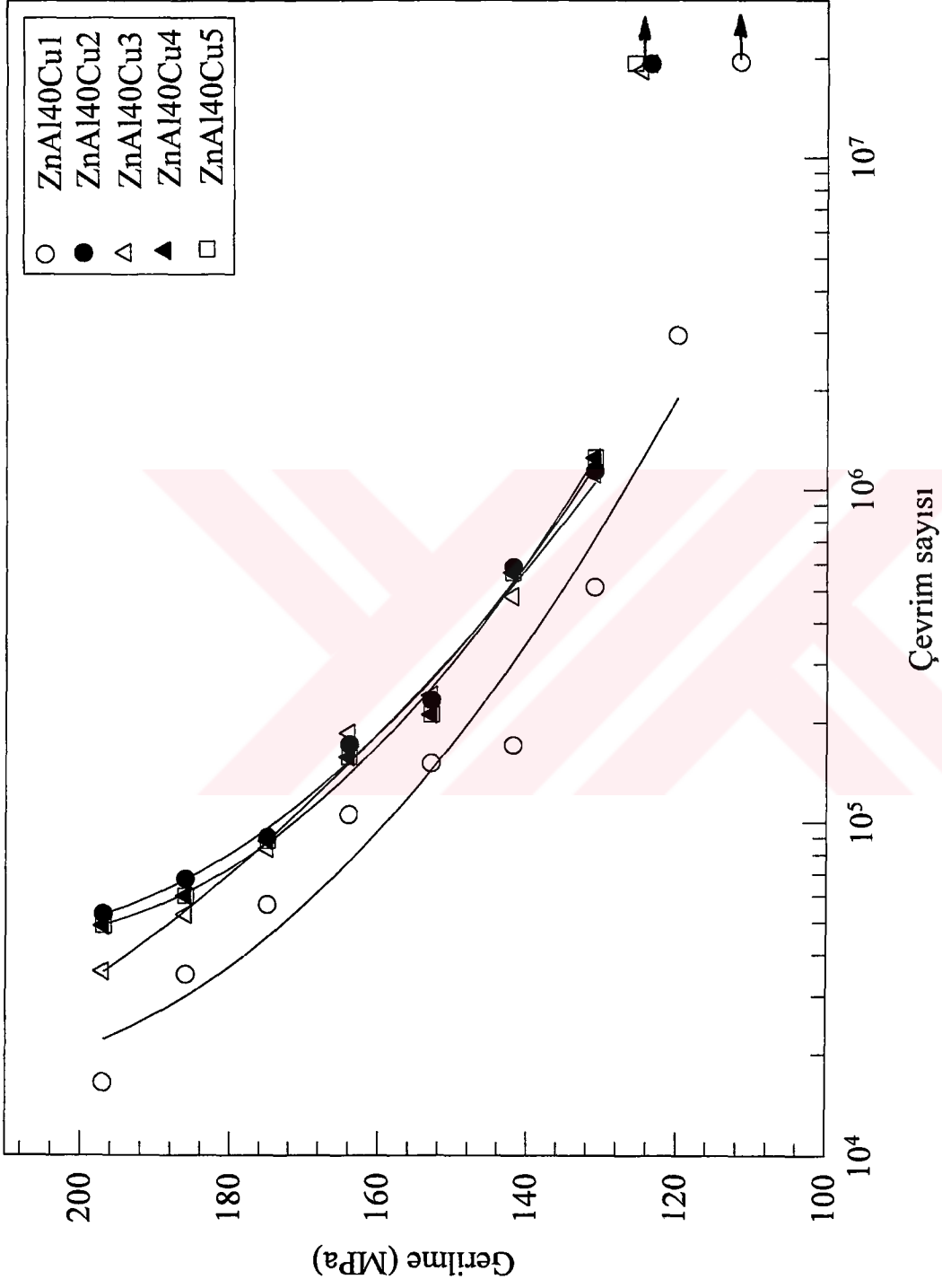
(> Çevrim sayısı bu değeri aşmasına karşın örnek kırılmadı)

Tablo 9. % 1'lik HCl sulu çözelti ortamında yapılan yorulma deneylerinden elde edilen veriler

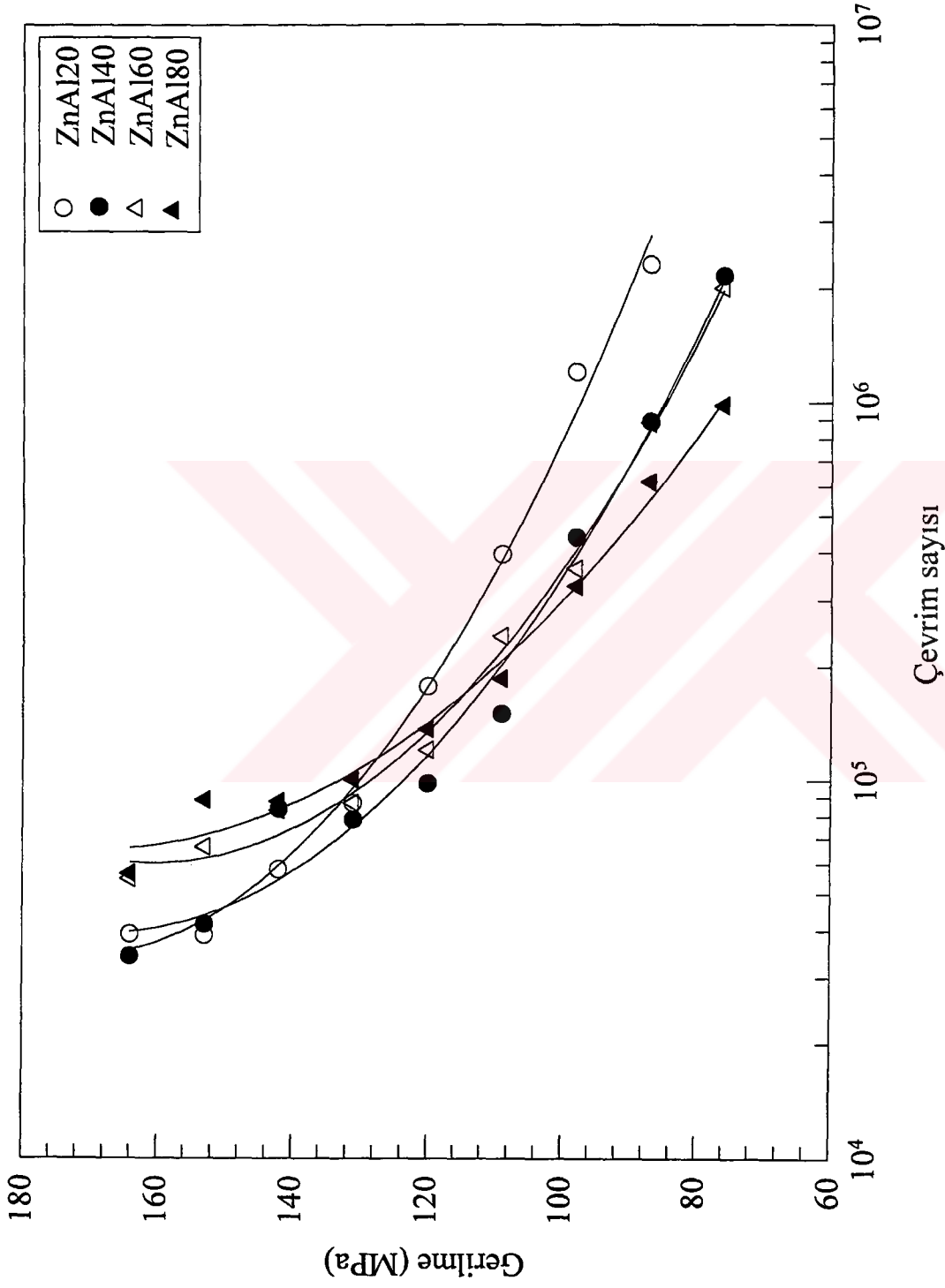
Gerilme (MPa)	Alaşım ve çevrim sayısı								
	ZnAl20	ZnAl40	ZnAl60	ZnAl80	ZnAl40Cu1	ZnAl40Cu3	ZnAl40Cu5		
43	-	-	-	1815664	-	-	-		
54	-	-	1153144	679194	-	-	-		
65	5350274	2863587	584597	414575	10748000	3846400	5773200		
76	1476400	501976	264395	236525	3572376	2144000	2138026		
87	381187	262436	198184	193797	624000	988085	892804		
98	216186	276854	145115	144000	308175	310397	304165		
109	134934	102104	113974	105527	174124	182127	228664		
120	128946	72577	98037	90395	102496	166007	252477		
131	67394	48516	50037	56377	82794	132674	139694		
142	40895	47414	40587	40800	86257	86495	88777		



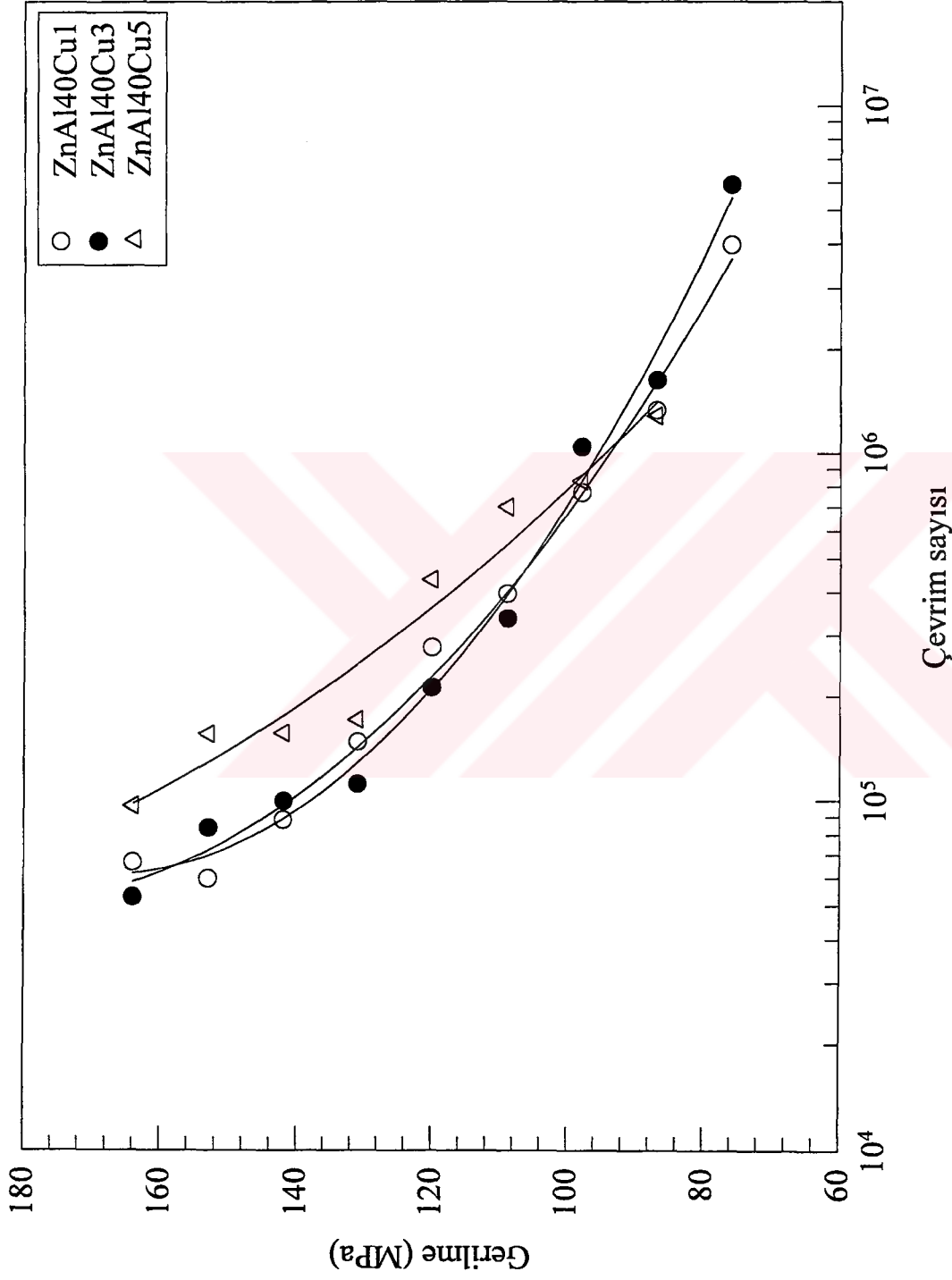
Şekil 19. Dökülmüş durumdaki ikili Zn-Al alaşımlarından hava ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri



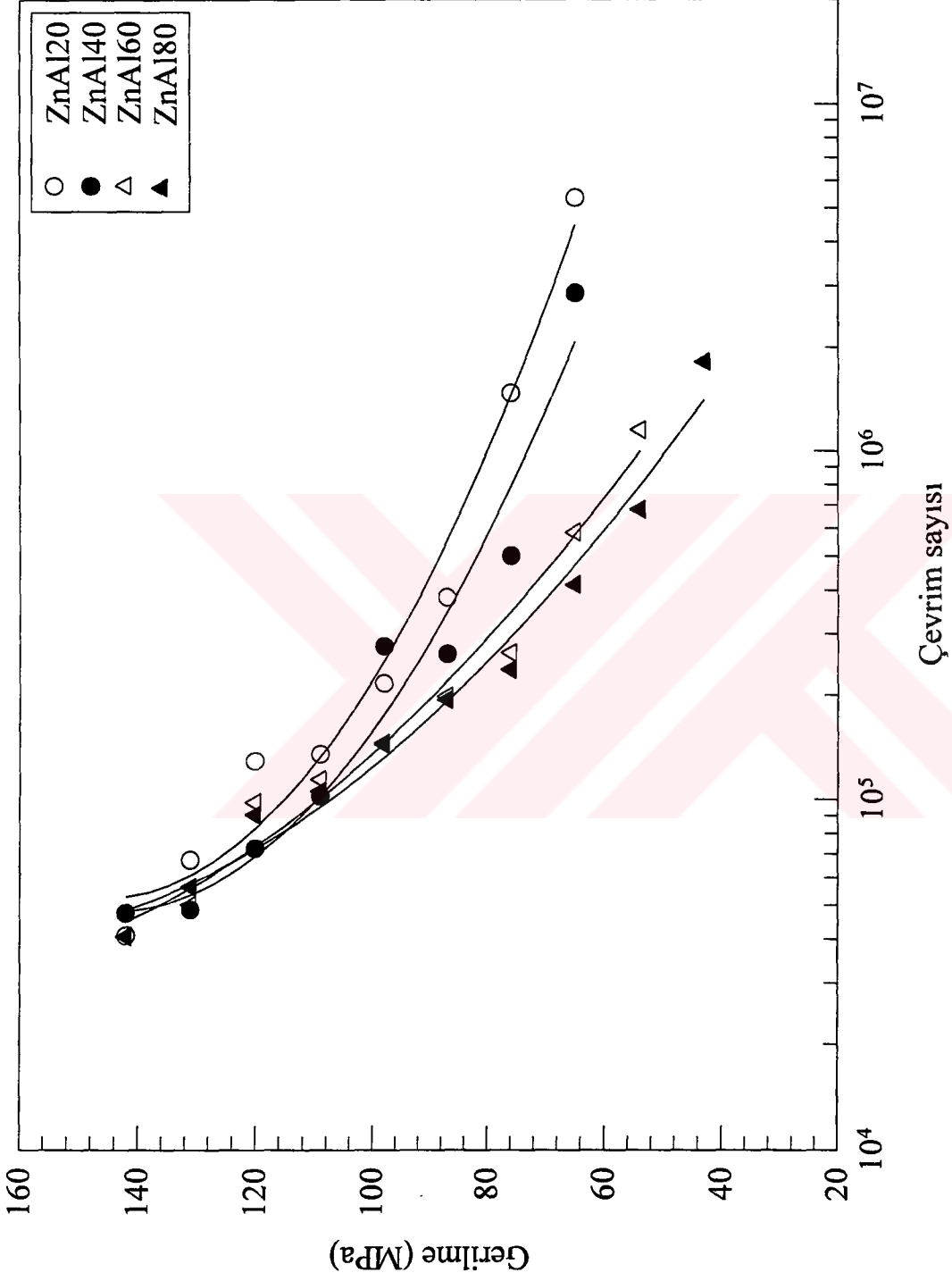
Şekil 20. Dökülmüş durumdaki üçlü Zn-Al-Cu alaşımlarından hava ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri



