

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**İKİNCİL ERİTMENİN ZAMAK ALAŞIMLARININ MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

İsmail AKTUNA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAYIS 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**İKİNCİL ERİTMENİN ZAMAK ALAŞIMLARININ MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

İsmail AKTUNA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAYIS 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİNCİL ERİTMENİN ZAMAK ALAŞIMLARININ MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

İsmail AKTUNA
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**(Bu Tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından FYL-2018-3682 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

MAYIS 2019

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İKİNCİL ERİTMENİN ZAMAK ALAŞIMLARININ MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

İsmail AKTUNA
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 09./05./2019... tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. H. Erdem ÇAMURLU

Doç. Dr. Recai Fatih TUNAY

Doç. Dr. Gürkan ALTAN

ÖZET

İKİNCİL ERİTMENİN ZAMAK ALAŞIMLARININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

İsmail AKTUNA

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. H. Erdem ÇAMURLU

Mayıs 2019; 66 sayfa

Sanayide zamak 5 (%3,7-4,3 Al, %0,7-1,25 Cu, %0,02-0,06 Mg, kalanı Zn) ve zamak 3 (%3,7-4,3 Al, %0,05'e kadar Cu, %0,02-0,06 Mg, kalanı Zn) alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımlarından üretilen endüstriyel ürünlerin hatalı olanları, (zamak dışı metaller ile montajlanmış, boyanmış veya kaplanmış durumda) direkt olarak enjeksiyon döküm sisteminin sıcak kamarasına çeşitli nedenlerle beslenemediğinden, geri dönüşüm tesisinde 650°C'ye varan sıcaklıklarda ikincil olarak (yeniden) eritilip (geri dönüşüm) külçe haline getirilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda alaşımın yeniden eritilmesi sonucu bazı kritik elementlerin oranları, standart limitlerin dışına çıkmaktadır. Bu çalışmada bu alaşımlar "ikincil eritme" olarak tanımlanmıştır.

Çalışmada, farklı zamanlarda geri dönüşüm atölyesinden temin edilmiş olan iki farklı ikincil eritme zamak alaşımı (bu çalışmadaki notasyonu: E1, E2) kullanılmıştır. İkincil eritmenin, standart zamak 3 ve zamak 5 alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özellik üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Alaşımların kimyasal bileşimleri optik emisyon spektrometresi ile belirlenmiştir. İkincil eritme alaşımlarda alüminyum ve magnezyumun limit değerlerin altında olduğu, ilaveten alaşımda istenmeyen empüritelerin varlığı tespit edilmiştir.

Standart ve ikincil eritme ürünü külçelerinden kesilen parçalar grafit döküm potasında 500°C'de eritilmiştir ve çelik kalıba döküm yapılmıştır. İkincil eritmenin mekanik özellikler üzerindeki etkisi, uzun zaman içinde ortaya çıkabilmektedir. Literatürde zamak 3 ve zamak 5 alaşımlarının 105°C'de 24 saat bekletilmesi ile, 365 gün oda sıcaklığında bekletilmesi sonucundaki mekanik özelliklerdeki değişimin benzer olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada her alaşıma ait numuneler 80°C, 105°C ve 130°C'de 24 saat süreyle bekletilerek yaşlandırma işlemi yapılmıştır ve oda sıcaklığında uzun süre sonrasında ortaya çıkabilecek mekanik özellik değişimleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yaşlandırma işlemi uygulanmamış ve uygulanmış olan numuneler üç nokta eğme testleri, sertlik ölçümleri ve mikroyapı incelemelerine tabi tutulmuştur.

Eğme dayanımları kıyaslandığında, döküm sonrası ve yaşlandırma sonrasında ikincil eritme külçelerden elde edilmiş olan E1 ve E2 numunelerin, orijinal zamak 3 ve zamak 5 alaşımlarına kıyasla daha düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. E1 ve E2 alaşımlarında alüminyum ve magnezyumun standart değerlerin altında olmasının ve

yapılarında empürite elementlerin bulunmasının dayanımı olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir. Bununla birlikte, tüm alaşımlarda artan yaşlanma sıcaklığına bağlı olarak sertlik ve mukavemet değerlerinde azalma tespit edilmiştir.

Zamak 3 alaşımının döküm sonrası eğme dayanımı 490MPa, sertliği 88,73 HB10, 130°C'de 24 saat yaşlandırma sonrası dayanımı 414 MPa, sertliği 75,38 HB10, zamak 5 alaşımının döküm sonrası eğme dayanımı 457MPa, sertliği 104,13 HB10, yaşlandırma sonrası dayanımı 387 MPa, sertliği 87,08 HB10 ölçülmüştür. İkincil eritme-1 alaşımının döküm sonrası eğme dayanımı 444MPa, sertliği 93,59 HB10, yaşlanma işlemi sonrası dayanımı 391 MPa, sertliği 82,40 HB10, ikincil eritme-2 alaşımının döküm sonrası eğme dayanımı 383MPa, sertliği 76,80 HB10, yaşlanma işlemi sonrası dayanımı 325 MPa, sertliği 66,72 HB10 olarak ölçülmüştür. E1 alaşımı numunelerinin sertlik değerleri zamak 5 alaşımından düşük olurken, zamak 3 alaşımından yüksek olmuştur. Bunun nedeninin, E1 alaşımında bakırın zamak 3'tekinden yüksek olması ve empürite elementi olarak demir bulunması olduğu düşünülmektedir.

Mekanik testlerin akabinde numuneler zımparalama, parlatma ve dağlama işlemi yapıldıktan sonra optik mikroskop ile incelenmiştir. İkincil eritme veya yaşlandırmaya bağlı olarak alaşımların mikro yapısında optik mikroskopla belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. E1 alaşımının mikroyapısında diğer alaşımlarda var olmayan partiküller tespit edilmiş olup, enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) analizlerinde bu partiküllerin demir ve alüminyum bulundurduğu tespit edilmiştir ve demir-alüminyum içeren metallerarası bileşik olduğu düşünülmüştür.