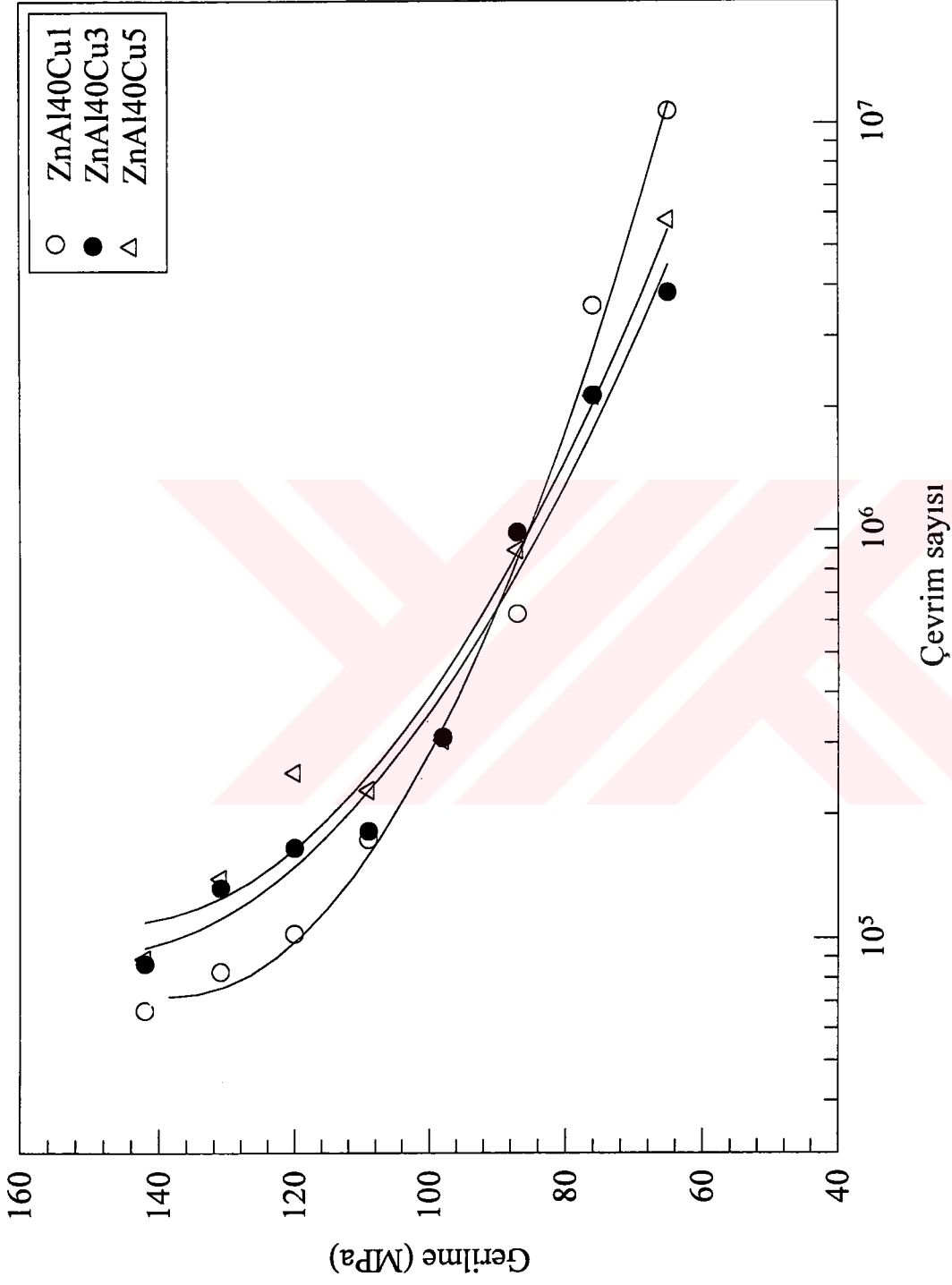
Şekil 21. Dökülmüş durumdaki ikili Zn-Al alaşımlarından tuzlu su (%3,5 NaCl içeren su) ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri



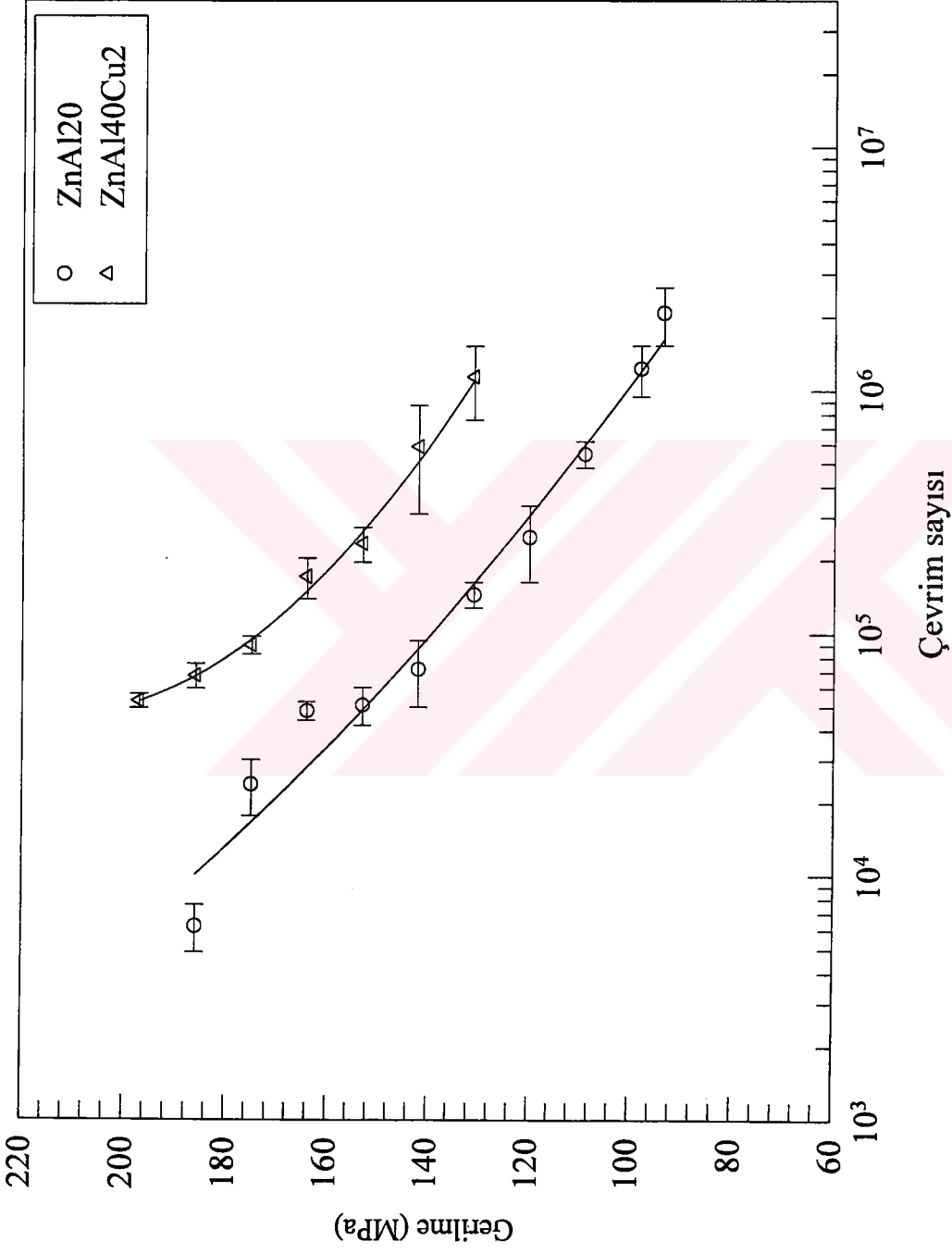
Şekil 22. Dökülmüş durumdaki üçlü Zn-Al-Cu alaşımlarından tuzlu su (%3,5 NaCl içeren su) ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri



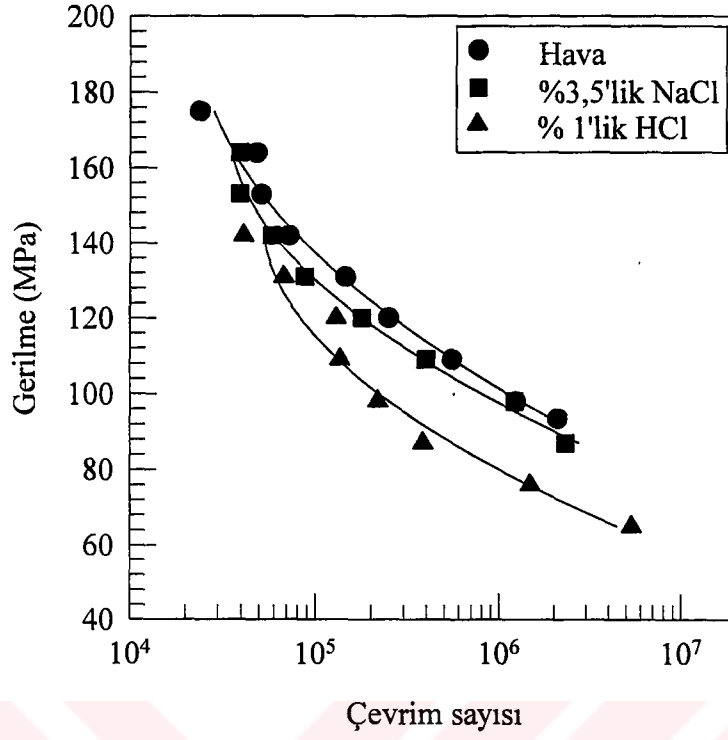
Şekil 23. Dökülmüş durumdaki ikili Zn-Al alaşımlarından % 1'lik HCl sulu çözelti ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri



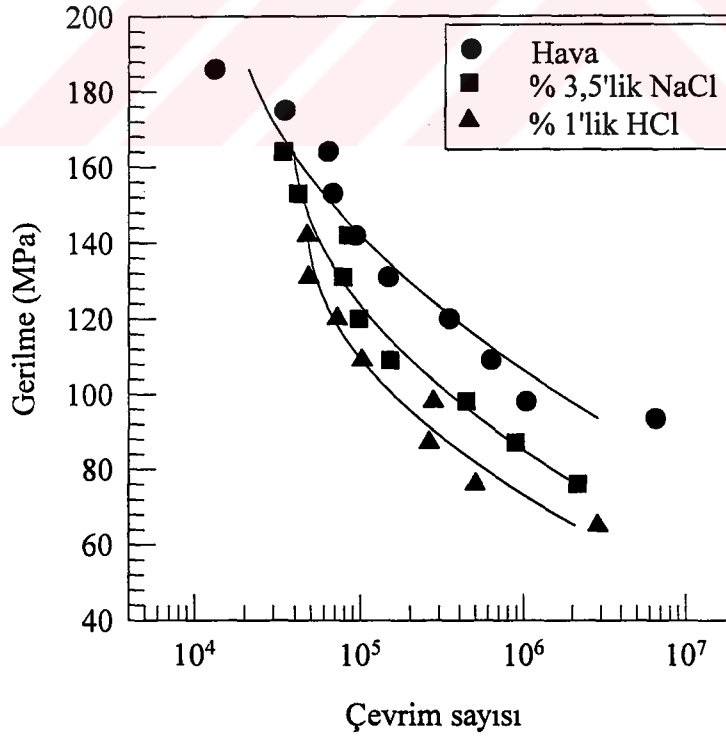
Şekil 24. Dökülmüş durumdaki üçlü Zn-Al-Cu alaşımlarından % 1'lik HCl sulu çözelti ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri



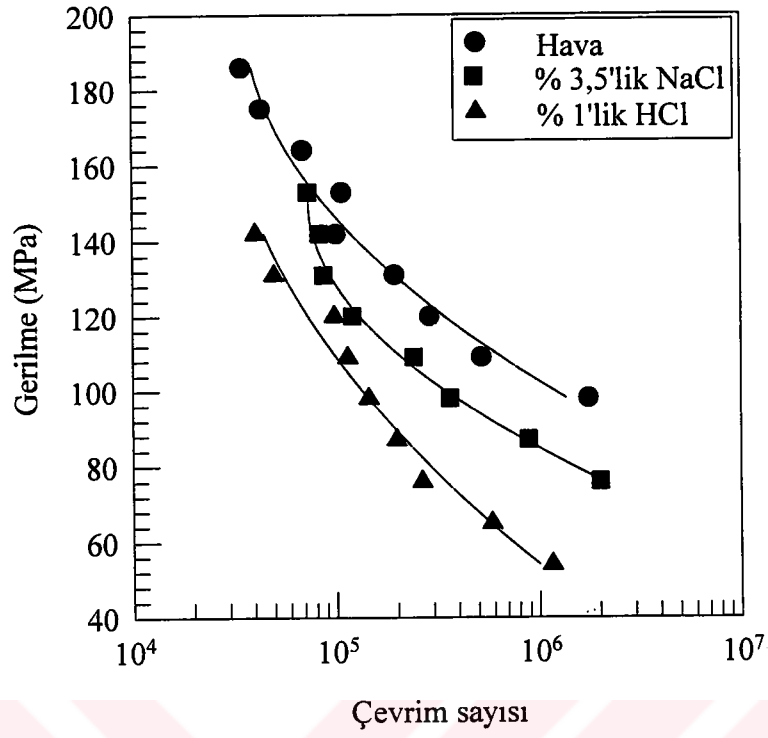
Şekil 25. Dökülmüş durumdaki ZnAl20 ve ZnAl40Cu1 alaşımlarından hava ortamında elde edilen verilerdeki saçılmayı gösteren gerilme-çevrim sayısı eğrileri



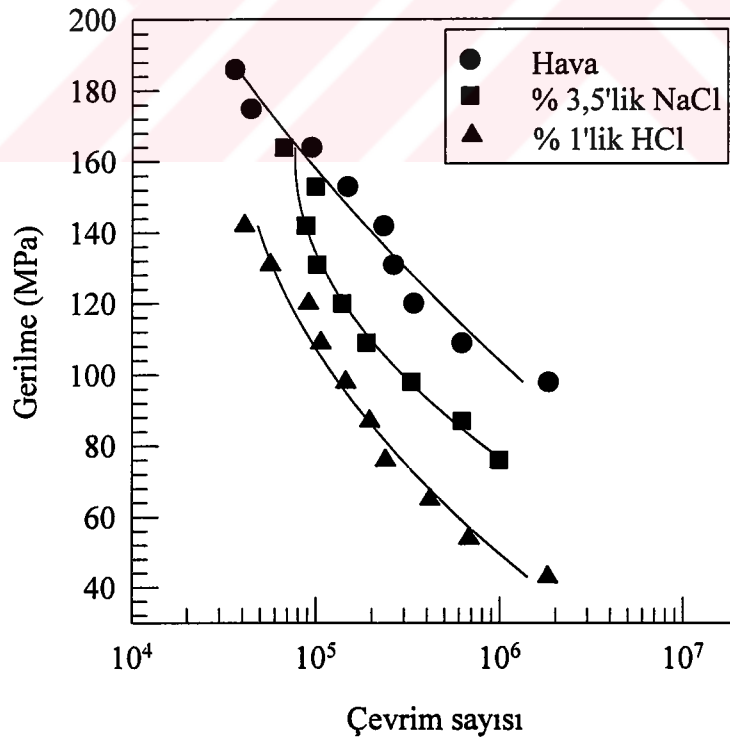
Şekil 26. ZnAl₂₀ alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri



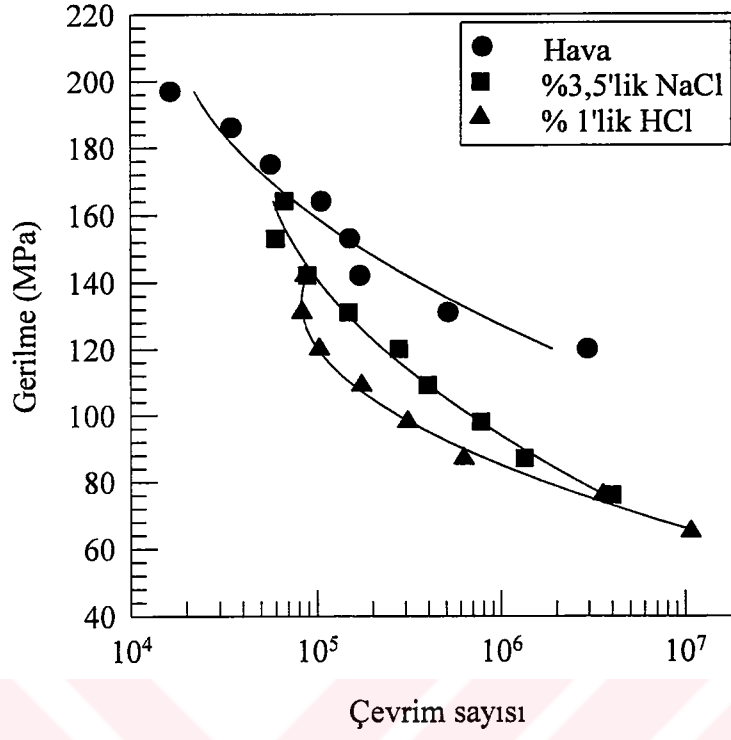
Şekil 27. ZnAl₄₀ alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri



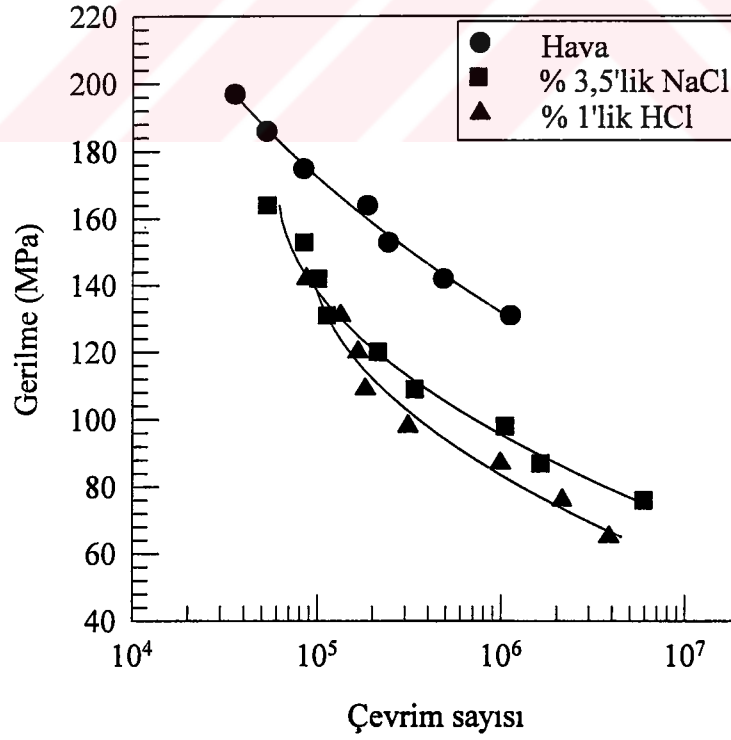
Şekil 28. ZnAl60 alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri



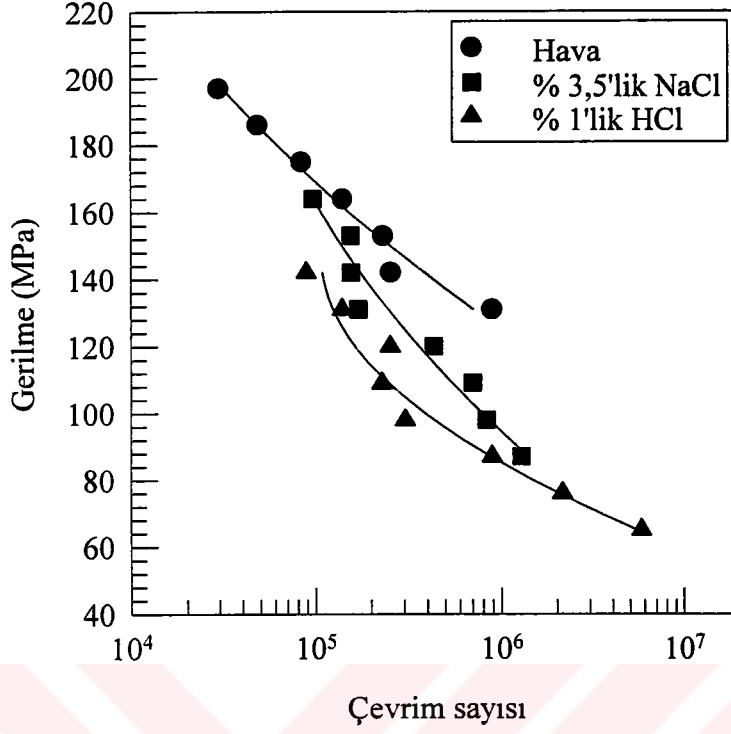
Şekil 29. ZnAl180 alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri



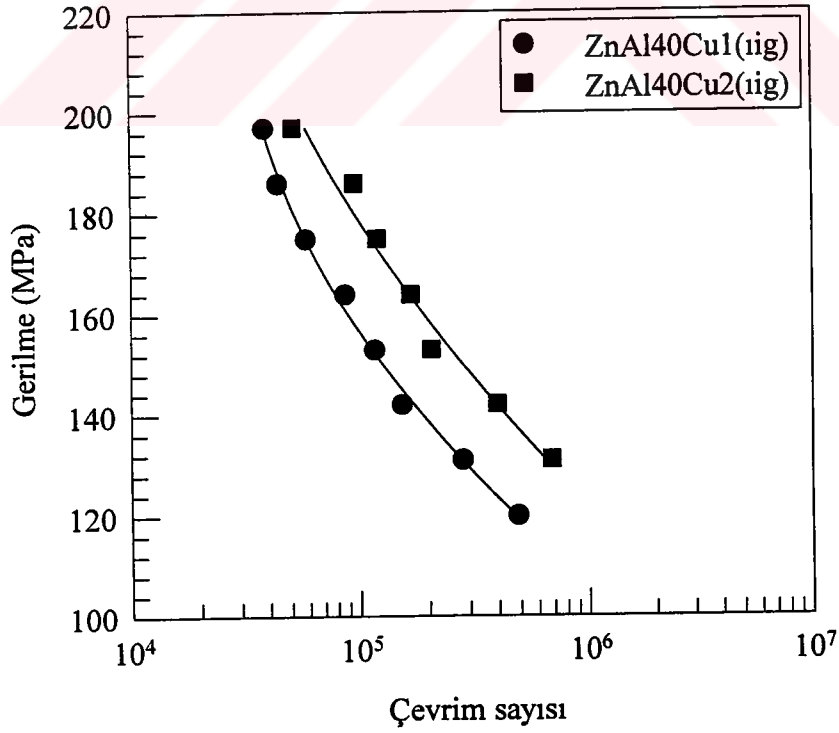
Şekil 30. ZnAl40Cu1 alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri



Şekil 31. ZnAl40Cu3 alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri



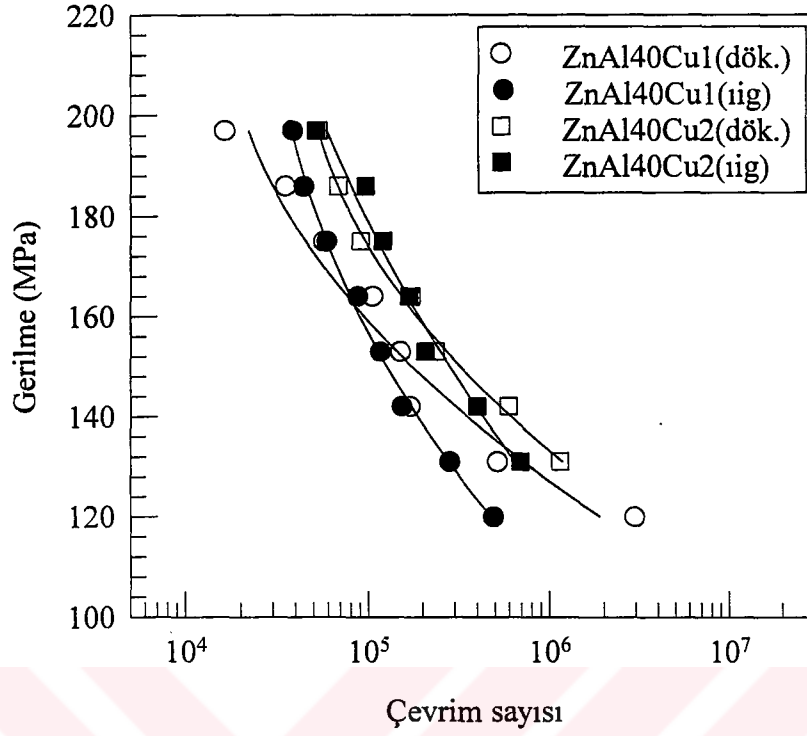
Şekil 32. ZnAl40Cu5 alaşımından farklı ortamlarda elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri



Şekil 33. Isıl işlem görmüş durumdaki üçlü ZnAl40Cu1 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarından hava ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri

Tablo 10. Korozyon ortamlarının alaşımların yorulma dayanımına etkisi

Alaşım	Çevrim sayısı	Yorulma dayanımı (MPa)			Yorulma dayanımındaki azalma oranı (%)		
		Ortam			Ortam		
		Hava	Tuzlu su	Asit çözeltisi	Tuzlu su	Asit çözeltisi	Asit çözeltisi
ZnAl20	1x10 ⁵	140	130	115	7		18
	8x10 ⁵	105	100	83	5		21
ZnAl40	1x10 ⁵	142	124	110	13		23
	8x10 ⁵	109	88	76	19		30
ZnAl60	1x10 ⁵	147	130	110	12		25
	8x10 ⁵	106	81	59	24		45
ZnAl80	1x10 ⁵	158	132	107	17		32
	8x10 ⁵	109	87	54	20		51
ZnAl40Cu1	1x10 ⁵	159	141	121	11		24
	8x10 ⁵	130	97	87	25		33
ZnAl40Cu3	1x10 ⁵	173	138	136	20		22
	8x10 ⁵	136	98	89	28		35
ZnAl40Cu5	1x10 ⁵	169	163	140	4		17
	8x10 ⁵	131	100	90	24		31



Şekil 34. Dökülmüş ve ısıl işlem görmüş durumdaki ZnAl40Cu1 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarından hava ortamında elde edilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri

3.2.2.1. Yorulma Deneylerinden Elde Edilen Verilerin Korelasyonu

Kimyasal bileşimin çinko-alüminyum alaşımlarının değişik ortamlardaki yorulma özelliklerine etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerden elde edilen yorulma eğrilerinden yararlanılarak, alaşımların yorulma dayanımları ve yorulma ömürlerinin içerdikleri alüminyum ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren eğriler çizildi. Kimyasal bileşimin söz konusu alaşımların hava ortamındaki yorulma özelliklerine etkisini gösteren eğriler Şekil 19 ve 20'deki eğrilerden, tuzlu su ortamındaki etkisini gösteren eğriler Şekil 21 ve 22'deki eğrilerden, asit ortamındaki etkisini gösteren eğriler ise Şekil 23 ve 24'deki eğrilerden yararlanılarak çizilmiş ve bu eğriler sırasıyla Şekil 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45 ve 46'da verilmiştir.

Şekil 35'deki eğriler ikili çinko-alüminyum alaşımlarının yorulma dayanımlarının artan alüminyum oranı ile doğrusal olarak arttığını göstermektedir. Ayrıca, çevrim sayısı azaldıkça doğruların eğimlerinin arttığı, dolayısıyla sözü edilen alaşımların yorulma

dayanımlarının alüminyum oranına daha duyarlı hale geldiği görülmektedir. Bu eğriler üzerinde yapılan matematiksel değerlendirmeler sonucunda, söz konusu alaşımların yorulma dayanımları ile alüminyum oranları arasında aşağıda verilen doğru denklemleriyle ifade edilebilen ilişkiler bulunduğu belirlenmiştir.

5×10^4 'lük çevrim sayısında: Yorulma dayanımı = $0,42 \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 143,0$

8×10^4 'lük çevrim sayısında: Yorulma dayanımı = $0,32 \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 135,8$

2×10^5 'lik çevrim sayısında : Yorulma dayanımı = $0,19 \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 122,7$

5×10^5 'lik çevrim sayısında : Yorulma dayanımı = $0,09 \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 110,5$

8×10^5 'lik çevrim sayısında : Yorulma dayanımı = $0,05 \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 104,7$

Burada yorulma dayanımının birimi MPa' dır. Yukarıdaki matematiksel bağıntılarla ifade edilen doğruların korelasyon katsayıları 5×10^4 'lük çevrim sayısında 0,98 , 8×10^4 'lük çevrim sayısında 0,96 , 2×10^5 'lik çevrim sayısında 0,95 , 5×10^5 'lik çevrim sayısında 0,96 ve 8×10^5 'lik çevrim sayısında ise 0,94 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 36'daki eğriler de ikili çinko-alüminyum alaşımlarının hava ortamındaki yorulma ömrünün genel olarak artan alüminyum oranı ile arttığını göstermektedir. Ancak, alüminyum oranı arttıkça sözü edilen alaşımların yorulma ömründe meydana gelen bu artışın 150 MPa ve üzerindeki gerilme değerlerinde doğrusal bir değişim gösterdiği, bu değerlerin altındaki gerilmelerde ise ikinci dereceden denklemlerle ifade edilebilen eğrilerle gösterilebileceği belirlenmiştir. Öte yandan gerilme arttıkça alaşımların yorulma ömürleri arasındaki farkın azaldığı görülmektedir. Yorulma ömrünün alüminyum oranına göre doğrusal değişimini gösteren bağıntılar aşağıda verilmiştir.

150 MPa'lık gerilmelerde: Yorulma ömrü = $1112 \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 31239$

160 MPa'lık gerilmelerde: Yorulma ömrü = $999 \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 8910$

Yukarıdaki matematiksel bağıntılarla ifade edilen doğruların korelasyon katsayıları 150 MPa'lık gerilmelerde 0,97 ve 160 MPa'lık gerilmelerde ise 0,98 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 37 ve 38'deki eğriler ise bakır katkısının ikili ZnAl40 alaşımının hava ortamındaki yorulma dayanımı ve yorulma ömrüne etkisini göstermektedir. Bu şekillerden, ZnAl40 alaşımının yorulma dayanımı ve yorulma ömrünün artan bakır oranı ile arttığı, ancak bakır oranının % 2'yi aşması durumunda söz konusu değerlerin artan bakır oranı ile

azaldığı görülmektedir. Bu durum, bakır katkısının söz konusu alaşımın yorulma dayanımı ve yorulma ömrüne etkisinin belirli bir bakır oranından sonra azaldığı anlamına gelmektedir. Ayrıca, bu şekillerden bakır katkısının söz konusu alaşımın yorulma dayanımı ve yorulma ömrü üzerinde benzer etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte gerilme arttıkça bakır katkısının sözü edilen alaşımın yorulma ömrü üzerindeki etkisi azalmaktadır.

Alüminyum oranının ikili çinko-alüminyum alaşımlarının tuzlu su ortamındaki yorulma dayanımı ve yorulma ömürlerine etkisi sırasıyla Şekil 39 ve 40'daki eğrilerden görülmektedir. Şekil 39'daki eğriler bu alaşımların yorulma dayanımının yüksek çevrim sayılarında ($>2 \times 10^5$) artan alüminyum oranı ile doğru orantılı olarak azaldığını, düşük çevrim sayılarında ise artan alüminyum oranı ile arttığını göstermektedir. Ancak bu artışın doğrusal olmayıp, ikinci dereceden bir denklemle ifade edilebilen bir eğri ile gösterilebileceği belirlenmiştir. Tuzlu su ortamında alaşımların yorulma dayanımlarının içerdikleri alüminyum oranı ile doğru orantılı olarak değiştiğini gösteren bağıntılar aşağıda verilmiştir.

5×10^5 'lik çevrim sayısında: Yorulma dayanımı = $-0.26 \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 108.7$

10^6 'lık çevrim sayısında : Yorulma dayanımı = $-0.32 \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 102.3$

Yukarıdaki matematiksel bağıntılarla ifade edilen doğruların korelasyon katsayıları: 5×10^5 'lik çevrim sayısında 0,95 ve 10^6 'lık çevrim sayısında 0,96 olarak bulunmuştur.

Alüminyum oranının çinko-alüminyum alaşımlarının tuzlu su ortamındaki yorulma ömürlerine etkisinin uygulanan gerilmeye bağlı olduğu Şekil 40'daki eğrilerden görülmektedir. Şöyle ki; bu alaşımların yorulma ömrü 90 ve 110 MPa'lık gerilmeler altında artan alüminyum oranı ile azalmakta, 110 ve 130 MPa'lık gerilmelerde artan alüminyum oranı ile çok az miktarda azalmakta, 150 MPa'lık gerilme altında ise artan alüminyum oranı ile doğrusal olarak artmaktadır. 150 MPa'lık gerilme altında, alaşımların yorulma ömrünün alüminyum oranı ile doğrusal olarak değiştiğini gösteren bağıntı aşağıda verilmiştir.

$\log(\text{Yorulma ömrü}) = 4,94 \times 10^{-3} \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 4,52$

Bu bağıntıda korelasyon katsayısı 0,95 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 42 ve 42'deki eğriler bakır katkısının ikili ZnAl40 alaşımının tuzlu su ortamındaki yorulma dayanımı ve yorulma ömrüne etkilerini göstermektedir. Şekil 41'den %1 oranına kadar katılan bakırın ZnAl40 alaşımının yorulma dayanımını artırdığı, %1 - %3 oranları arasındaki bakır katkısının yorulma dayanımını fazla etkilemediği, %3'den daha yüksek oranlardaki bakır katkılarının ise özellikle düşük çevrim sayılarında yorulma dayanımını artırdığı görülmektedir. Bu eğriler, ayrıca bakır katkısının yorulma dayanımına etkisinin artan çevrim sayısı ile azaldığını sergilemektedir. Şekil 42'deki eğriler ise ikili ZnAl40 alaşımının bu ortamdaki yorulma ömrünün artan bakır oranı ile arttığını göstermektedir. Ancak, bakır katkısının %3'ü aşması durumunda söz konusu alaşımın özellikle düşük gerilme değerlerinde ölçülen yorulma ömrünün artan bakır oranı ile azaldığı görülmektedir.

Şekil 43'de verilen eğriler alüminyum oranının ikili çinko-alüminyum alaşımlarının %1'lik HCl sulu çözelti ortamındaki yorulma dayanımına etkisini sergilemektedir. Bu şekilde, alüminyum oranı arttıkça söz konusu alaşımların yorulma dayanımlarının genelde azaldığı görülmektedir. Özellikle yüksek çevrim sayılarında bu alaşımların alüminyum oranı ile yorulma dayanımı arasında aşağıdaki matematiksel bağıntılarla ifade edilebilen ilişkilerin olduğu belirlenmiştir. Ancak, düşük çevrim sayılarında bu alaşımların bu ortamdaki yorulma dayanımının alüminyum oranı ile fazla değişmediği görülmektedir.

5×10^5 'lik çevrim sayısında: Yorulma dayanımı = $-0.65 \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 109.3$

(Korelasyon katsayısı = 0.99)

10^6 'lık çevrim sayısında : Yorulma dayanımı = $-0.56 \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 91.9$

(Korelasyon katsayısı = 0.98)

Şekil 44'deki eğriler de alüminyum oranının ikili çinko-alüminyum alaşımlarının %1'lik HCl sulu çözelti ortamındaki yorulma ömrüne etkisini göstermektedir. Bu şekilde, sözü edilen alaşımların bu ortamdaki yorulma ömrünün artan alüminyum oranı ile doğrusal olarak azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte yüksek gerilme değerlerinde alüminyum oranı arttıkça söz konusu alaşımların yorulma ömrü pek değişmemektedir. Ayrıca, gerilme azaldıkça doğruların eğiminin arttığı, yani bu alaşımların yorulma ömrünün alüminyum oranına daha duyarlı hale geldiği görülmektedir. Bu eğriler üzerinde yapılan matematiksel değerlendirme sonucunda, söz konusu alaşımların bu ortamdaki yorulma ömrü ile

alüminyum oranları arasında aşağıda verilen bağıntılarla ifade edilebilen ilişkilerin bulunduğu belirlenmiştir.