Optik mikroskop incelemeleri sonrası daha detaylı inceleme adına numunelerin parlatılmış olan ve kırık yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Kırık yüzey incelemelerinde, tüm alaşımlarda yapının genelinde düz yüzeyli olduğu ve gevrek kırılma gösterdiği, ancak bazı bölgelerde kırılmanın sünek karakterde (çukurcuklu) olduğu görülmüştür. Yapılan EDS analizlerinde, sünek kırılma gösteren fazın alüminyumca zengin α (alfa), gevrek kırılan kısımların çinkoca zengin η (eta) fazı bölgeleri olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda, ikincil eritme zamak alaşımlarının genel özelliklerinin kimyasal bileşimlerindeki uygunsuzluklar nedeniyle olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir. Bu sebeple üretimde ikincil zamak kullanmadan önce kimyasal kompozisyon tespiti yapılması ve bu alaşımların kontrollü olarak kullanılması tavsiye edilmektedir. İş parçası tasarımında ikincil eritme zamak alaşımının kullanılabileceği var sayılarak, ek emniyet katsayısıyla tasarım yapılmasının gerektiği sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Zamak Alaşımları, İkincil Eritme, Mekanik Özellikler

JÜRİ: Prof. Dr. H. Erdem ÇAMURLU

Doç. Dr. Recai Fatih TUNAY

Doç. Dr. Gürkan ALTAN

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SECONDARY MELTING ON MICROSTRUCTRE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ZAMAK ALLOYS

İsmail AKTUNA

MSc Thesis in Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. H. Erdem ÇAMURLU

May 2019; 66 pages

In industry, zamak 5 (3.7-4.3 Al, 0.7-1.25 Cu, 0.02-0.06 mg, Zn) and zamak 3 (3.7-4.3 Al, 0.05 Cu, 0.02-0.06 mg, Zn) alloys are used commonly. The faulty ones of the industrial products produced from these alloys can not be fed directly to the hot chamber of the injection molding system (as painted, coated or assambled with non-zinc metals). They are re-melted (secondary) at temperatures up to 650°C in the recycling process and recycled ingots are produced. As a result of re-melting of the alloy at high temperatures, the values of some critical elements fall out of standart limits. In this study, these alloys were defined as “secondary melted”.

In this study, two secondary melted zamak alloys (notation: E1, E2), which were obtained at different times from the recycling workshop, were used. It was aimed to investigated the effects of secondary melting on microstructure and mechanical properties of standard zamak 3 and zamak 5 alloys.

Chemical compositions of alloys were determined by optical emission spectrometer. In secondary melting alloys, aluminum and magnesium were found to be below the limit values, and in addition, the presence of undesired impurity elements was determined in the alloy.

Parts which were cut from standard and secondary melted ingots were melted at 500°C in a graphite crucible and cast into a steel mold. The effects of secondary melting on mechanical properties can occur over a long period of time. In the literature, it was stated that the changes that take place in mechanical properties of zamak 3 and zamak 5 alloys in 24 hours at 105°C are similar to those occur in 365 days at room temperature. In this study, the samples of each alloy were held for 24 hours at 80°C, 105°C and 130°C and the aging process was performed and changes in the mechanical properties that may occur after a long time at room temperature were attempted to be investigated. After casting and aging, the samples were subjected to three point bending tests, hardness measurements and microstructure examinations.

When the bending strength values were compared, it was determined that the E1 and E2 samples obtained from secondary melting ingots had lower strength values after casting and after aging. It is thought that aluminum and magnesium in E1 and E2 alloys

being below the limit values and the presence of impurity elements has a negative effect on the strength. In addition, in all alloys, hardness and strength values were found to decrease as a result of increasing aging temperature.

After casting, bending strength of zamak 3 alloy was measured as 490MPa, its hardness was 88,73 HB10; after aging for 24 hours 130°C its strength was 414 MPa, hardness was 75,38 HB10. after casting bending strength of zamak 5 alloy was 457MPa, hardness was 104,13 HB10; after aging its strength was 387 MPa, hardness was 87,08 HB10. Bending strength of E1 alloy after casting was 444MPa, its hardness was 93,59 HB10; its strength after aging was 391 MPa, hardness was 82,40 HB10. Strength E2 alloy after casting was 383MPa, hardness was 76,80 HB10; its strength after aging was 325 MPa, hardness was 66,72 HB10. Hardness values of E1 alloy samples were lower than those of zamak 5 alloy, where as they were higher than those of zamak 3. The reason for this can be that the value of copper in E1 was higher than that in zamak 3, and iron was present as an impurity element in the alloy.

After mechanical tests, the samples were examined with an optical microscope after grinding, polishing and etching. No apparent changes were observed with optical microscopy in the microstructure of the alloys related to secondary melting or aging. In the microstructure of E1 alloy, some particles that were not present in other alloys were determined, and in energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) analyses, these particles were found to contain iron and aluminum and were thought to be iron - aluminum intermetallic compounds.

After the optical microscope examinations, the polished surfaces and fracture surfaces of the samples were examined in scanning electron microscope (SEM). Fracture surface examinations showed that the structure was generally flat, presenting brittle fracture, but in some regions the fracture was ductile (with dimples). In EDS analyses, it was determined that the ductile phase was aluminum-rich α (alpha), and the brittle parts were zinc-rich η (eta) phase regions.

As a result of this study, it was determined that the general properties of secondary melted zinc alloys were negatively affected due to their improper chemical compositions. For this reason, it can recommended in production operations to check the chemical composition before utilization of secondary melted alloys and to use these alloys in a controlled manner. Considering that secondary melted zinc alloys can be used in workpiece design, it was concluded that it is necessary to design with additional safety coefficient.

KEYWORDS: Zamak Alloys, Secondary Melting, Mechanical Properties

COMMITTEE: Prof. Dr. H. Erdem ÇAMURLU

Assoc. Prof. Dr. Recai Fatih TUNAY

Assoc. Prof. Dr. Gürkan ALTAN

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında farklı endüstri kollarında geniş kullanım alanları bulan ZAMAK alaşımlarının ikincil (yeniden) ergitilmesi durumunda, mekanik ve mikro yapı özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Yapılan çalışmanın neticesinde ikincil eritme alaşım kompozisyonlarındaki elementlerin değişimine bağlı olarak mekanik ve mikro yapı özelliklerinin doğrudan etkilendiği gözlemlenmiştir. Bu anlamda çalışmanın zamak enjeksiyon döküm üretim yapılan atölyelerde ikincil eritme alaşımının nasıl kullanılması gerektiği ve riskleri hususunda ulusal ölçekte katkı sunacağı düşünülmektedir.