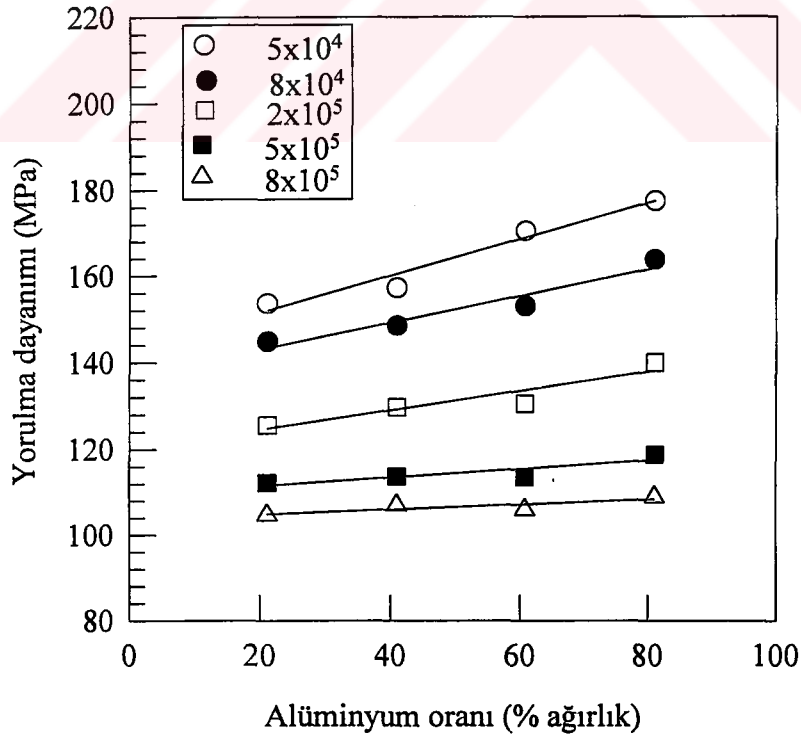
$$70 \text{ MPa'lık gerilmeye: } \log(\text{Yorulma ömrü}) = -0.014 \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 6.64$$

(Korelasyon katsayısı = 0.98)

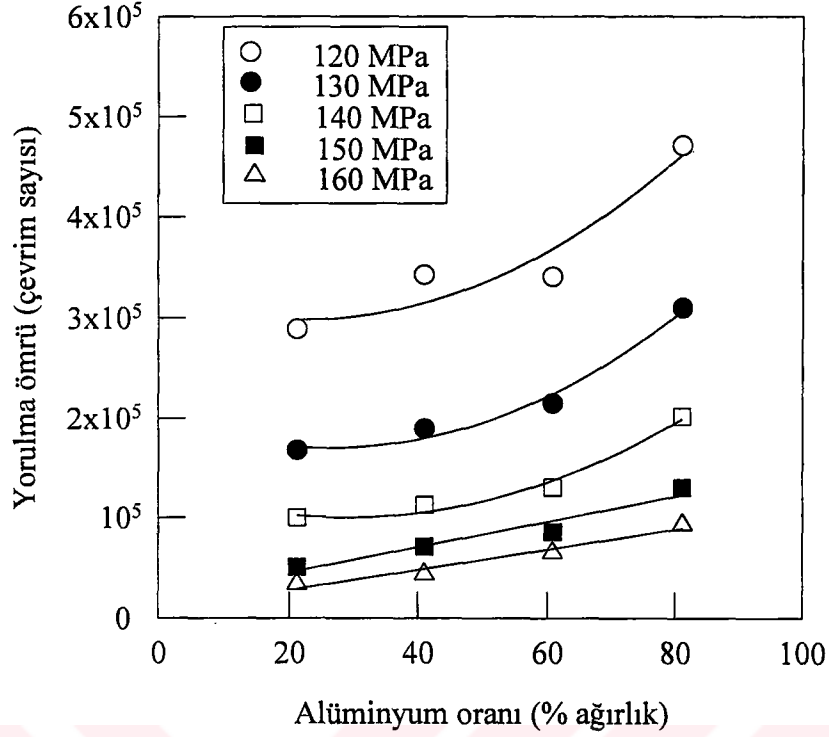
$$90 \text{ MPa'lık gerilmeye: } \log(\text{Yorulma ömrü}) = -6.84 \times \% \text{ Alüminyum oranı} + 5.75$$

(Korelasyon katsayısı = 0.98)

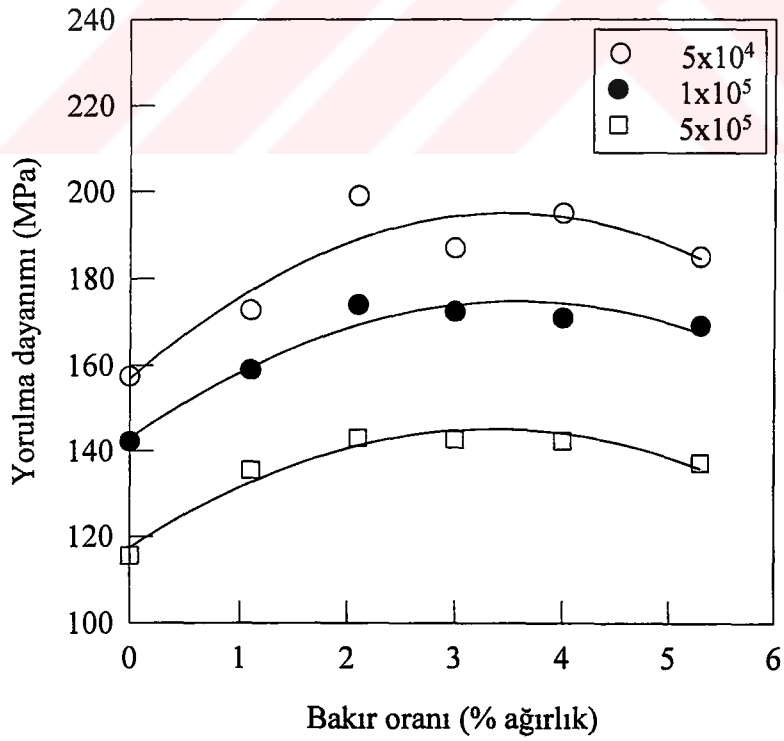
Şekil 45 ve 46'deki eğriler de bakır katkısının ikili ZnAl40 alaşımının %1'lik HCl sulu çözelti ortamındaki yorulma dayanımı ve yorulma ömrüne etkilerini göstermektedir. Şekil 45'deki eğrilerde söz konusu alaşımın yorulma dayanımının bu ortamda da artan bakır oranı ile arttığı, ancak bakır oranının düşük çevrim sayılarında yorulma dayanımı üzerinde daha etkili olduğu görülmektedir. Şekil 46'deki eğriler ise bakır katkısının ikili ZnAl40 alaşımının yorulma ömrünü de artırdığını göstermektedir. Ancak, bakır oranının %3 değerini aşması durumunda bu alaşımın yorulma ömrünün özellikle düşük gerilme değerlerinde artan bakır oranı ile azaldığı görülmektedir.



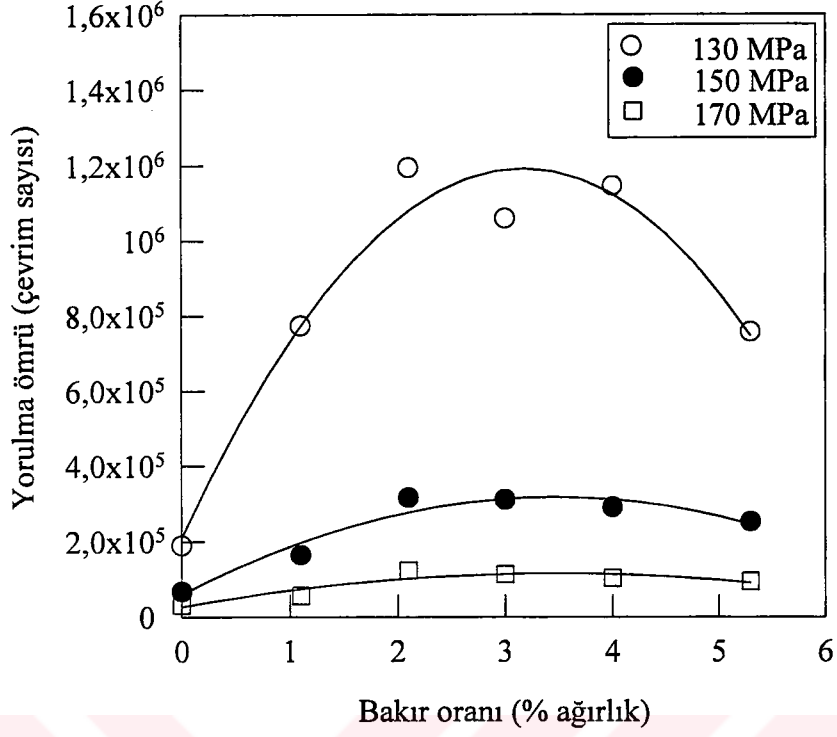
Şekil 35. Alüminyum oranının ikili Zn-Al alaşımlarının hava ortamındaki yorulma dayanımına etkisi



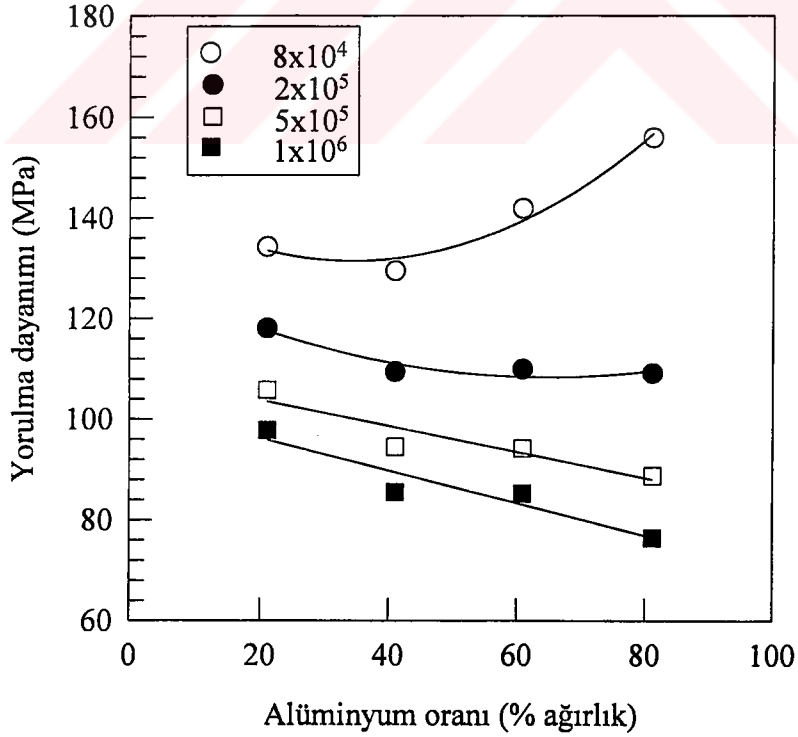
Şekil 36. Alüminyum oranının ikili Zn-Al alaşımlarının hava ortamındaki yorulma ömrüne etkisi



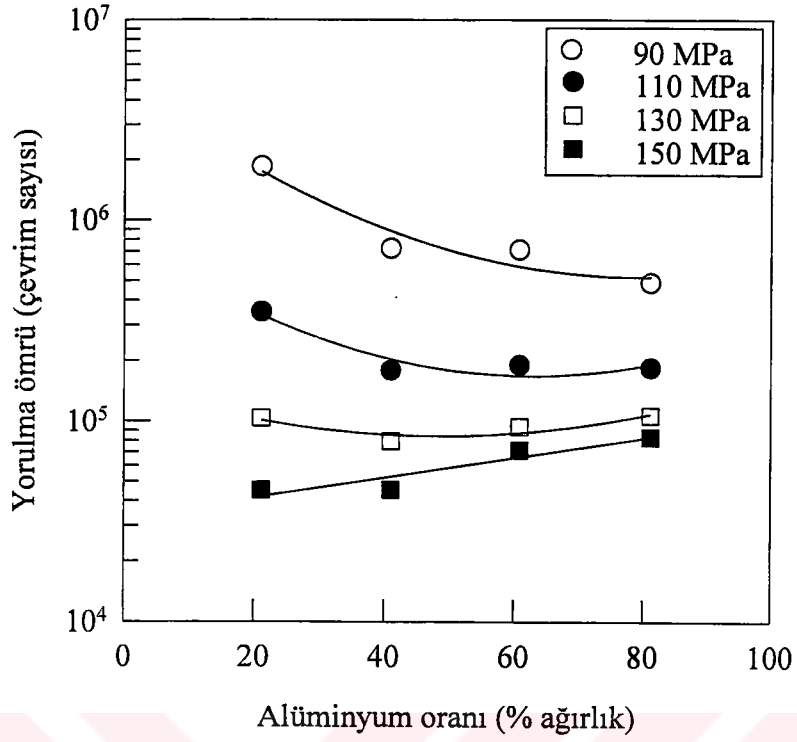
Şekil 37. Bakır oranının ZnAl40 alaşımının hava ortamındaki yorulma dayanımına etkisi



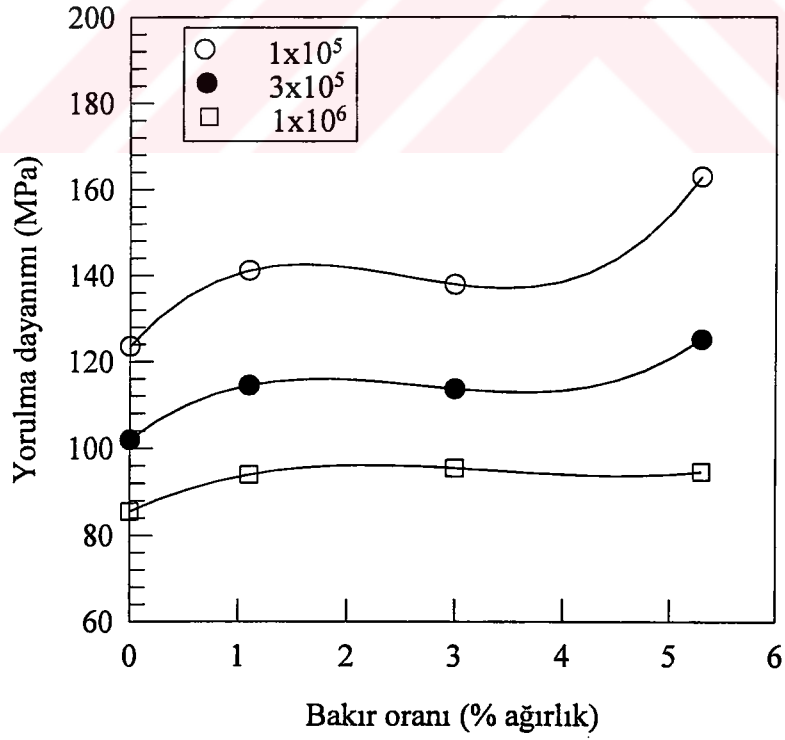
Şekil 38. Bakır katkısının ZnAl40 alaşımının hava ortamındaki yorulma ömrüne etkisi



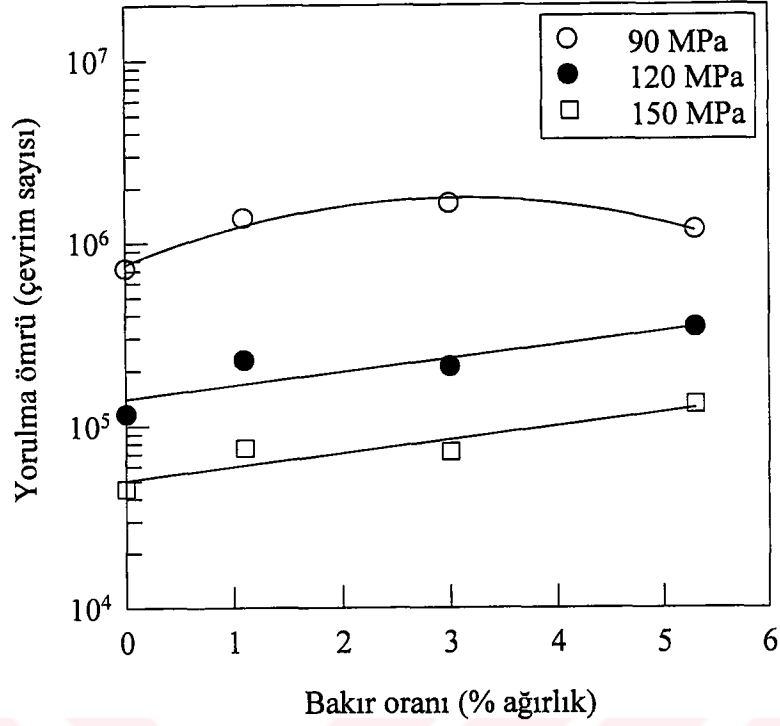
Şekil 39. Alüminyum oranının ikili çinko-alüminyum alaşımlarının % 3,5'lik NaCl ortamındaki yorulma dayanımına etkisi



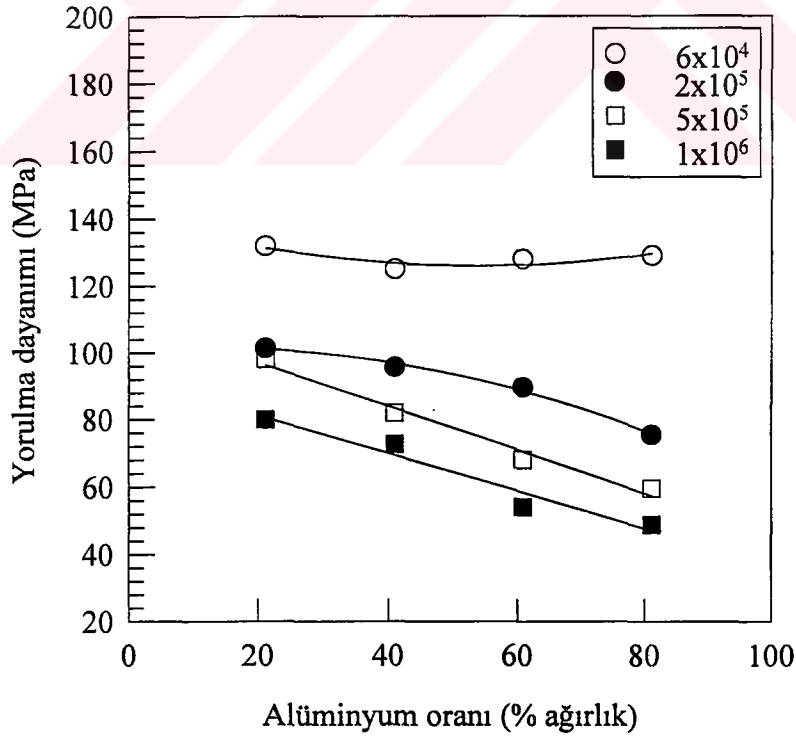
Şekil 40. Alüminyum oranının ikili çinko-alüminyum alaşımlarının % 3,5'lik NaCl ortamındaki yorulma ömrüne etkisi