Bu doğrultuda tez konusunun belirlenmesinde, deneylerin yapılmasında ve yorumlanmasında her türlü bilgisini, tecrübesini ve zamanını benden esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. H. Erdem ÇAMURLU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sürecinde SEM incelemelerinin yapıldığı Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Araştırma ve Uygulama Merkezi SEM laboratuvarına ve değerli akademisyenlerine teşekkür ederim.

Yüksek Lisans tezi çalışması sürecinde bana destek olan yöneticim Funda AKSOY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu projeyi FYL-2018-3682 numara ile destekleyerek gerçekleşmesinde katkı sunan Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Son olarak yüksek lisans tez sürecinde bana her konuda destek olan aileme ve tezimin yazım aşamasında büyük emeği olan sevgili eşim Gökçe AKTUNA'ya, ayrıca bu süreç boyunca hep yanımda olan, gülüşünü benden esirgemeyen canım oğlum Çağan'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Çinko- Alüminyum Alaşımların Gelişimi	3
2.2. Çinko- Alüminyum Alaşımların Fiziksel Özellikleri	4
2.3. Çinko- Alüminyum Alaşımlarının Kimyasal Kompozisyonu ve Özellikleri	5
2.4. Çinko- Alüminyum Alaşımlarının İkili Faz Diyagramı ve Mikro Yapısı	5
2.5. Çinko- Alüminyum Alaşımları Kullanım Alanları	7
2.6. Çinko- Alüminyum Alaşım Elementlerinin Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi	8
2.6.1. Bakır	8
2.6.2. Magnezyum	10
2.6.3. Alüminyum	12
2.6.4. Silisyum	13
2.6.5. Mangan	15
2.6.6. Titanyum	16
2.6.7. Krom	17
2.6.8. Diğer safsızlık elementleri	18
2.7. Çinko- Alüminyum Alaşımlarında Yaşlanmanın Mekanik ve Mikro Yapı Özelliklerine Etkisi	19
3. MATERYAL VE METOD	26
3.1. Hammaddelerin Tedariki	26
3.2. Alaşımların Kimyasal Kompozisyon Analizi	27
3.2.1. Analiz yöntem	28
3.3. Numunelerin Hazırlanması ve Dökümü	29

3.4. Deneysel Yöntem	31
3.4.1. Yaşlandırma işlemleri	31
3.4.2. Üç nokta eğme testleri	31
3.4.3. Sertlik ölçümleri.....	32
3.4.4. Mikro yapı analizi için numune hazırlama	33
3.4.5. Yüzey zımparalama ve parlatma	34
3.4.6. Optik mikroskop ile mikro yapı incelemeleri.....	35
3.4.7. Taramalı elektron mikroskobu ile mikro yapı incelemeleri	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
4.1. Kimyasal Analiz Sonuçları	37
4.2. Zamak 3 Alaşımı, Yaşlandırma Öncesi ve Yaşlandırma Sonrası Özellikleri	38
4.2.1. Zamak 3 alaşım numuneleri mikro yapı incelemeleri	38
4.2.2. Zamak 3 alaşım numuneleri sertlik ölçümleri	42
4.2.3. Zamak 3 alaşım numuneleri üç-nokta eğme testleri sonuçları	43
4.3. Zamak 5 Alaşımı, Yaşlandırma Öncesi ve Yaşlandırma Sonrası Özellikleri	45
4.3.1. Zamak 5 alaşım numuneleri mikro yapı incelemeleri	45
4.3.2. Zamak 5 alaşım numuneleri sertlik ölçümleri	48
4.3.3. Zamak 5 alaşım numuneleri üç-nokta eğme testleri sonuçları	49
4.4. İkincil Eritme-1 Alaşımı, Yaşlandırma Öncesi ve Yaşlandırma Sonrası Özellikleri	50
4.4.1. İkincil eritme-1 alaşım numuneleri mikro yapı incelemeleri	50
4.4.2. İkincil eritme-1 alaşım numuneleri sertlik ölçümleri	55
4.4.3. İkincil eritme-1 alaşım numuneleri üç-nokta eğme testleri sonuçları	56
4.5. İkincil Eritme-2 Alaşımı, Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Özellikleri.....	57
4.5.1. İkincil eritme-2 alaşım numuneleri sertlik ölçümleri	57
4.5.2. İkincil eritme-2 alaşım numuneleri üç-nokta eğme testleri sonuçları	58
5. SONUÇLAR.....	60
5.1. Mikro Yapı Karşılaştırmaları	60
5.2. Üç Nokta Eğme Testlerinin Sonuçları	64
5.3. Sertlik Ölçümleri Sonuçları	65
6. KAYNAKLAR.....	67

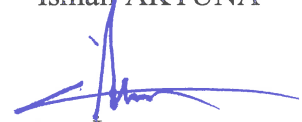
ÖZGEÇMİŞ

AKADEMİK BEYAN

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “ İkincil eritmenin zamak alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi” adlı çalışmanın akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

09/05/2019

İsmail AKTUNA



İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

MPa: Megapascal

Cu: Bakır

Al: Alüminyum

Zn: Çinko

Mn: Mangan

Pb: Kurşun

Ti: Titanyum

Si: Silisyum

Cd: Kadmiyum

Cr: Krom

Fe: Demir

Ni: Nikel

Sn: Kalay

%: Yüzde

°C: Santigrat

η : Çinkoca zengin katı eriyik,

α : Alüminyumca zengin katı eriyik,

$\acute{\alpha}$: Monoötektoidin çinkoca zengin tarafındaki fazı,

β : Çinkoca zengin yüksek sıcaklık fazı,

mm: Milimetre

kN: Kilonewton

Sn: Saniye

psi: Pounds per square inch

Kısaltmalar

ILZRO: International Lead Zinc Research Organization

ASTM: American Society for Testing and Materials

ASM: American Society for Metals

EDX: Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy

SEM: Scannig Elektron Microscope

YETEM: Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi

E1: İkincil Eritme-1

E2: İkincil eritme-2

Z5: Zamak 5

Z3: Zamak 3

DS: Döküm Sonrası

ZA8: Zamak 8

ZA12: Zamak 12

ZA27: Zamak 27

HV: Hardness Vickers

STD: Standart

HB10: Brinel 10

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Zn-Al ikili faz diyagramı (Goldak ve Parr 1963)	6
Şekil 2.2. Zamak alaşımasının kullanım alanları (http://www.nyrstarturkiye.com/zamak-kullanim-alanlari.html 23.2.2019 15:00)	7
Şekil 2.3. Bakır ilavesinin %22-26-30 oranında Alüminyum içeren çinko alaşımlarında çekme dayanımı (1000psi) ve % uzamaya etkisi (Gervais 1980)	9
Şekil 2.4. Zn-60Al-(1-5) Cu Alaşımlarında değişen bakır oranına bağlı olarak çekme dayanımı, sertlik ve yoğunluk değerlerindeki değişimler (Pürçek 2000)	10
Şekil 2.5. Zn-Mg ikili denge diyagramı(Goodwin ve Ponikvar 1989).....	11
Şekil 2.6. Taneler arası korozyona uğrayan döküm parçası incelemesi (Polat 2011b)	12
Şekil 2.7. Zn-Si ikili denge diyagramı (Olesinski vd. 1985)	13
Şekil 2.8. Zn-25Al alaşımlarına bakır ve silisyum eklenmesi durumu ve yaşlandırma sonrası sertlik değişimi (Savaşkan ve Murphy 1987)	14
Şekil 2.9. Zn-25Al alaşımlarına bakır ve silisyum eklenmesi durumu ve yaşlandırma sonrası çekme dayanımının değişimi (Savaşkan ve Murphy 1987).....	15
Şekil 2.10. Zn-Mn ikili denge diyagramı (Türk 1996)	16
Şekil 2.11. Zn-Ti ikili denge diyagramı (Uğur 2009).....	17
Şekil 2.12. Demirin ergiyik çinko içinde çözünürlüğüne sıcaklığın etkisi (Polat 2011b)	18
Şekil 2.13. Çinkonun yüksek sıcaklıkta ergitilmesi sonucu alaşım içinde çözünen demir nedeniyle intermetalik oluşumu (Polat 2011b)	18
Şekil 2.14. a) Yaşlanma deneyi öncesi mikro yapı analizi; b) 240 saat 105°C yaşlanma işlemi sonrası mikro yapı analizi (Montesano vd. 2015)	20
Şekil 2.15. a) Isıl işlem öncesi SEM analiz; b) 105°C 24 saat yaşlandırma sonrası SEM analiz (Montesano vd. 2015)	20
Şekil 2.16. a) Yaşlanma deneyi öncesi mikro yapı; b) 105°C 240 saat yaşlanma sonrası mikro yapı; c) 130°C 240 saat yaşlanma sonrası mikro yapı (Pola vd. 2015)	21
Şekil 2.17. a)130°C’de yaşlanma öncesi SEM analiz; b) 130°C’de yaşlanma sonrası SEM analiz (Pola vd. 2015).....	22
Şekil 2.18. Zn-Al faz diyagramı ve Zn-15Al-1Cu-Mg alaşımın faz diyagramındaki gösterimi (Pola vd. 2015; A.S.M. Handbook 1992)	22
Şekil 2.19. Üç farklı kalınlıktaki zamak 5 alaşımın doğal yaşlanma eğrisi (Goodwin ve Kallien 2011).....	23

Şekil 2.20. Üç farklı kalınlıktaki zamak 5 alaşımın farklı sıcaklıklardaki yapay yaşlandırma eğrisi (Goodwin ve Kallien 2011)	24
Şekil 2.21. 1,5mm kalınlıktaki üç alaşım numunelerin doğal ve yapay yaşlandırma sonrası mukavemet değerleri (Goodwin ve Kallien 2011)	24
Şekil 3.1. Zamak 3 ve zamak 5 külçe hammaddeleri	26
Şekil 3.2. Accado geri dönüşüm eritme potası	27
Şekil 3.3. Foundry Master Optik Emisyon Spektrometre	27
Şekil 3.4. R-Zn11/2 Çinko kalibrasyon numunesi	28
Şekil 3.5. a) Metkon marka Metacut M250 model testere, b) Döküm potası Clay bonded graphite, c) Deney numunesi kalıbı	29
Şekil 3.6. Döküm kalıbı ve kalıptan çıkan numunelerin katı model resimleri	30
Şekil 3.7. Protherm Furnaces marka fırın	30
Şekil 3.8. Kül fırınına koyulan numuneler	31
Şekil 3.9. 50kN kapasiteli SHIMADZU AUTOGRAPH AG-IC çekme-basma test cihazı ve üç nokta eğme aparatı	32
Şekil 3.10. DIGIROCK HARDNESS TESTER marka Brinel sertlik ölçüm cihazı	33
Şekil 3.11. a) Metkon METAPRESS-A MOUNTING PRESS marka bakalit makinesi, b) 80°C-105°C-130°C 24 saat yaşlandırma yapılan ve yaşlandırma yapılmayan numunelerin bakalit sonrası görünümü	33
Şekil 3.12. a) Metkon FORCIPOL 2V GRINDER-POLİŞER marka model yüzey polisaj makinesi, b) Metkon FORCIPOL 1V GRINDER-POLİŞER marka yüzey parlatma(polisaj) makinesi, c) Nital Dağlayıcı	34
Şekil 3.13. NIKON marka ECLIPSE LV-150 M model optik mikroskop	35
Şekil 3.14. FEI Quanta Feq-250 SEM cihazı	36
Şekil 3.15. SEM ve EDX incelemesi yapılan kırık numuneler	36
Şekil 4.1. a) Z3 Döküm sonrası 500x; b) Z3 80°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x; c) Z3 105°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x; d) Z3 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x optik mikroskop görüntüleri	39
Şekil 4.2. a) Z3 Döküm sonrası (DS) 5000x; b) Z3 Döküm sonrası (DS) 10.000x; c) Z3 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 5000x; d) Z3 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 10.000x SEM görüntüleri	40
Şekil 4.3. a) Z3 Döküm sonrası (DS) 250x; b) Z3 Döküm sonrası 20.000x; c) Z3 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 250x; d) Z3 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 20.000x SEM görüntüleri	41
Şekil 4.4. a) Zamak 3 döküm sonrası sünek kırılma bölgesi; b) Zamak 3 döküm sonrası gevrek kırılma bölgesi SEM görüntüleri.....	42