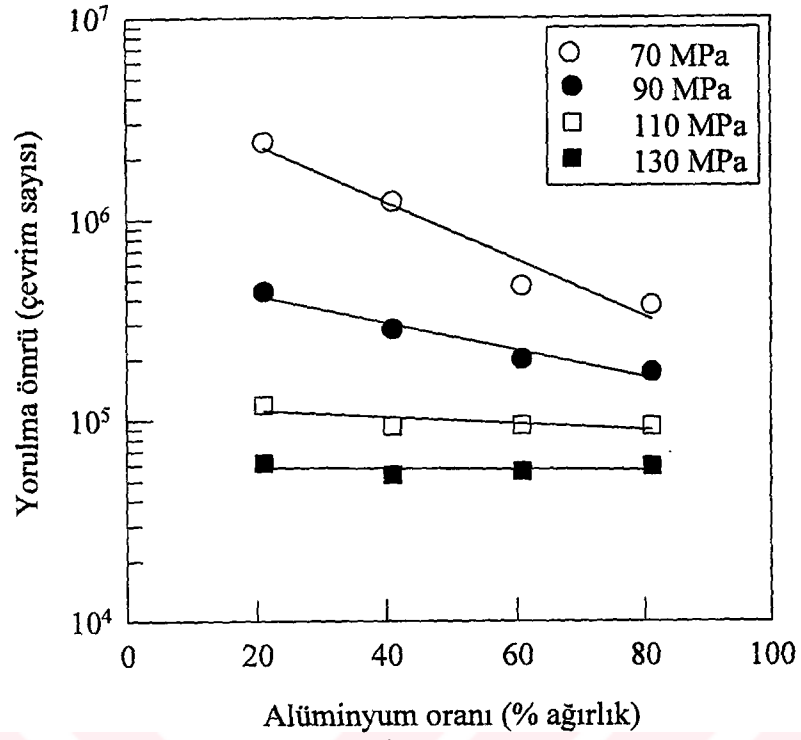
Şekil 41. Bakır katkısının ZnAl40 alaşımının, %3,5'lik NaCl ortamındaki yorulma dayanımına etkisi



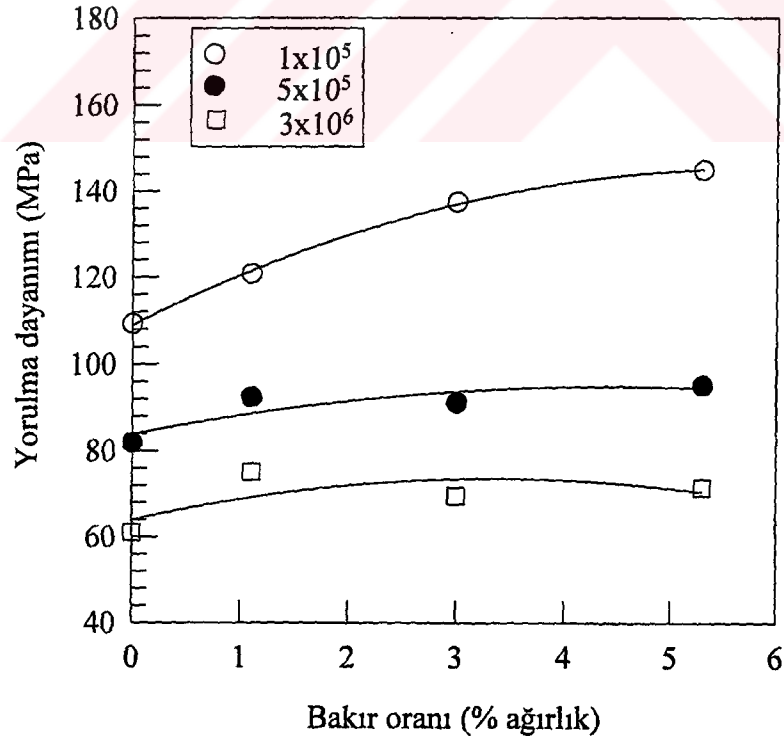
Şekil 42. Bakır katkısının ZnAl40 alaşımının, %3,5'lik NaCl ortamındaki yorulma ömrüne etkisi



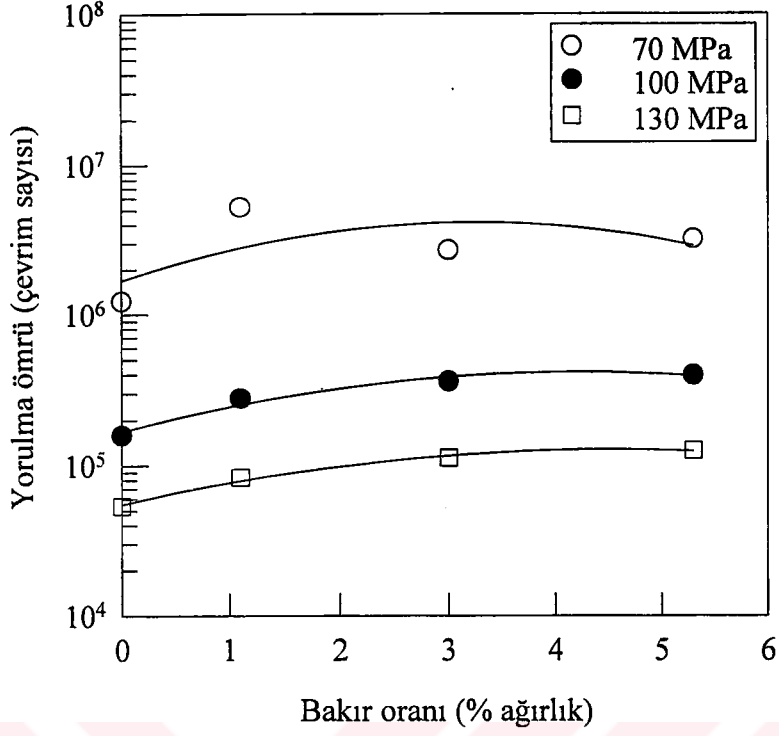
Şekil 43. Alüminyum oranının ikili çinko-alüminyum alaşımlarının %1'lik HCl sulu çözelti ortamındaki yorulma dayanımına etkisi



Şekil 44. Alüminyum oranının ikili çinko-alüminyum alaşımlarının %1'lik HCl sulu çözelti ortamındaki yorulma ömrüne etkisi



Şekil 45. Bakır katkısının ZnAl40 alaşımının %1'lik HCl sulu çözelti ortamındaki yorulma dayanımına etkisi



Şekil 46. Bakır katkısının ZnAl40 alaşımının %1'lik HCl sulu çözelti ortamındaki yorulma ömrüne etkisi

Uzun ömürlü yorulmada, ortalama gerilmenin sıfır olması durumunda malzemelerin yorulma dayanımı ve yorulma ömrü arasında aşağıdaki formülle ifade edilen Basquin bağıntısının geçerli olduğu bilinmektedir [40].

$$N = c \sigma^{-k} \quad (3)$$

Burada σ gerilme genliği, N örnek kırılıncaya kadar dayanabildiği çevrim sayısı yani yorulma ömrü, k ve c malzemeye bağlı sabitlerdir. Bu bağıntının logaritması alındığında söz konusu bağıntı,

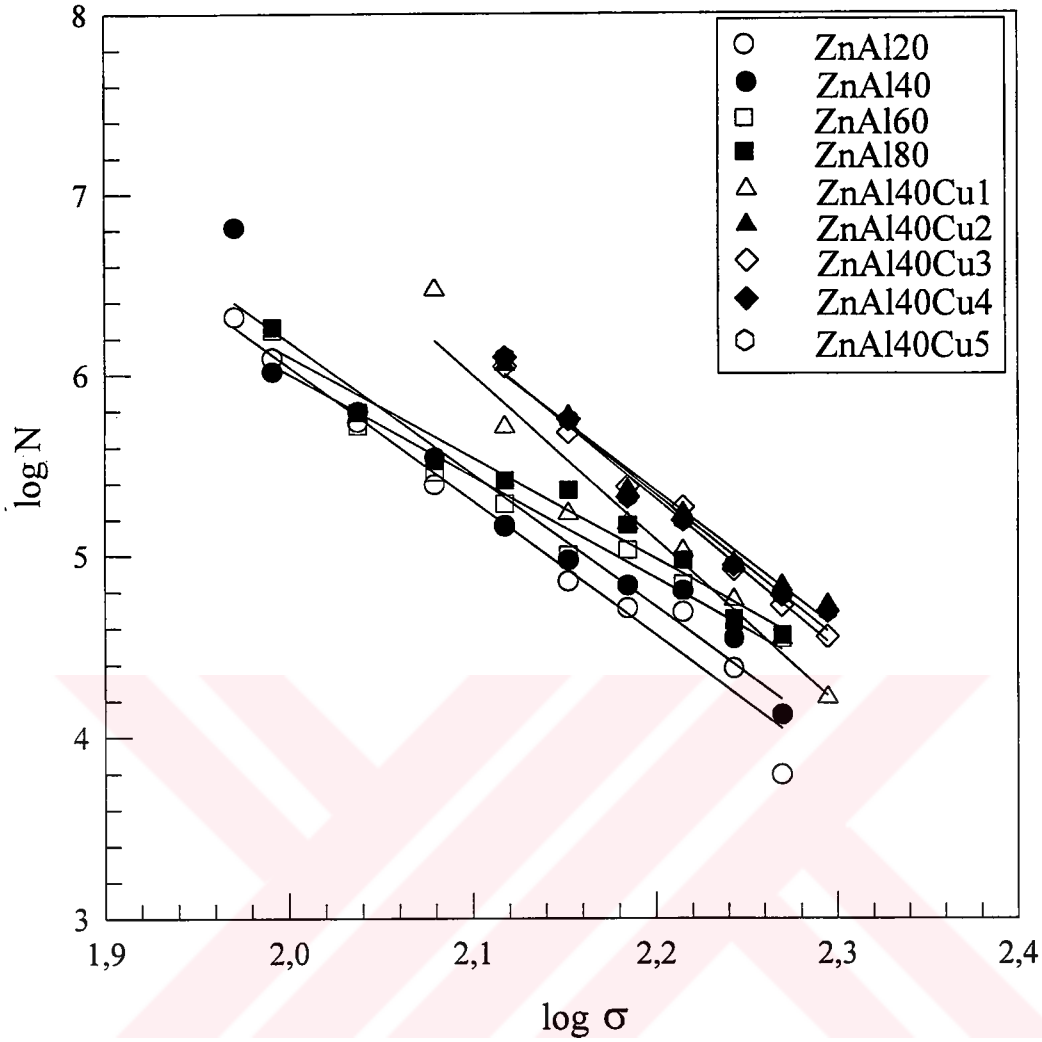
$$\log N = -k \log \sigma + \log c \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eğer Basquin bağıntısı bir malzeme için geçerli ise $\log N$ 'in $\log \sigma$ 'ya göre değişiminin lineer yani doğru biçiminde olması ve bu doğrunun eğiminin de k olması gerekir [40].

Bu çalışmada incelenen ikili ve üçlü çinko-alüminyum alaşımlarından hava ortamındaki yorulma deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak çizilen yorulma ömrü ($\log N$) – gerilme genliği ($\log \sigma$) eğrileri Şekil 47’de, tuzlu su ortamındaki verilerden yararlanılarak çizilen $\log N - \log \sigma$ eğrileri Şekil 48’de, asit ortamındaki verilerden yararlanılarak elde edilen eğriler ise Şekil 49’da verilmiştir. Ayrıca, ısıtma işlem görmüş durumdaki ZnAl40Cu1 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarından hava ortamında elde edilen verilerden yararlanılarak çizilen $\log N - \log \sigma$ eğrileri de Şekil 50’de gösterilmiştir. En küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilen bu doğruların korelasyon katsayılarının 1’e çok yakın olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, dökülmüş durumdaki alaşımların hava, tuzlu su ve asitli su ortamlarındaki, ısıtma işlem görmüş durumdaki alaşımların ise hava ortamındaki yorulma davranışlarının Basquin bağıntısı ile ifade edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu durumda, söz konusu doğruların eğimleri her bir alaşımın farklı ortamlardaki k sabitlerini verir. Bu değerlere karşılık gelen c sabitleri ise bu doğruların denklemlerinden elde edilir.

Şekil 47’deki doğrular üzerinde yapılan matematiksel değerlendirmeler sonucunda her bir alaşım için yorulma ömrü (N) ile uygulanan gerilme (σ) arasında aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilen ilişkiler olduğu belirlenmiştir. Buradan, dökülmüş durumdaki alaşımların hava ortamındaki yorulma ömürlerinin bu bağıntılar yardımıyla belirlenebileceği sonucuna varılmıştır.

ZnAl20 alaşımı için	: $\log N = -7,41 \log \sigma + 20,89$	korelasyon katsayısı = 0,99
ZnAl40 alaşımı için	: $\log N = -7,33 \log \sigma + 20,85$	korelasyon katsayısı = 0,97
ZnAl60 alaşımı için	: $\log N = -5,65 \log \sigma + 17,31$	korelasyon katsayısı = 0,98
ZnAl80 alaşımı için	: $\log N = -5,60 \log \sigma + 17,30$	korelasyon katsayısı = 0,98
ZnAl40Cu1 alaşımı için	: $\log N = -9,10 \log \sigma + 25,13$	korelasyon katsayısı = 0,97
ZnAl40Cu2 alaşımı için	: $\log N = -7,69 \log \sigma + 22,28$	korelasyon katsayısı = 0,99
ZnAl40Cu3 alaşımı için	: $\log N = -8,35 \log \sigma + 23,69$	korelasyon katsayısı = 0,99
ZnAl40Cu4 alaşımı için	: $\log N = -8,03 \log \sigma + 22,99$	korelasyon katsayısı = 0,99
ZnAl40Cu5 alaşımı için	: $\log N = -7,66 \log \sigma + 22,07$	korelasyon katsayısı = 0,99

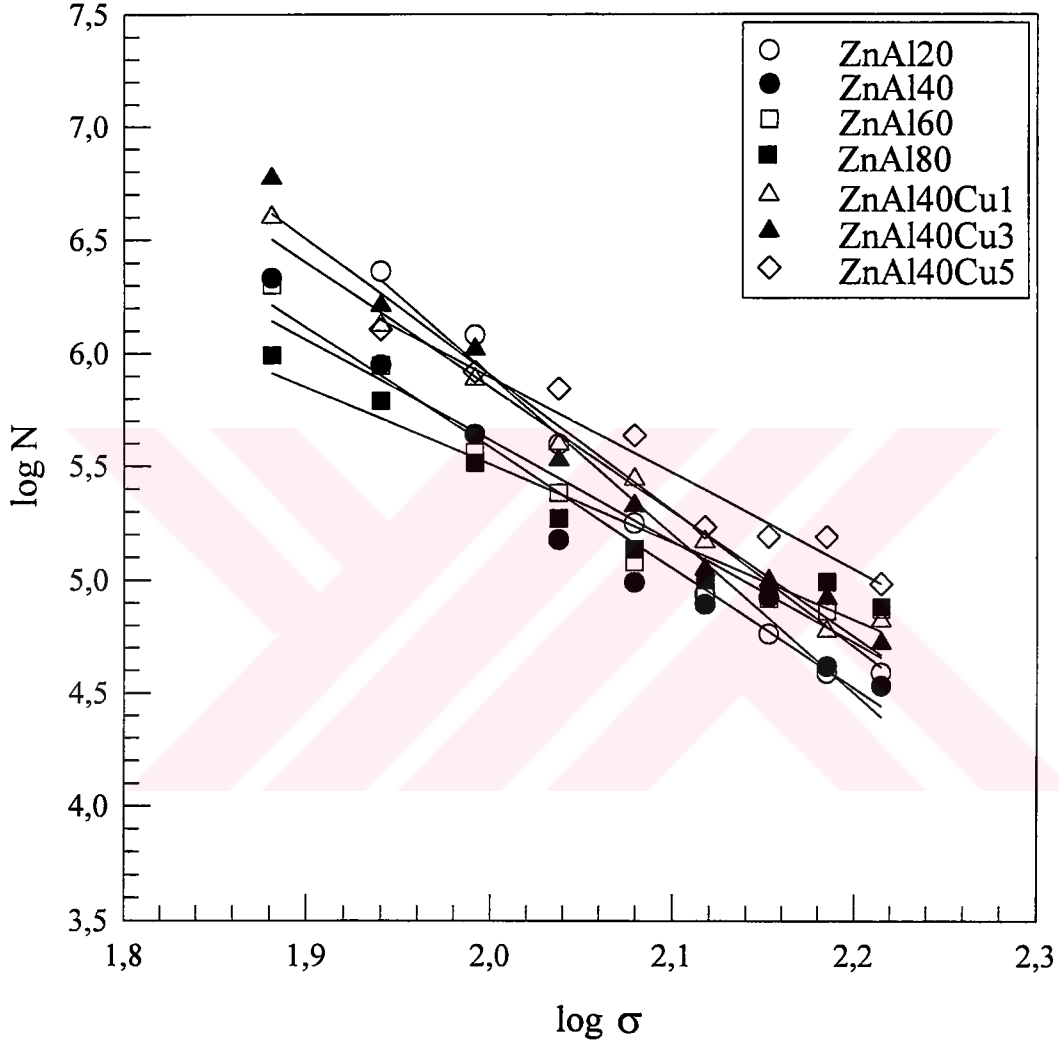


Şekil 47. Dökülmüş durumdaki alaşımlardan hava ortamında elde edilen log N – log σ diyagramları

Şekil 48'deki doğrular üzerinde yapılan matematiksel değerlendirmeler sonucunda, dökülmüş durumdaki her bir alaşımın tuzlu su ortamındaki yorulma ömrünün (N) uygulanan gerilmeye (σ) bağlı olarak aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanabileceği belirlenmiştir.