Şekil 4.5. Zamak 3 130°C 24 saat yaşlanma sonrasına ait sünek bölge EDS analiz noktaları; b) Zamak 3 130°C 24 saat yaşlanma sonrasına ait gevrek bölge EDS analiz noktası	42
Şekil 4.6. Zamak 3 alaşımı döküm sonrası ve 80°C, 105°C, 130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri grafiği	43
Şekil 4.7. Zamak 3 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri grafiği	43
Şekil 4.8. a) Z5 Döküm sonrası 500x; b) Z5 80°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x; c) Z5 105°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x; d) Z5 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x optik mikroskop görüntüleri	45
Şekil 4.9. a) Z5 Döküm sonrası (DS) 5000x; b) Z5 Döküm sonrası (DS) 10.000x; c) Z5 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 5000x; d) Z5 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 10.000x SEM görüntüleri	46
Şekil 4.10. a) Z5 Döküm sonrası (DS) 250x; b) Z5 Döküm sonrası (DS) 20.000x; c) Z5 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 250x; d) Z5 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 10.000x SEM görüntüleri.....	47
Şekil 4.11. Döküm sonrasına ait kırık zamak 5 alaşım numunesinin sünek ve gevrek kırılma bölgelerinin elemental analiz bölgesi	47
Şekil 4.12. 130 °C 24 saat yaşlanma sonrasına ait kırık zamak 5 alaşım numunesinin sünek ve gevrek kırılma bölgelerinin elemental analizi	48
Şekil 4.13. Zamak 5 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri grafiği	49
Şekil 4.14. Zamak 5 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri grafiği	50
Şekil 4.15. a) E1 Döküm sonrası 500x; b) E1 80°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x; c) E1 105°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x; d) E1 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x optik mikroskop görüntüleri	51
Şekil 4.16. a) E1 Döküm sonrası 5000x; b) E1 Döküm sonrası 10.000x; c) E1 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 5000x; d) E1 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 10.000x SEM görüntüleri	52
Şekil 4.17. İkincil eritme-1 130 °C 24 saat yaşlanma sonrası parlatılmış ve dağlanmış numunenin EDS elemental analizi	53
Şekil 4.18. a) E1 Döküm sonrası 250x; b) E1 Döküm sonrası 20.000x; c) E1 130°C 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası 250x; d) E1 130°C 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası 20.000x SEM görüntüleri	54
Şekil 4.19. Döküm sonrasına ait kırık ikincil eritme-1 alaşım numunesinin sünek ve gevrek kırılma bölgelerinin elemental analizi	54

Şekil 4.20. 130°C 24 saat yaşlanma sonrasına ait kırık ikincil eritme-1 alaşım numunesinin sünek ve gevrek kırılma bölgelerinin elemental analizi	55
Şekil 4.21. İkincil eritme-1 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri grafiği	56
Şekil 4.22. İkincil eritme-1 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri grafiği	57
Şekil 4.23. İkincil eritme-2 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri grafiği	58
Şekil 4.24. İkincil eritme-2 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri grafiği	59
Şekil 5.1. Optik mikroskop ile 1000x büyütmede tüm alaşımlar için yapılan incelemelere ait fotoğraflar	61
Şekil 5.2. Zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 yüzeyler parlatılmış, dağlanmış alaşım numunelerinin döküm sonrası (DS) ve 130°C 24 saat yaşlanma sonrasına ait 5000x büyütme SEM görüntüleri.....	62
Şekil 5.3. Zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşım numunelerinin döküm sonrası (DS) ve 130°C 24 saat yaşlanma sonrasına ait kırık yüzeylerin 500x büyütme SEM görüntüleri	63
Şekil 5.4. Zamak 5, zamak 3, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşımlarının döküm sonrası ve 80°C, 105°C, 130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası üç nokta eğme dayanım değerleri	64
Şekil 5.5. Zamak 5, zamak 3, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşımlarının döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. ZA ve diğer döküm alaşımları fiziksel özellikleri (Gervais vd. 1985)	4
Çizelge 2.2. Zn-Al esaslı alaşımlarının ASTM B 86 ve B 791 döküm standartlarına göre % ağırlıkça kimyasal bileşimleri (Türk 1996)	5
Çizelge 2.3. Zn-Al ikili denge diyagramında oluşan önemli dönüşümler (Pürçek 1994)	6
Çizelge 2.4. Safsızlık elementlerin zamak alaşımlarındaki limit değerleri (Pola vd. 2010)	19
Çizelge 2.5. İlk döküm ve yaşlanma sonrası alaşımların mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişim (Savaşkan ve Murphy 1987)	25
Çizelge 3.1. Zamak alaşımları limit değerler	28
Çizelge 4.1. Deneye tabi tutulacak zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1 (E1) ve ikincil eritme-2 (E2) külçelerinin kimyasal analiz sonuçları	37
Çizelge 4.2. Zn-Al ikili denge diyagramında oluşan önemli dönüşümler (Pürçek 1994)	39
Çizelge 4.3. Zamak 3 alaşımı döküm sonrası ve 80°C, 105°C, 130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri	43
Çizelge 4.4. Zamak 3 alaşımı döküm sonrası ve 80°C, 105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri	44
Çizelge 4.5. Zamak 3 alaşımlarının eğme testlerindeki % birim şekil değişim çizelgesi	45
Çizelge 4.6. Zamak 5 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri	48
Çizelge 4.7. Zamak 5 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri.	49
Çizelge 4.8. Zamak 5 alaşımlarının eğme testlerindeki % birim şekil değişim çizelgesidir	50
Çizelge 4.9. İkincil eritme-1 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri	55
Çizelge 4.10. İkincil eritme-1 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri	56
Çizelge 4.11. İkincil eritme-1 alaşımlarının eğme testlerindeki % birim şekil değişim çizelgesidir	57
Çizelge 4.12. İkincil eritme-2 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri	58
Çizelge 4.13. İkincil eritme-2 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri	59

Çizelge 4.14. İkincil eritme-2 alaşımlarının eğme testlerindeki % BŞD çizelgesidir ... 59

Çizelge 5.1. Zamak 5, zamak 3, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşımlarının döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası ortalama sertlik değerleri 65



1. GİRİŞ

Zamak alaşımları bileşiminde ağırlıklı olarak çinko ve alüminyum, az miktarda bakır, magnezyum ve diğer elementleri barındırmaktadır. İlk defa ise, 1929 yılında The New Jersey Company tarafından bulunmuş olup, %99,995 saf çinkoya %4 oranında bakır ve diğer elementlerin ilavesi ile kompozisyon tasarımı yapılmıştır. Zamak alaşımlarının ilk üretiminden bu yana alaşım üzerindeki ar-ge çalışmaları devam etmiştir. Bu kapsamda Uluslararası Kurşun ve Çinko Araştırma Kurumunun (ILZRO) desteğiyle kaymalı yatak üretiminde kullanılması amacıyla yüksek sürünme dayanımına sahip kompozisyonunda %12 alüminyum ihtiva eden ZA12 adında yeni bir zamak alaşım üretilmiştir. 1980'li yıllara gelindiğinde ise, Norando araştırma merkezi daha yüksek sürünme ve çekme dayanımına sahip ZA-8 ve ZA-27 alaşımlarını üretmişlerdir.

Günümüz şartlarında birçok farklı endüstri kollarında sanayileşmenin hızla devam etmesi ile teknolojik ve ar-ge çalışmalarını da paralel olarak devam ettirmektedir. Artan endüstrileşme ile birlikte üretim maliyetlerinin ve alternatiflerin de sürekli olarak arttığı bilinmektedir. Bu sebeple gerek akademik gerek özel sektörün malzeme biliminden her gün daha fazla faydalanması gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Zamak alaşımları özellikle düşük ergime sıcaklığı buna bağlı prosesinde düşük enerji tüketimi, kolay dökülebilirlik, yüksek korozyon dayanımı, kaplama ve boyanabilirliği açısından kullanımını avantajlı kılmaktadır. Endüstride geniş yelpazede kullanım alanına sahip olan zamak alaşımları, aksesuar ürünleri, otomotiv, beyaz eşya, yatak malzemesi, ev eşyaları, tekstil ve yapı endüstrisi gibi geniş yelpazede kullanım alanına sahiptir.

Zamak alaşımlarında %5'e kadar alüminyum içerenleri basınçlı enjeksiyon sistemi ile dökülebilirken, %5'ten fazla alüminyum barındıran alaşımlarda basınçlı döküm yöntemi kullanılamamaktadır.

Zamak alaşımları ticari adları içeriğindeki bakır oranına göre, zamak 2 (%2,50-3,00), zamak 3 (%0,25) ve zamak 5 (%0,75-1,25) şeklinde isimlendirilmiştir. Artan bakır oranına bağlı olarak alaşım parçasının çekme mukavemeti ve sertliği artabilmekte sünekliği azalabilmektedir.

Alaşımın mekanik özelliklerinin belirlenmesinde magnezyum gibi diğer alaşım elementlerinin de doğrudan etkisi bulunmaktadır. Magnezyum elementinin limit değerlerde bulunmaması durumunda mikro yapıda intermetalik bileşiklerin oluşumunun önlenememesi; kalay, kurşun, kadmiyum, silisyum gibi empüritelerin limit değerlerden fazla olması durumunda ise, intermetalik bileşiklerin oluşumunun hızlı bir şekilde artması sonuçları doğmaktadır.

Zamak alaşımların avantajlarından biri olan düşük ergime sıcaklığının aynı zamanda bir dezavantaj olduğunun görülmesi gerekmektedir. Zira oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda alaşım parçasında meydana gelen metalürjik değişimler, yaşlanmanın

hızlanmasına neden olabilmektedir. Alaşım parçası yaşlanmayla birlikte kendisinden beklenen mekanik özellikleri gösterememeye başlamakta ve işlevselliğini yitirmektedir.

İkincil eritme işlemi, birincil eritme ve döküm sonrasında hurda veya fazla parçaların geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılabilmesi için ekonomik açıdan gerekli olan bir uygulamadır. Bununla birlikte, zamak alaşımlarının kullanımında dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de geri dönüşüm yani ikincil eritme alaşımlarının kullanımıdır. Zira ikincil yani tekrar eritme ile birlikte alaşım kompozisyonunda bulunan magnezyum oksidasyona uğrar ve bu nedenle kompozisyondaki % Mg oranının düşebilme riski vardır. Özellikle enjeksiyon proseslerinden çıkan ürünlerin yarı montaj ve/veya montajlandıktan sonra uygunsuzlukların tespit edilmesi olağandır.

Enjeksiyon kalıplarında bulunan yolluk tekrar sıcak kamaraya beslenebilirken, hava cebi potada patlama riski nedeniyle beslenememektedir. Ayrıca her üretim esnasında döküm sıcaklığına bağlı olarak ergiyiğin temas ettiği makine-kalıp ekipmanlarından demirin çözünerek ergiyiğin içine karışması olağan bir durumdur. Bu sebeple hava cebi veya yarı montajlı parçaların geri dönüşüm tesisinde yeniden ergitilip kontrollü kullanılması gerekmektedir. Zira artık kompozisyonunda empüritelerin artması ve magnezyumun azalabilmesi riskini barındırmaktadır.