ZnAl20 alaşımı için	:	$\log N = -7,00 \log \sigma + 19,91$	korelasyon katsayısı = 0,99
ZnAl40 alaşımı için	:	$\log N = -5,31 \log \sigma + 16,20$	korelasyon katsayısı = 0,98
ZnAl60 alaşımı için	:	$\log N = -4,45 \log \sigma + 14,51$	korelasyon katsayısı = 0,96
ZnAl80 alaşımı için	:	$\log N = -3,41 \log \sigma + 12,33$	korelasyon katsayısı = 0,97

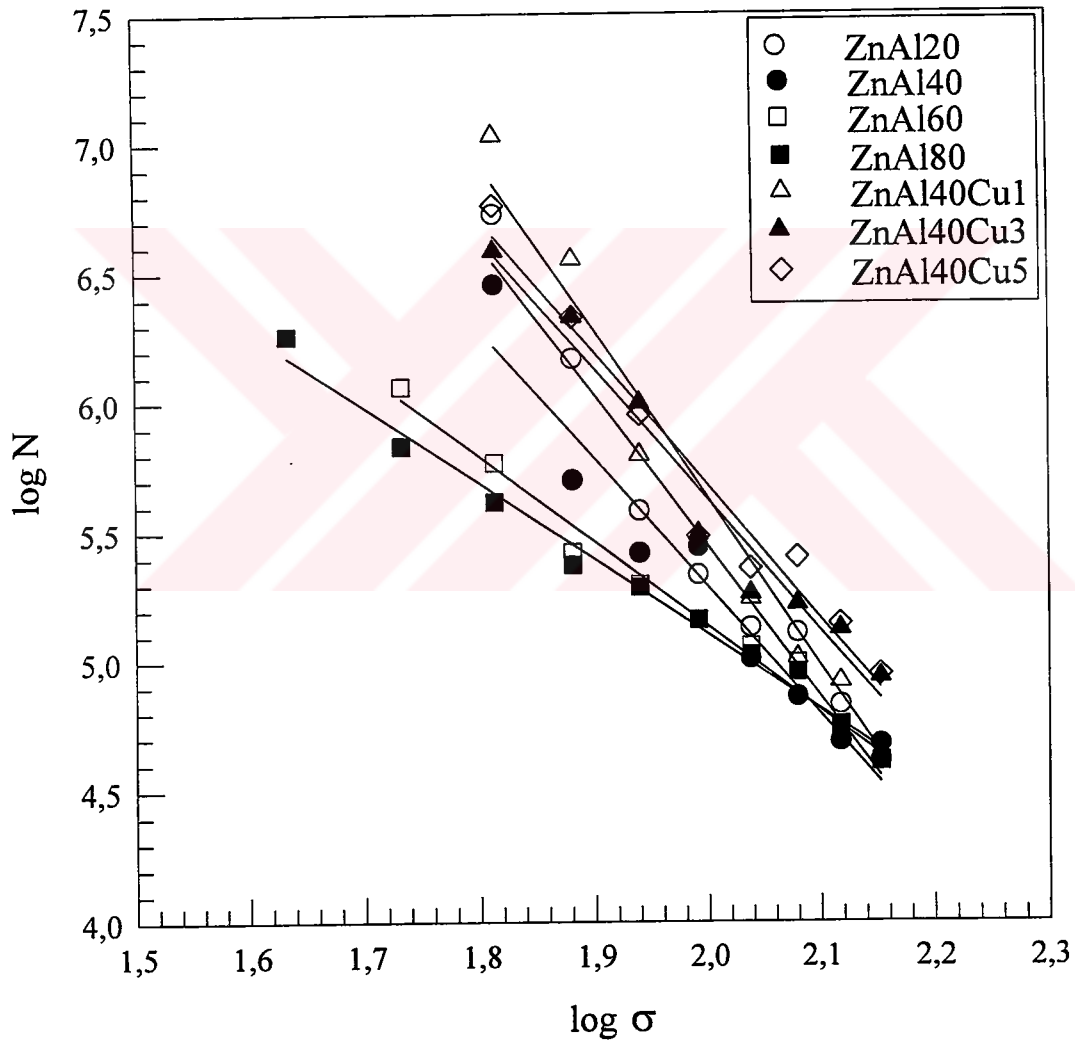
ZnAl40Cu1 alaşımı için : $\log N = -5,49 \log \sigma + 16,84$ korelasyon katsayısı = 0,99
 ZnAl40Cu3 alaşımı için : $\log N = -5,97 \log \sigma + 17,88$ korelasyon katsayısı = 0,98
 ZnAl40Cu5 alaşımı için : $\log N = -4,23 \log \sigma + 14,35$ korelasyon katsayısı = 0,97



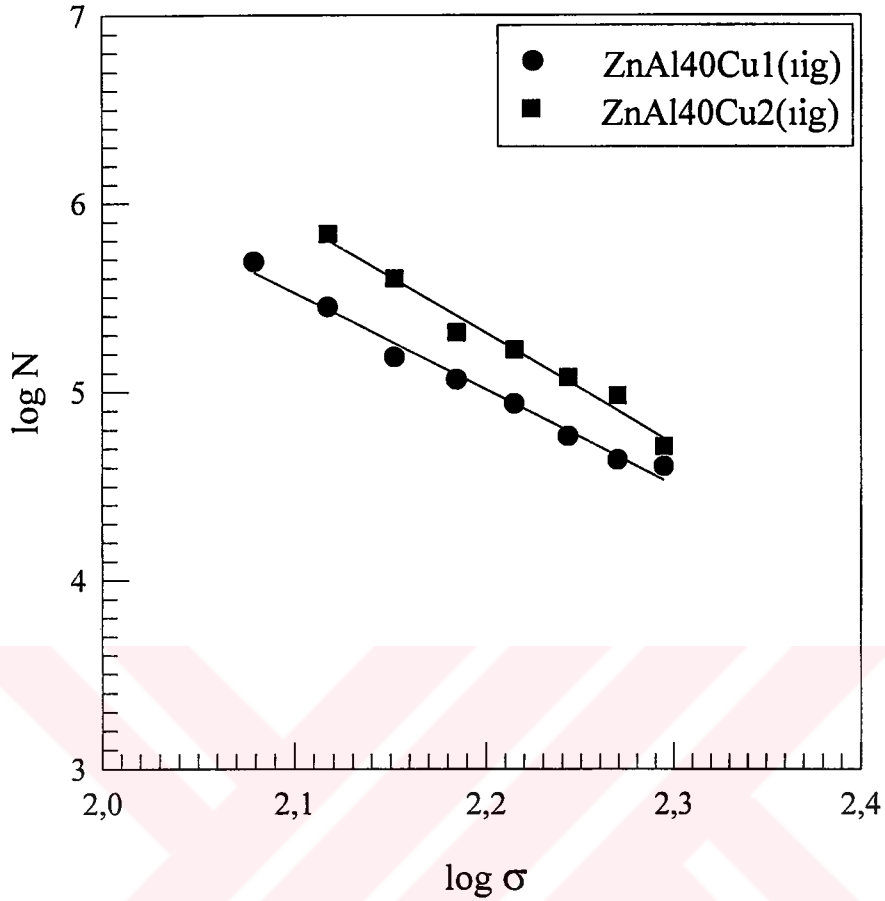
Şekil 48. Dökülmüş durumdaki alaşımlardan %3,5'lik NaCl ortamında elde edilen log N – log σ diyagramları

Dökülmüş durumdaki her bir alaşımın HCl sulu çözelti ortamındaki yorulma ömrü (N) ile uygulanan gerilme (σ) arasında aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilen ilişkiler olduğu Şekil 49'dan belirlenmiştir.

ZnAl20 alaşımı için	: $\log N = -5,85 \log \sigma + 17,15$	korelasyon katsayısı = 0,98
ZnAl40 alaşımı için	: $\log N = -4,97 \log \sigma + 15,24$	korelasyon katsayısı = 0,97
ZnAl60 alaşımı için	: $\log N = -3,29 \log \sigma + 11,71$	korelasyon katsayısı = 0,99
ZnAl80 alaşımı için	: $\log N = -2,93 \log \sigma + 10,96$	korelasyon katsayısı = 0,99
ZnAl40Cu1 alaşımı için	: $\log N = -6,50 \log \sigma + 18,62$	korelasyon katsayısı = 0,97
ZnAl40Cu3 alaşımı için	: $\log N = -5,07 \log \sigma + 15,76$	korelasyon katsayısı = 0,98
ZnAl40Cu5 alaşımı için	: $\log N = -5,15 \log \sigma + 15,98$	korelasyon katsayısı = 0,98



Şekil 49. Dökülmüş durumdaki alaşımlardan %1'lik HCl sulu çözelti ortamında elde edilen log N – log σ diyagramları



Şekil 50. Isıl işlem görmüş durumdaki üçlü ZnAl40Cu1 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarından hava ortamında elde edilen log N – log σ eğrileri

Şekil 50'deki doğrular üzerinde yapılan matematiksel değerlendirmeler sonucunda da, ısıl işlem görmüş durumdaki alaşımların hava ortamındaki yorulma ömürlerinin (N) aşağıdaki bağıntılar ile belirlenebileceği saptanmıştır.

ZnAl40Cu1 alaşımı için : $\log N = -5,09 \log \sigma + 16,21$ korelasyon katsayısı = 0,99

ZnAl40Cu2 alaşımı için : $\log N = -5,89 \log \sigma + 18,27$ korelasyon katsayısı = 0,99

Alaşımlardan gerek dökülmüş gerekse ısıl işlem görmüş durumlarda ve farklı ortamlarda elde edilen k ve c sabitleri Tablo 11'de verilmiştir. Bu tablo, dökülmüş durumdaki ikili alaşımlardan hava ortamında elde edilen k ve c sabitlerinin artan alüminyum oranı ile azaldıklarını göstermektedir. Ayrıca, bu ortamda üçlü alaşımlardan

elde edilen k ve c sabitlerinin ikili alaşımlardan elde edilen k ve c sabitlerinden daha yüksek oldukları görülmektedir. Öte yandan tuzlu su ve asit ortamlarının bu alaşımlardan elde edilen k ve c sabitlerini düşürdüğü gözlenmektedir.

Tablo 11. Dökülmüş ve ısıtılmış işlem görmüş durumlardaki çinko-alüminyum alaşımlarından farklı ortamlarda elde edilen k ve c sabitleri

Alaşım	İşlem durumu	k			c		
		Ortam			Ortam		
		Hava	Tuzlu su	Asit	Hava	Tuzlu su	Asit
ZnAl20	A	7,41	7,00	5,85	20,89	19,91	17,15
ZnAl40	A	7,33	5,31	4,97	20,85	16,20	15,24
ZnAl60	A	5,65	4,45	3,29	17,31	14,51	11,71
ZnAl80	A	5,60	3,41	2,93	17,30	12,33	10,96
ZnAl40Cu1	A	9,10	5,49	6,50	25,13	16,84	18,62
	B	5,09	-	-	16,21	-	-
ZnAl40Cu2	A	7,69	-	-	22,28	-	-
	B	5,89	-	-	18,27	-	-
ZnAl40Cu3	A	8,35	5,97	5,07	23,69	17,88	15,76
ZnAl40Cu4	A	8,03	-	-	22,99	-	-
ZnAl40Cu5	A	7,66	4,23	5,15	22,07	14,35	15,98

(A: Dökülmüş, B: Isıl işlem görmüş)

3.2.2.2. Yorulma Örneklerinin Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesinden Elde Edilen Bulgular

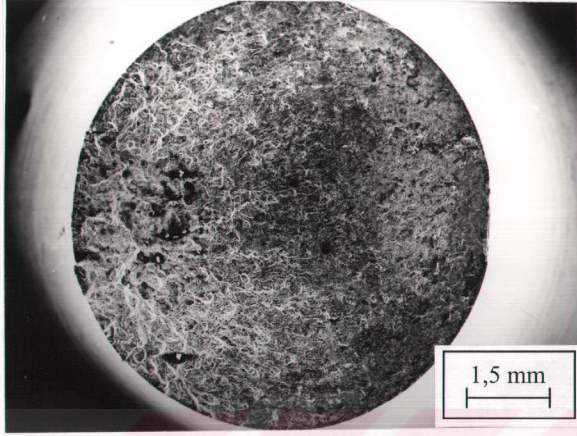
Her bir ortamda yorulma deneyine tabi tutulan alaşımlara ait örneklerin kırılma yüzeylerinin hemen hemen aynı görünümüne sahip oldukları gözlemlendi. Bu nedenle, burada yalnız ZnAl40Cu1 alaşımına ait yorulma örneklerinin kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 51'deki fotoğraf hava ortamında 120 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyini, Şekil 52'deki fotoğraf ise aynı ortamda 197 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan aynı alaşıma ait örneğin kırılma yüzeyini göstermektedir. Bu fotoğraflar söz konusu alaşımların kırılma yüzeylerinde belirgin yorulma izlerinin olmadığını göstermektedir. Ancak, gerilme arttıkça son kırılma bölgesinin genişleyip

kırılma yüzeyinin daha kaba ve pürüzlü bir hal aldığı görülmektedir. Şekil 53 ve 54'deki fotoğraflar ise yaşlandırılmış durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait yorulma örneklerinin kırılma yüzeylerini göstermektedir. Yapılan incelemeler sonucunda, dökülmüş ve yaşlandırılmış durumdaki alaşımlara ait yorulma örneklerinin kırılma yüzeylerinin birbirine benzedikleri, ancak, yaşlandırılmış durumdaki alaşımlara ait örneklerin kırılma yüzeylerinin nispeten düzgün ve pürüzsüz olduğu görüldü.

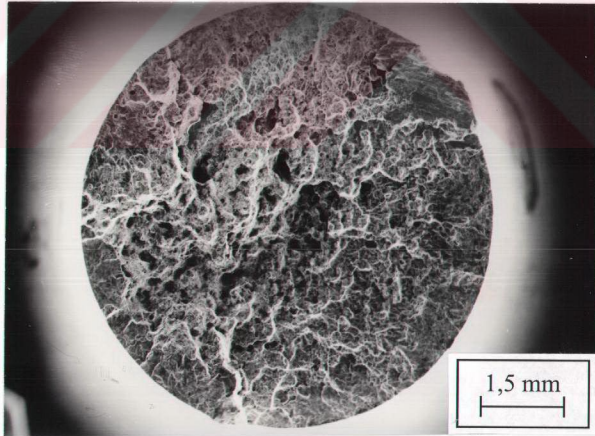
Şekil 55'deki fotoğraf tuzlu su ortamında 87 MPa'lık, Şekil 56'daki fotoğraf ise aynı ortamda 164 MPa'lık gerilme altında kırılan örneklerin yüzeylerini göstermektedir. Bu fotoğraflarda, yüksek gerilme altında deneye tabi tutulan örneklerde korozyon belirtilerinin meydana gelmediği, düşük gerilme altında deneye tabi tutulan örneklerde ise belirgin korozyon belirtilerinin olduğu görülmektedir. Bu durum, yüksek gerilme değerlerinde yapılan deneylerde korozyonun fazla etkili olmadığını göstermektedir. Nitekim SEM ile yapılan EDS analizleri sonucunda düşük gerilme altında kırılan örneklerin yüzeyinde fazla miktarda korozyon ürünü oluşurken, yüksek gerilme altında kırılan örneklerin yüzeyinde çok daha az miktarda korozyon ürünü olduğu görüldü.

Şekil 57'deki fotoğraf HCl sulu çözelti ortamında 76 MPa'lık, Şekil 58'deki fotoğraf ise aynı ortamda 109 MPa'lık gerilme altında deneye tabi tutulan ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneklerin kırılma yüzeylerini göstermektedir. Bu fotoğraflarda, tuzlu su ortamında olduğu gibi bu ortamda da düşük gerilme altında deneye tabi tutulan örneklerde belirgin korozyon belirtilerinin olduğu görülmektedir. Fotoğrafların karşılaştırılması sonucunda HCl sulu çözelti ve tuzlu su ortamlarında deneye tabi tutulan örneklerin kırılma yüzeylerinin birbirine benzedikleri ancak HCl asit sulu çözelti ortamında deneye tabi tutulan örneklerin korozyondan daha fazla etkilendikleri görüldü.

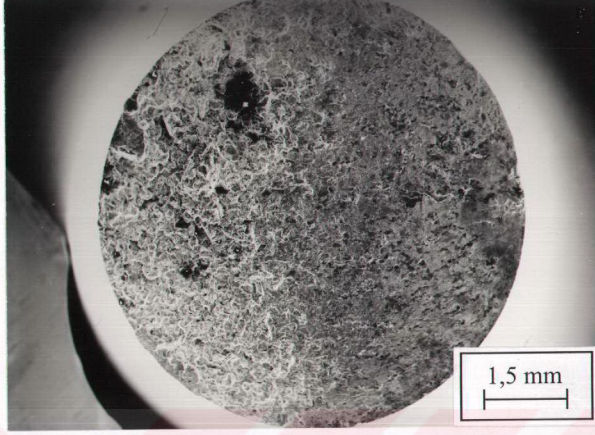
Yorulma örneklerinin kırılma yüzeylerinin birbirlerine çok benzemeleri nedeniyle kimyasal bileşimin alaşımların kırılma davranışına etkileri belirlenemedi. Ancak, yüksek büyültmelerde yapılan ayrıntılı incelemeler sırasında kırılma yüzeylerinin bazı bölgelerinde, özellikle alüminyumca zengin tanelerde duraklama çizgilerinden oluşan yorulma izlerine rastlandı (Şekil 59).