Bu çalışmada Accado Kilit Sistemlerinde enjeksiyon atölyesinde kullanılan zamak 3, zamak 5 ve geri dönüşüm potasında yeniden ergitilen ikincil zamak alaşımların kullanımı incelenmiştir. İkincil eritmenin mekanik özellikler üzerindeki etkisi, uzun zaman içinde ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, özellikle ikincil eritme ile elde edilmiş olan zamak alaşımı parçaların özellikleri, yapay yaşlandırma işlemi uygulandıktan sonra gerçekleştirilmiş olan mekanik testler ve mikro yapı incelemeleri ile irdelenmiştir. Sonuçlar, birincil döküm ürünü olan zamak 3 ve zamak 5 alaşımları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ikincil eritme zamak alaşımlarının dayanım değerlerinin orijinal zamak 3 ve zamak 5 alaşımlarına kıyasla daha düşük olduğu ve zaman içinde dayanımda azalma meydana geldiği belirlenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Çinko- Alüminyum Alaşımlarının Gelişimi

Zamak alaşımları bileşiminde ağırlıklı olarak çinko ve alüminyum, düşük oranda da magnezyum, bakır ve diğer elementler bulunmaktadır. İlk defa The New Jersey Company tarafından 1929 yılında bulunan zamak alaşımın %99,995'lik çinko metaline %4'lük bakır ve diğer elementlerin karışımı ile üretilmiştir. Almanca zink (Zn), Aluminium (Al) Magnesium (Mg), Kupfer (Cu) baş harflerinden oluşmaktadır. Bu yıllarda öncelikle zamak 2, zamak 3, zamak 5 ve zamak 7 yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

İkinci dünya savaşı zamanında Almanya'da bakır ve kalayın üretiminin düşük olması tedarik problemleri nedeniyle, yüksek oranda alüminyum ihtiva eden çinko alaşımları üretilerek bronzun yerine kullanılmaya başlanmıştır (Marczak ve Ciach 1973).

%10-30 oranında alüminyum ihtiva eden çinko alaşımları kaymalı yataklarda kullanılmaya başlanmış ve beyaz bronz olarak adlandırılmıştır (Mihaichuk ve Bess 1987).

1939-1943'lü yıllarda Almanya'da bakır kıtlığının fazla olması nedeniyle geliştirilen çinko alaşımlarının kullanımı 7.800 tondan 49.000 tona yükselerek bronzun yerine kullanılmaya başlanmıştır. Bronza ikame olarak rulman malzemesinde yağlama kolaylığı ve düşük sürtünme katsayısına sahip olması kullanımı artıran etkenlerden olmuştur (Apelian vd. 1981).

1960'lı yılların devamında Uluslararası Kurşun ve Çinko Araştırma Kurumunun (ILZRO) desteklediği araştırma programlarında ILZRO-16 adında yeni bir zamak alaşım dizayn edilmiştir. Bu alaşım yüksek sürünme dayanımına sahip olsa da sıcak kamaralı enjeksiyon makinelerinde üretilebilirliği olmaması ve ekonomik olmaması nedeniyle yaygın kullanım alanı oluşmamıştır (Goodwin 1989).

Kaymalı yatak üretiminde kullanılmak üzere yüksek alüminyum ihtiva eden zamak alaşımları ar-ge süreci devam etmiştir. Uluslararası Kurşun ve Çinko Araştırma Kurumunun (ILZRO) desteklediği ar-ge programında basınçsız döküm metodu ile %12 alüminyum ihtiva eden yüksek sürünme dayanımına sahip zamak alaşım üretilmiştir. Bu alaşımın adı ilk başlarda ILZRO-12 olarak adlandırılrsa da sonrasında ZA-12 olarak değiştirilmiştir (Gervais ve Loong 1984).

1980'li yıllarda Norando araştırma merkezi iki yeni zamak alaşım üretimini yapmıştır. Bunlar ZA-8 ve ZA-27 olup, Zn döküm alaşımlarına göre daha yüksek çekme mukavemetine ve sürünme dayanımına sahip olması, alaşımların kullanılmasını avantajlı kılmıştır (Calayag 1984).

%5'e kadar alüminyum ihtiva eden zamak alaşımları sıcak kamaralı enjeksiyon makinelerinde üretilebilirken, %5'in üstünde alüminyum ihtiva eden zamak alaşımları

döküm esnasında korozyon oluşma riski nedeniyle soğuk kamaralı enjeksiyon makinelerinde dökülemeyeceği belirtilmiştir (Goodwin 1989).

Özellikle düşük ergime sıcaklığı ve buna bağlı olarak düşük enerji tüketimi nedeniyle alaşım basınçlı döküm sanayinde kullanımını avantajlı kılmaktadır. Alaşımın diğer avantajları ise, düşük döküm sıcaklığı, sıcak kamaralı basınçlı döküm makinalarında dekoratif ince cidarlı ve yapısal ürünlerin kolaylıkla dökülebilmesi, düşük enerji tüketimi, seri üretim kalıp ömürlerinin uzun olması ve hammaddenin ekonomik olması şeklinde sıralanabilir (Goodwin 1989).

Zamak alaşımları oda sıcaklığında yüksek mekanik dayanımı ve korozyon direncine sahip olması avantaj olarak görülmektedir (Barnhurst 1983; Dominguez 2002). Ancak kullanımını sınırlayan bazı hususlar şu şekilde tespit edilmiştir.

1. Yaşlanma ile birlikte üründe meydana gelen boyutsal değişiklikler, (Kubel 1987; Dominguez 2002; Men 2013).
2. Isıl işlem esnasında ön görülemeyen metalürjik belirsizlikler, (Dominguez 2002).
3. Düşük ergime sıcaklığı nedeniyle, ürünün kullanım sıcaklık aralığının sınırlı olması (Rachev 1991; Dominguez 2002).

2.2. Çinko- Alüminyum Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri

Zn-Al alaşımları ve bazı döküm alaşımlarının fiziksel özellikleri Çizelge 2.1’de belirtilmiştir. Zamak 3 ve zamak 5 alaşımları ergimeye 380 °C ‘de başlarken, zamak 2 379 °C ergimeye başlar. Zamak 3 ve zamak 5 için 6°C’lik katılaşma aralığı bulunurken, zamak 2’de 11°C’lik katılaşma aralığı bulunmaktadır. Diğer zamak alaşımları için ergime başlangıç noktası ve katılaşma aralığı Çizelge 2.1’de belirtilmiştir. Alaşım içindeki alüminyum miktarı arttıkça alaşımın ısı iletkenlik, elektrik iletkenliği, spesifik ısıma ve soğuma aralığının arttığı tespit edilmiştir (Gervais vd. 1985).