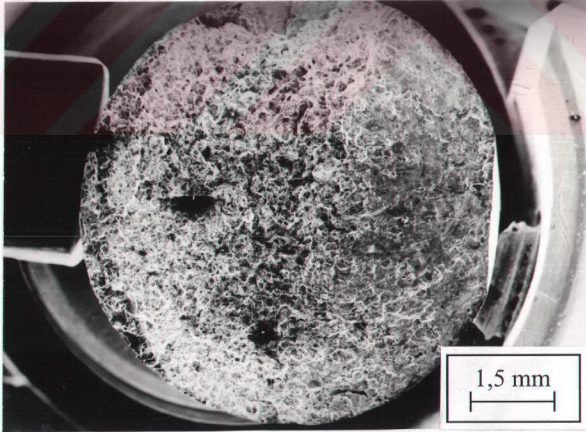
Şekil 51. Hava ortamında, 120 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü



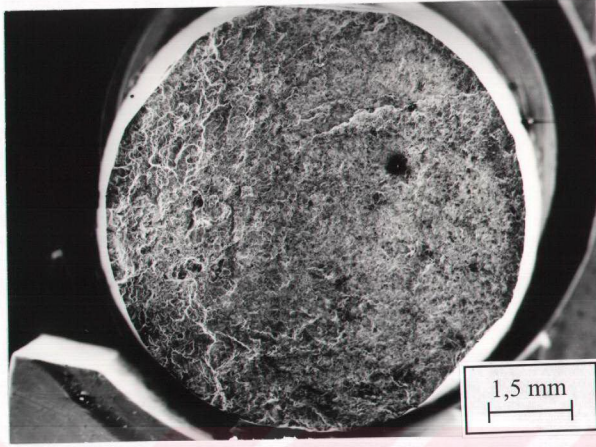
Şekil 52. Hava ortamında, 197 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü



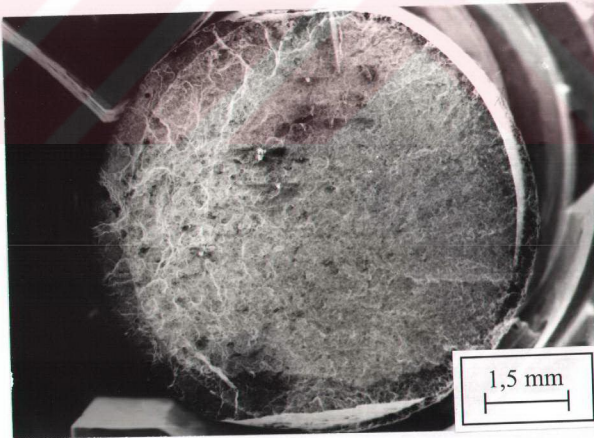
Şekil 53. Hava ortamında, 120 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan yaşlandırılmış durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü



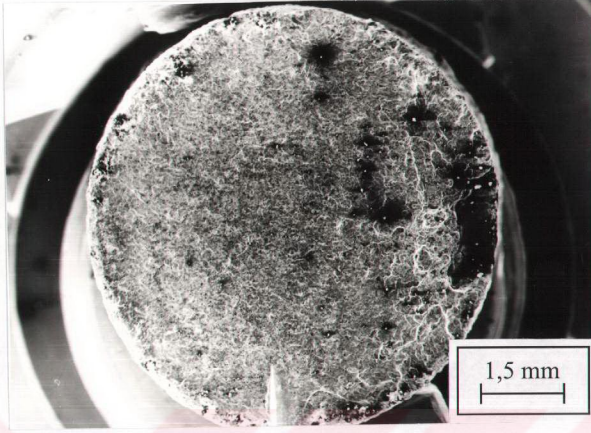
Şekil 54. Hava ortamında, 197 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan yaşlandırılmış durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü



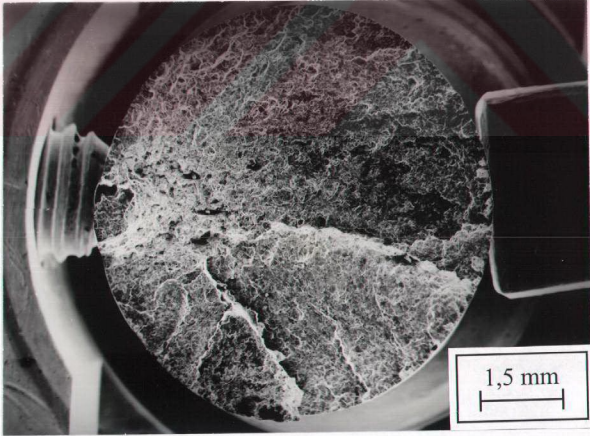
Şekil 55. % 3,5'lik NaCl sulu çözelti ortamında, 87 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü



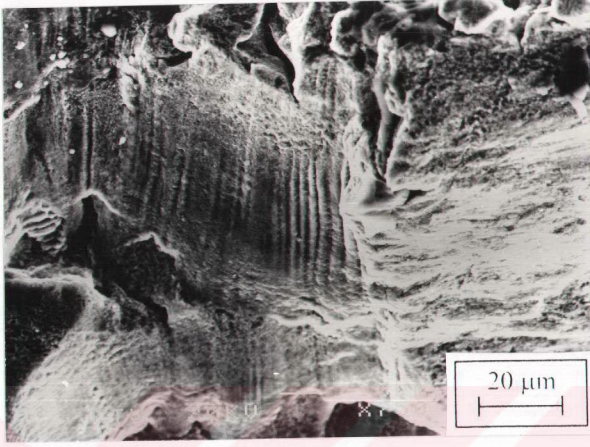
Şekil 56. % 3,5'lik NaCl sulu çözelti ortamında, 164 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü



Şekil 57. % 1'lik HCl sulu çözelti ortamında, 76 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü



Şekil 58. % 1'lik HCl sulu çözelti ortamında, 109 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımına ait örneğin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü



Şekil 59. Hava ortamında, 87 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki ZnAl40 alaşımında yorulma sonucunda oluşan duraklama çizgilerinin SEM görüntüsü

4. İRDELEME

İkili çinko-alüminyum alaşımlarının dökülmüş durumdaki iç yapılarının alüminyumca zengin α dendritleri ile bunları çevreleyen çinkoca zengin fazlardan oluştuğu görüldü, Şekil 9 ve Şekil 10. Ancak, yüksek oranda alüminyum içeren ZnAl60 ve ZnAl80 alaşımlarının diğer ikili alaşımlardan farklı olarak iri α tanelerinden (ASTM tane numarası 4) oluşan bir iç yapı sergilediği belirlendi, Şekil 11 ve Şekil 12. Bu durum, çinko-alüminyum alaşımlarında alüminyum oranının belirli bir değeri aşması halinde dökülmüş durumdaki iç yapının dendritik bir yapıdan taneli bir yapıya dönüştüğünü göstermektedir. Çinko-alüminyum alaşımlarına katılan bakırın dendritlerarası bölgelerde θ ve T' gibi metallerrarası fazların oluşumuna yol açtığı görüldü. Ayrıca, bu alaşımların bazılarında uygulanan çözündürme ve yaşlandırma ısıl işleminin dendritik yapıyı ortadan kaldırarak değişik çökeltiler içeren nispeten iri taneli bir yapı oluşturduğu gözlemlendi, Şekil 13. Bu yapısal değişim difüzyonla gerçekleşen homojenizasyon ve çökeltmeden kaynaklanmaktadır [20]. Bu gözlemlerin ilgili literatürde [7,20] verilen bulgularla uyum içerisinde olduğu görüldü.

Bu çalışmada ikili çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinin artan alüminyum oranı ile arttığı belirlendi. Öte yandan bakır katkısının da söz konusu alaşımların mekanik özelliklerini iyileştirdiği görüldü. Nitekim üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının ikili çinko-alüminyum alaşımlarından daha yüksek sertlik ve çekme dayanımına sahip oldukları belirlendi. Elde edilen bu bulguların da daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyum içerisinde oldukları görüldü [24,26,29].

Yorulma deneylerinden elde edilen bulguların değerlendirilmesi sonucunda deney ortamının alaşımların yorulma davranışlarını önemli ölçüde etkilediği görüldü. Şöyle ki, hava ortamında yüksek yorulma dayanımı sergileyen bazı alaşımların diğer ortamlarda nispeten düşük yorulma dayanımı sergiledikleri belirlendi. Ayrıca, hava ortamında düşük yorulma dayanımı sergileyen bazı alaşımların da diğer ortamlarda daha yüksek yorulma dayanımı sergiledikleri gözlemlendi. Diğer taraftan alaşımların yorulma dayanımı hava ortamında alüminyum oranı ile doğru orantılı olarak artarken, diğer ortamlarda kimyasal bileşimden bağımsız bir değişim sergilediği görüldü. Hava ortamında en yüksek yorulma

dayanımı ZnAl40Cu2 alaşımından, en düşük yorulma dayanımı ise ZnAl20 alaşımından elde edildi. ZnAl40Cu2 alaşımının hava ortamında diğer alaşımlardan daha yüksek yorulma dayanımı sergilemesi, bu alaşımın diğer alaşımlardan daha yüksek çekme mukavemetine sahip olmasından kaynaklanmaktadır [41-47]. Ayrıca, alüminyum oranı arttıkça ikili alaşımların yorulma dayanımı ve yorulma ömründen başka sertlik, mukavemet ve süneklik değerlerinin de arttığı görüldü. Alüminyum oranının artmasıyla sözü edilen alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerinde meydana gelen bu artış katı çözelti sertleştirme mekanizmasına dayandırılarak açıklanmaktadır [48]. Yorulma, çatlak oluşumu ve ilerlemesi şeklinde meydana geldiğinden söz konusu alaşımların mukavemetinin artması çatlak oluşumu için gerekli olan gerilmeyi artırır. Çatlak oluşumu için gerekli gerilmenin artması da çatlağın geç oluşmasına yani alaşımların yorulma dayanımlarının artmasına neden olur. Ayrıca, çatlak oluşumu için harcanan yorulma ömrü alaşımın toplam yorulma ömrünün büyük bir kısmını oluşturduğundan [41,42] çatlak oluşumunun geciktirilmesi söz konusu alaşımların yorulma ömrünü artırır. Öte yandan sünekliğin artması da çatlak oluşumu ve ilerlemesini engelleyici etki yapar [49,50]. Alüminyum oranı arttıkça alaşım içerisindeki alüminyumca zengin fazın (α) oranı artarken, çinkoca zengin fazın (η) fazı oranı azalır. Bu nedenle, alüminyum oranının artması söz konusu alaşımların sünekliğini artırır. Sünekliğin artması da hem yorulma çatlağının oluşumunun gecikmesine hem de ilerleme hızının azalmasına neden olur [49,50]. Bunun sonucunda da sözü edilen alaşımların yorulma ömründe artış meydana gelir. Bu nedenle, bu alaşımların yorulma dayanımı ve yorulma ömründe gözlenen artışın bunların mukavemet ve süneklik değerlerinde meydana gelen artıştan kaynaklandığı söylenebilir.

Bakır katkısının ikili ZnAl40 alaşımının sertlik, çekme dayanımı, yorulma dayanımı ve yorulma ömrünü artırdığı görüldü. Bakır katkısının, çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştirdiği bilinmektedir ve bu durum katı çözelti sertleştirme mekanizmasına dayandırılarak açıklanmaktadır [26,29,51]. Ancak, bakır oranının belirli bir değer ($\%2$) üzerine çıkması söz konusu alaşımların çekme dayanımı, yorulma dayanımı ve yorulma ömrünü düşürürken sertliğini sürekli olarak artırdığı gözlemlendi. Bu durum bakır içeren üçlü alaşımların iç yapısına dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki, alüminyumun en fazla $\%1$ oranına kadar bakır çözebildiği bilinmektedir [52]. Bu nedenle, çinko-alüminyum-bakır alaşımlarında bakır oranının belirli bir değer üzerine çıkması

durumunda dendritlerarası bölgelerde çinko ve bakırca zengin T' , θ ve ϵ gibi intermetalik fazlar oluşabilir [20,51]. Bakır oranının büyük bir bölümü de bu bileşiklerin oluşumu için harcanır. Bakır oranının azalması katı çözelti sertleştirme mekanizmasının etkisini azaltabilir. Literatürde de [20] belirtildiği gibi bu alaşımların çekme dayanımının, belirli bir orana kadar artan bakır katkısıyla artması ve bu değer üzerinde bakır katkısıyla düşmesi bu görüşü doğrulamaktadır. Sertliğin artan bakır oranı ile sürekli olarak artması ise alaşımda oluşan intermetalik fazların miktarının artmasından kaynaklanmış olabilir. Bu durum, söz konusu alaşımların yorulma dayanımı ve yorulma ömrünün sertlikten çok, çekme mukavemetine bağlı olduğunu göstermektedir.

Hava ortamında yapılan bazı deneylerde 20.000.000'dan daha yüksek çevrim sayılarına ulaşılmasına karşın, söz konusu alaşımlara ait örneklerin kırılmadığı gözlemlendi. İlgili literatüre [32] göre bu gerilme değerleri sözü edilen alaşımlar için yorulma sınırı değeri olarak alınabilir. Bu durumda ikili çinko-alüminyum alaşımlarının yorulma dayanımı sınırı 87 MPa, ZnAl40Cu1 alaşımının yorulma dayanımı sınırı 109 MPa ve diğer üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının yorulma dayanımı sınırı ise 120 MPa olarak kabul edilebilir. Ayrıca, bu alaşımların yorulma dayanımı sınırı değerlerinin, çekme dayanımlarının yaklaşık olarak üçte birine eşit olduğu belirlendi. Buna göre sözü edilen alaşımların yorulma davranışlarının, demir olmayan metallerin yorulma özelliklerine ilişkin literatürde [40,47] verilen bilgilerle uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

Isıl işlemin ZnAl40Cu1 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarının sertlik ve mukavemetini önemli ölçüde artırmasına karşın yorulma özelliklerini pek fazla değiştirmedeği, hatta düşük gerilme değerlerinde söz konusu alaşımların yorulma ömrünü az da olsa azalttığı görüldü, Şekil 34. Bu durum yaşlandırma işlemi sonucunda iç yapının dendritik bir yapıdan taneli bir yapıya dönüşmesinden ve ayrıca söz konusu ısıl işlemin bu alaşımların sünekliğini azaltmasından kaynaklanmış olabilir. Öte yandan ZnAl40Cu2 alaşımının dökülmüş durumda olduğu gibi ısıl işlem görmüş durumda da ZnAl40Cu1 alaşımından daha yüksek yorulma dayanımı ve yorulma ömrüne sahip olduğu görüldü. Bu durum ısıl işlem görmüş durumdaki ZnAl40Cu2 alaşımının sertlik ve mukavemetinin aynı durumdaki ZnAl40Cu1 alaşımının söz konusu değerlerinden daha yüksek olmasından ileri gelebilir.

Korozyon ortamlarının çinko-alüminyum alaşımlarının yorulma dayanımı ve yorulma ömrünü azalttığı gözlemlendi. Bu durumun yorulma örneğinin yüzeyinde korozyon çukurcuklarının oluşumu ve bu çukurcukların gerilme yığılmasına neden olması ve bunun

sonucunda gerilmeli korozyonun ortaya çıkmasından kaynaklandığı bilinmektedir [45,53,54,55]. Öte yandan korozyon ve tekrarlı gerilmenin birlikte malzemeye yaptıkları etki bunların her birinin tek başına yaptıkları etkiden çok daha fazladır [42,56,57,58]. Başka bir deyişle korozyon yorulmayı hızlandırırken, tekrarlı gerilmeler de ortamın malzeme üzerindeki korozif etkisini artırmaktadır [42,55,59]. Özellikle uzun süreli deneylerde korozyonun nispeten büyük miktarda malzeme kaybına yol açması nedeniyle gerilmenin artması beklenir. Ancak, deneye tabi tutulan örnekler üzerinde yapılan ölçümler sonucunda önemli bir kesit daralmasının meydana gelmediği belirlendi.

% 1'lik HCl sulu çözelti ortamının çinko-alüminyum alaşımlarının yorulma dayanımı ve yorulma ömrü üzerinde tuzlu su ortamından daha etkili olduğu görüldü. Bu durum da asit çözeltisinin korozyon etkisinin, tuzlu su ortamının korozyon etkisinden çok daha şiddetli olmasından kaynaklanmış olabilir. Nitekim asit ortamında Cl iyonlarının koruyucu oksit filminin etkisini azalttığı bilinmektedir [57,60]. Ayrıca, gerilme arttıkça her bir alaşımın farklı ortamlardaki gerilme-çevrim sayısı eğrilerinin birbirine yaklaştığı, yani ortamın korozif etkisinin azaldığı görüldü. Hatta uygulanan gerilmenin en yüksek değere ulaşması durumunda korozyon etkisinin tamamen ortadan kalktığı görüldü. Bu sonuç yüksek gerilmeler altında yapılan deneylerin kısa süreli olması ve bu süre içerisinde korozyonun fazla etkili olamamasından kaynaklanmış olabilir. Nitekim yorulma deneyleri sonucunda kırılan örneklerin kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri de bu görüşü doğrulamaktadır. Şöyle ki, SEM incelemeleri sonucunda yüksek gerilme değerlerinde yapılan deneylerde kırılan örneklerin kırılma yüzeylerinde, düşük gerilmelerde yapılan deneylerdeki gibi belirgin korozyon izlerine rastlanılmamıştır.

İkili çinko-alüminyum alaşımlarının tuzlu su ve HCl sulu çözelti ortamlarındaki yorulma ömürlerinin özellikle düşük gerilmelerde artan alüminyum oranı ile azaldığı görüldü, Şekil 40 ve Şekil 44. Bu azalma, alüminyumun korozyon ortamlarına karşı duyarlı olması nedeniyle meydana gelmiş olabilir [39,57]. Şöyle ki, alüminyum oranı arttıkça çinko-alüminyum alaşımlarının normal atmosfer ortamındaki korozyon dayanımlarının arttığı bilinmektedir [60,61]. Çünkü yüksek oranda alüminyum içeren alaşımların yüzeyinde oluşan alüminyum oksit filminin korozyonun ilerlemesini engellediği görülmüştür [60,62]. Ancak, alaşımın yüzeyindeki alüminyum oksit filminin koruyuculuğunun alaşımın bulunduğu ortamın hidrojen iyon konsantrasyonuna (pH) bağlı olduğu bilinmektedir [63]. Nitekim alüminyumun pH değeri belirli bir aralık (3-7) dışında

olan sulu çözelti içerisinde korozyona uğradığı ileri sürülmektedir [64]. Bu çalışmada incelenen çinko-alüminyum alaşımlarında korozyon dayanımının artan alüminyum oranı ile azalması tuzlu su ve HCl sulu çözeltilerinin pH değerlerinin bu aralığın dışında kalmasından kaynaklanmış olabilir. Başka bir deyişle söz konusu ortamlarda etkin bir koruyucu oksit filmi oluşmamaktadır. Öte yandan çinko-alüminyum alaşımlarında, alüminyum oranı arttıkça alüminyumca zengin α dendritlerinin büyümesi ve özellikle yüksek oranda alüminyum içeren alaşımlarda dendritik yapının taneli yapıya dönüşmesi söz konusu alaşımların tanelerarası korozyona daha duyarlı hale gelmesine yol açmaktadır [60]. Bu tip korozyonun malzemelerin yorulma ömrü üzerinde genel yüzey korozyonundan daha etkili olduğu ileri sürülmektedir [53,57,60]. Ayrıca, söz konusu alaşımların yorulma dayanımının HCl sulu çözelti ortamında alüminyum oranına tuzlu su ortamında olduğundan daha duyarlı olduğu gözlemlendi. Bu durum alüminyumun HCl sulu çözelti ortamına daha duyarlı olmasından kaynaklanmış olabilir. Diğer taraftan yüksek gerilmelerde yapılan deneylerde söz konusu alaşımların yorulma ömürlerinin artan alüminyum oranı ile pek fazla değişmediği görüldü. Bu hususun da yüksek gerilme altında yapılan deneylerin süresinin kısa olmasından yani korozyonun etkili olabilmesi için yeterli sürenin olmamasından ileri geldiği söylenebilir.

Bakır oranı arttıkça, ZnAl40 esaslı alaşımların tuzlu su ve HCl sulu çözelti ortamlarındaki yorulma ömrünün yüksek gerilmelerde az da olsa artarken, düşük gerilmelerde pek fazla değişmediği görüldü, Şekil 42 ve Şekil 46. Düşük gerilme altında yapılan deneyler sonucunda, bakır oranı artmasına karşın söz konusu alaşımların yorulma ömürlerinin artmaması bakırın bu alaşımların korozyon duyarlılığını artırmasından kaynaklanmış olabilir. Nitekim daha önce yapılan çalışmalar sonucunda, bakır katkısının alaşımın yüzeyinde oluşan oksit filminin koruyuculuğunu azalttığı ve ayrıca tanelerarası korozyona neden olduğu ileri sürülmektedir [60,65].

Bu çalışmada incelenen çinko-alüminyum alaşımlarına ait yorulma örneklerinin kırılma yüzeylerinde tipik yorulma izlerine rastlanılmadı, Şekil 51-58. Bu durum bu alaşımların gevrek olmasından kaynaklanmış olabilir. Ancak, gerilme arttıkça son kırılma bölgesinin genişlediği ve kırılma yüzeyinin daha kaba ve pürüzlü bir hal aldığı gözlemlendi. Bu gözlemlerin daha önce yapılan çalışmalarda [23,55,66] elde edilen bulgularla uyum içerisinde olduğu görüldü.

Elde edilen bulgular üzerinde yapılan korelasyonlar sonucunda, ikili çinko-alüminyum ve üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının hava, tuzlu su ve HCl sulu çözelti ortamlarındaki yorulma davranışlarının Basquin bağıntısı ile ifade edilebileceği görüldü. Buradan, söz konusu alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen makina parçalarının sözü edilen ortamlardaki yorulma ömürlerinin bu bağıntı yardımıyla belirlenebileceği sonucuna varılabilir.



5. SONUÇLAR

Bu çalışmada belirtilen şartlar altında yapılan inceleme ve değerlendirmelerden elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. İkili çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik, mukavemet, süneklik, yorulma dayanımı ve yorulma ömrü değerleri artan alüminyum oranı ile artar. Yorulma dayanımı artan alüminyum oranı ile doğru orantılı olarak artarken, yorulma ömrü ancak belirli bir gerilme değerinin üzerinde artan alüminyum oranı ile doğru orantılı olarak artar.
2. İkili çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik, mukavemet ve süneklik değerleri arttıkça söz konusu alaşımların yorulma dayanımı ve yorulma ömrü de artar. Düşük oranda bakır içeren üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının yorulma dayanımı ve yorulma ömrü ise sertlikten çok çekme dayanımına bağlıdır. Çekme dayanımı arttıkça söz edilen alaşımların yorulma dayanımı ve yorulma ömrü artar.
3. Bakır katkısı, çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik ve mukavemetinden başka yorulma dayanımı ve yorulma ömrünü de artırır. Ancak, bakır oranının % 2'yi aşması söz konusu alaşımların yorulma davranışlarını olumsuz etkiler.
4. Bu çalışmada incelenen ikili çinko-alüminyum alaşımları için 87 MPa, üçlü ZnAl40Cu1 alaşımı için 109 MPa ve diğer üçlü alaşımlar için 120 MPa'lık gerilme yorulma dayanımı sınırı değeri olarak kabul edilebilir.
5. Yaşlandırma işlemi ZnAl40Cu1 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarının sertlik ve mukavemetini önemli ölçüde artırmasına karşın, yorulma davranışı üzerinde fazla etkili değildir.
6. Tuzlu su ve HCl sulu çözelti ortamları çinko-alüminyum alaşımlarının yorulma ömürlerini önemli ölçüde düşürür. Ancak asitli su ortamı söz konusu alaşımların yorulma özellikleri üzerinde tuzlu su ortamında daha etkilidir.
7. İkili çinko-alüminyum alaşımlarının tuzlu su ve HCl sulu çözelti ortamlarındaki yorulma dayanımı alüminyum oranı ile ters orantılı olarak değişir. Yani alüminyum oranı arttıkça yorulma dayanımı düşer. Ancak düşük çevrim

sayılarında sözü edilen alaşımların yorulma dayanımları alüminyum oranı ile düzensiz bir değişim gösterir. Diğer taraftan alüminyum oranının HCl sulu çözelti ortamında bu alaşımların yorulma dayanımına etkisi tuzlu su ortamındaki etkisinden daha fazladır.

8. İkili çinko-alüminyum alaşımlarının tuzlu su ve asit çözeltisi içerisindeki yorulma ömrü, özellikle düşük gerilme değerlerinde alüminyum oranı ile ters orantılı olarak değişir. Başka bir deyişle yorulma ömrü artan alüminyum oranı ile azalır. Bununla birlikte söz konusu azalma asit ortamında daha fazla olur. Yüksek gerilme değerlerinde ise sözü edilen alaşımların yorulma ömrü artan alüminyum oranı ile pek fazla değişmez.
9. Bakır oranı arttıkça üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının tuzlu su ve asit çözeltisi içerisindeki yorulma dayanımı özellikle yüksek çevrim sayılarında fazla değişmez, ancak düşük çevrim sayılarında az da olsa artar.
10. Bakır katkısı, monotektoid esaslı ZnAl40 alaşımının tuzlu su ve asitli su ortamlarındaki yorulma ömrünü özellikle yüksek gerilmelerde az da olsa artırır. Ancak, belirli bir değerin üzerindeki bakır katkısı söz konusu alaşımın düşük gerilmelerdeki yorulma ömrünü fazla etkilemez.
11. Çinko-alüminyum alaşımları genelde gevrek olduklarından bunlara ait yorulma örneklerinin kırılma yüzeylerinde tipik yorulma izleri oluşmaz. Ancak alüminyumca zengin tanelerde duraklama çizgileri içeren yorulma belirtilerine rastlanabilir.
12. İkili çinko-alüminyum ve üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının hava, tuzlu su ve HCl sulu çözelti ortamlarındaki yorulma davranışları Basquin bağıntısı ile ifade edilebilir.

6. ÖNERİLER

Döküm yöntemi, element katkısı, sıcaklık ve ısıl işlemin çinko-alüminyum alaşımlarının yorulma özellikleri üzerindeki etkileri daha ayrıntılı biçimde incelenerek, hem bu alaşımlardan üretilen parçaların yorulma dayanımının artırılması için gerekli yöntemler belirlenebilir hem de bu parçaların değişik ortam ve koşullar altındaki yorulma ömürlerinin hesaplanmasında kullanılacak bağıntılar geliştirilebilir.



7. KAYNAKLAR

1. Savaşkan, T., The Structure and Properties of Zinc-Aluminium Based Bearing Alloys, Ph.D. Thesis, The University of Aston, Birmingham, 1970.
2. Savaşkan, T., Murphy, S., Mechanical Properties and Lubricated Wear of Zn-25-Al Based Alloys, Wear, 116 (1987) 211-224.
3. Zhu, Y.H., Goodwin, F.E., Influence of Rare Earth Element Additions on Phase Transformations in the Zn-27%Al Alloy, J. Mater. Res., 18, 12 (1993) 3043-3049.
4. Barnhurst, R.J., Gervais, E., Boyles, F.D., Gravity Casting of Zinc-Aluminium Alloys – Solidification Behaviour of Za-8, ZA-12 and ZA-27, AFS Transactions, 81 (1983) 569.
5. Gervais, E., Levert, H., Bess, M., Development of a Family of Zinc-Based Foundry Alloys, AFS Transactions, 68 (1980) 183-195.
6. Calayag, T., Ferres, D., High-Performance, High-Aluminum Zinc Alloys for Low Speed Bearings and Bushings, Society of Automotive Engineers Inc., 820643 (1983) 2241-2251.
7. Zhu, Y.H., Yan, B., Torres, G., Phase Transformations of Zn-Al Based Alloy Containing Small Amounts of Rare Earth Elements, CIM Annual Conference (1992).
8. Lyon, R., New Zinc Alloys with Wide Engineering Applications, Metals Handbook, 10th Edition, Vol.2, American Society of Metals, Metals Park, Ohio 1991.
9. Apelian, D., Poliwal, M., Herrschaft, D.C., Casting with Zinc Alloys, Journal of Metals (1981) 12-19.
10. Zhu, Y.H., Torres, G., Piha, C., Complex Microstructural Changes in As-Cast Eutectoid Zn-Al Alloys, Journal of Materials Science, 29 (1994) 1549-1552.
11. Gervais, E., Loong, C.A., New ZA Alloys in Die Casting, 11th International Pressure Die Casting Conference, June 1984, Lyon, 1-25.

12. Goodwin, E., Ponikvar, A.L., *Engineering Properties of Zinc Alloys*, Third Edition, International Lead Zinc Research Org. Inc., 1989.
13. Gross, K.D., *Zinc Alloys: Specifications and Processing*, Society of Automotive Engineers, 871952, Canada 1987, 1039-1046.
14. Barnhurst, R.J., *Zinc and Zinc Alloys*, Proc. Conference on Materials Engineering, University of Leeds, July 1984, 87-96.
15. Presnyakov, A.A., Gorban, Y.A., Chernyakova, V.V., Russ J. Phys. Chem., 35, 6 (1961) 632-633.
16. Gervais, E., *ZA Alloys-A Challenge to the Metals Industry*, CIM Bulletin, 80, 900 (1987) 67-142.
17. Zhu, Y.H., Goodwin, F.E., *Microstructures of Thermomechanically Treated Eutectoid Zn-Al Alloys*, Journal of Materials Science and Technology, 10 (1994) 121-126.
18. Skenazi, A.F., Pelerin, J., Coutsouradis, D., Magnus, B., Meeus, M., *Some Recent Developments in the Improvement of the Mechanical Properties of Zinc Foundry Alloys*, Metall, 37, 9 (1983) 898-902.
19. Wakefield, E.C., *Copper-Aluminum-Zinc Alloy Excels in Tough Conditions*, Design Engineering, (1973) 1-4.
20. Murphy, S., *Solid Phase Reactions in the Low Copper Part of the Al-Cu-Zn System*, Z. Metallkunde, 71 (1980) 96-102.
21. Durman, M., Murphy, S., *Precipitation of Metastabil ϵ -Phase in a Hypereutectic Zinc-Aluminum Alloys Containing Copper*, Acta Metall. Mater., 39, 10 (1991) 2235-2242.
22. Zhu, Y.H., Savaşkan, T., Murphy, S., *Phase Transformations in Quench-Aged Zn-Al-Si Alloys*, Materials Research Society, Synop. Proc., 21, New York 1984, 835-840.
23. Aydın, M., *Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1995.

24. Aydın, M., Küçükömeroğlu, T., Savaşkan, T., Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi, Mühendis ve Makina, 38, 444 (1997) 40-45.
25. Erdöl, M.Ş., Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımlarda Mukavemet Artırma Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1994.
26. Turhal, M.Ş., Savaşkan, T., Çinko-Alüminyum Alaşımları İçin Mukavemet Artırma Yöntemleri, Mühendis ve Makina, 38, 450 (1997) 32-38.
27. Savaşkan, T., Murphy, S., Creep Behaviour of Zn-Al-Cu Bearing Alloys, Z. Metalkunde, 74 (1983) 76-82.
28. Deschamps, A., Brechet, Y., Livet, F., Influence of Copper Addition on Precipitation Kinetics and Hardening in Al-Zn-Mg Alloy, Materials Science and Technology, 15 (1999) 993-999.
29. Savaşkan, T., Torul, O., Çuvalcı, H., Çinko-Alüminyum Alaşımlarının İç yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, 5.Metalurji Kongresi, Kasım 1988, Ankara, Bildiriler Kitabı, Cilt II, 784-798.
30. Durman, M., Çinko-Alüminyum Esaslı Basınçlı Döküm Alaşımlarının %0-%30 Bileşim Aralığında Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi, 5.Denizli Malzeme Sempozyumu, Nisan 1993, 177-191.
31. Sines, G., Waisman, J.L., Metal Fatigue, Mc Graw Hill Book Company Inc., New York, 1959.
32. Perry, C.C., Fatigue Testing in Materials Laboratory Courses, Fatigue Dynamics Inc., USA, 1988.
33. Swanson, S.R., Handbook of Fatigue Testing, ASTM Special Technical Publication 566, USA, 1974.
34. Odabaşoğlu, H.A., Kimyasal Bileşimin Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Yorulma Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1998.
35. Ashrafizadeh, F., Young, J.M., Kondic, V., Solidification Structures and Mechanical Properties of Zn-27Al Alloy Cast in Metal Moulds, Materials Science and Technology, (1987) 665-770.

36. Hariprasad, S., Sastry, S.M.L., Jerina, K.L., Laderich, R.S., Fatigue Crack Growth Rates and Fracture Toughness of Rapidly Solidified Al-8.5 Pct Fe-1.2 Pct V-1.7 Pct Si Alloys, Metallurgical and Materials Transactions A, 25A (1994) 1005-1013.
37. Ruiz, J., Elices, M., The Role of Environmental Exposure in the Fatigue Behaviour of An Aluminium Alloy, Corrosion Science, 39, 12 (1997) 2117-2141.
38. Gürbüz, R., Doruk, M., Schutz, W., Effect of Salt Water Fog on Fatigue Crack Growth Behaviour of 7050 Aluminium Alloy in Different Orientations, Journal of Materials Science, 26 (1991) 1032-1038.
39. Pao, P.S., Imam, M.A., Cooley, L.A., Yoder, G.R., Comparison of Corrosion Fatigue Cracking of Al-Li Alloy AA2090-T8E41 and Alloy AA7075-T651 in Salt Water, Corrosion, 45, 7 (1989) 530-535.
40. Nagarjuna, S., Srinivas, M., Balasubramanian, K., Sormat, D.S., Effect Of Alloying Content on High Cycle Fatigue Behaviour of Cu-Ti Alloys, Int. J. Fatigue, 19, 1 (1997) 51-57.
41. Çimenoğlu, H., Kayalı S., Malzemelerin Yapısı ve Mekanik Davranışları, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, 1991.
42. Dieter, G.E., Mechanical Metallurgy, Second Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1976.
43. Mc Clintock, F.A., Argon, A.S., Mechanical Behaviour of Materials, Addison-Wesley Publishing Company Inc., USA, 1966.
44. Pope, J.A., Metal Fatigue, Chapman and Hall Ltd., London, 1959.
45. Boyer, H.E., Atlas of fatigue Curves, American Society for Metals, Carnes Publication Services Inc., Ohio, 1986.
46. Meyers, M.A., Chawla, K.K., Mechanical Behavior of Materials, Printice-Hall Inc., USA, 1999.
47. Kayalı, E.S., Ensari, C., Dikeç, F., Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, 1990.

48. Zhu, Y.H., Murphy, S., A General Rule of Decomposition Reaction in Super-Saturated Zn-Al Based Alloys, Chin J. Met. Sci. Tech., 2 (1986) 105-116.
49. Esin, A., Properties of Materials for Mechanical Design, Middle East Technical University, Gaziantep, 1981.
50. Ashby, M.F., Jones, D.R.H., Engineering Materials, First Edition, Pergamon Press, U.K., 1980.
51. Savaşkan, T., Murphy, S., Decomposition of Zn-Al Alloys on Quench-Aging, Materials Science and Technology, 6 (1990) 695-703.
52. American Society for Metals Handbook, Metallography, Structure and Phase Diagrams, vol.8, Metals Park, Ohio, 1973.
53. Pokhmurskii, V.I., General Aspects of Corrosion Fatigue in Metals and Alloys, Proceedings of the First USSR-UK Seminar on Corrosion Fatigue of Metals, May 1980, Lvov, Corrosion Fatigue, 19-22.
54. Forrest, P.G., Fatigue of Metals, Pergamon Press Ltd., 1966.
55. Bayoumi, M.R., Fatigue Behaviour of A Commercial Aluminium Alloys in Sea Water at Different Temperatures, Engineering Fracture Mechanics, 45, 3 (1993) 297-307.
56. Chen, G.S., Duguet, D.J., Corrosion Fatigue of A Precipitation-Hardened Al-Li-Zr Alloys in A 0.5 M Sodium Chloride Solution, Metallurgical Transactions A, 23A (1992) 1563-1572.
57. Karlashov, A.V., Gnatyuk, A.D., Kardash, A.B., Corrosion Fatigue Strength of Aluminium Alloys, Proceedings of the First USSR-UK Seminar on Corrosion Fatigue of Metals, May 1980, Lvov, Corrosion Fatigue, 19-22.
58. Reibere, M., Magnin, T., Corrosion Fatigue Mechanisms of An 8090 Al-Li-Cu Alloy, Materials Science and Engineering A, A128 (1990) 99-106.
59. Zhao, X.T., Shi, L., Chi, M.H., The Influence of Water Wapour on the Fatigue Crack Propagation Kinetics in Pure Aluminium Single Crystals, Metallurgical Transactions A, 20A (1989) 925-932.

60. Savaşkan, T., Ayar, H.H., Çinko-Alüminyum Alaşımlarının % 2 HCl Sulu Çözelti Ortamındaki Korozyon Davranışlarının İncelenmesi, Korozyon, 8 (1996) 1-3.
61. Noranda, Designing Zinc Casting for Corrosion Resistance, Noranda Sales Corp., Canada, 1992.
62. Avner, S.H., Introduction to Physical Metallurgy, International Edition, McGraw-Hill Book Co., New York, 1974.
63. Ralls, K.M., Courtney, T.H., An Introduction to Materials Science and Engineering, John Wiley Co., New York, 1976.
64. Fontane, M.G., Greene, N.D. Corrosion Engineering, McGraw Hill Book Co., New York, 1978.
65. Scully, J.C., The Fundamentals of Corrosion, Pergamon Press, New York, 1975.
66. Tauscher, H., Çelik ve Dökme Demirlerin Yorulma Dayanımı, Malzeme Davranışı, Biçim Etkisi ve Hesaplama Yöntemleri, Çevirenler: Güleç, Ş., Aran, A., MBEAE Matbaası, Gebze, 1983.

8. ÖZGEÇMİŞ

Murat AYDIN; 1972 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladıktan sonra 1988 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi (K.T.Ü.) Makina Mühendisliği Bölümüne girdi. 1992 yılında K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümünden Makina Mühendisi ünvanı alarak dördüncüyle mezun oldu. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalının Malzeme Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 1995 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamlayarak Makina Yüksek Mühendisi ünvanı aldı. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalında doktora öğrenimine başladı.

1993-2000 yılları arasında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Trabzon Şubesi Yönetim Kurulu üyesi olan Murat AYDIN, K.T.Ü. Beşikdüzü Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.