Çizelge 2.1. ZA ve diğer döküm alaşımları fiziksel özellikleri (Gervais vd. 1985)

		Döküm Yöntemi	Yoğunluk g/cm ³	Ergime Aralığı, °C	Isıl Genleşme Katsayısı, µm/mK	Isıl İletkenlik, W/mK	Elektrik İletkenliği, IACS	Elektriksel Direnç, µ/cm
Çinko	Zamak 3	Basınçlı	6.6	381-387	27.4	113	27	6.37
	Zamak 5	Basınçlı	6.7	380-386	27.4	100	26	6.54
	ZA 8	Kokil ve Basınçlı	6.3	375-404	23.2	115	27,7	6.2
	ZA 12	Kokil	6.3	377-432	24.1	116	28.3	6.1
	ZA 27	Kum	5.0	375-484	26.0	125.5	29.7	5.8
Alüminyum	356-T6	Kokil	2.69	556-615	21.5	151	39	6.4
	380	Basınçlı	2.74	540-595	21.8	96.2	27	4.4
	319	Kum	2.8	515-605	21.5	109	15	6.4
Pirinç	SAE 40	Kum	8.83	855-1010	18	72	15	11.5
	SAE 600	Kum	8.93	855-975	18	59	12	14.4
Bronz	SAE 64	Kum	8.88	762-928	18.5	46.9	10.1	17.1

2.3. Çinko- Alüminyum Alaşımlarının Kimyasal Kompozisyonu ve Özellikleri

Zamak 3 ve zamak 5 alaşımlarında %3,9-4,3 oranında alüminyum bulunmaktadır. Magnezyum elementi zamak 3 alaşımında %0,025-0,05 oranında bulunurken, zamak 5 alaşımında %0,03-0,06 oranında bulunmaktadır. Zamak 5 alaşımında %0,75-1,25 oranında bakır bulunurken, zamak 3 alaşımında %0,10 oranında bakır bulunur. Bu farklılık, iki alaşımı birbirinden fiziksel ve kimyasal anlamda ayrılmasının en büyük etken olduğu belirtilmiştir (Apelian vd. 1981).

Zamak 5 alaşımındaki %0,75-1,25 oranındaki bakırın bulunması, zamak 3'e göre içeriğindeki zamak 5'in daha sert ve mukavemetli olmasına etkindir. Bu farklılıkların alaşımın kullanım alanlarını doğrudan şekillendireceği belirtilmiştir (Barnhurst 1992; Uğur 2009).

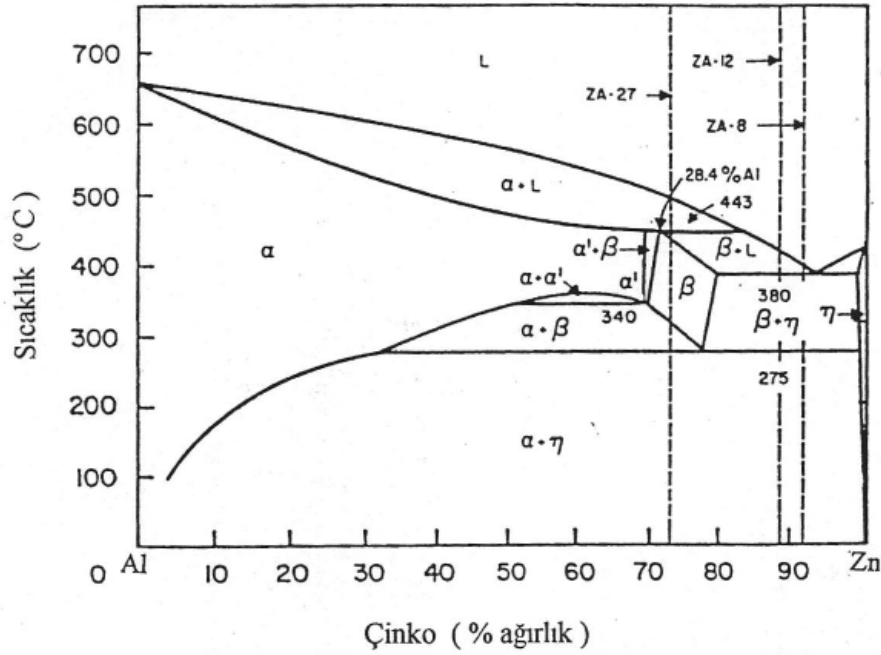
Zamak 8 alaşımında 8-8,8 oranında Alüminyum, %0,8-1,3 oranında bakır, %0,015-0,30 oranında magnezyum bulunmaktadır. Zamak 8 alaşımındaki alüminyum oranının %8-8,8 aralığında olması sertlik ve sürünme mukavemetinin artmasına etki ettiği belirtilmiştir (Uğur 2009). Aşağıdaki Çizelge 2.2'de zamak alaşımlarının kimyasal kompozisyonu alaşımı oluşturan elementler için limit değerler verilmiştir.

Çizelge 2.2. Zn-Al esaslı alaşımlarının ASTM B 86 ve B 791 döküm standartlarına göre % ağırlıkça kimyasal bileşimleri (Türk 1996)

Element %	Al	Cu	Mg	Ti	Cr	Fe maks.	Pb maks.	Cd maks.	Sn maks.	Zn maks.
Zamak 3	3.5-4.3	0.25 maks.	0.02-0.05	-	-	0.100	0.005	0.004	0.003	Kalan
Zamak 5	3.5-4.3	0.75-1.25	0.03-0.08	-	-	0.100	0.005	0.004	0.003	Kalan
ILZRO 16	0.01-0.04	-	0.02	0.15-0.25	0.1-0.2	0.004	0.005	0.004	0.003	Kalan
ZA 8	8.0-8.8	0.8-1.3	0.015-0.030	-	-	0.075	0.006	0.006	0.003	Kalan
ZA 12	10.5-11.5	0.5-1.2	0.015-0.030	-	-	0.075	0.006	0.006	0.003	Kalan
ZA 27	25-28	2.0-2.5	0.010-0.020	-	-	0.075	0.006	0.006	0.003	Kalan

2.4. Çinko- Alüminyum Alaşımları İkili Faz Diyagramı ve Mikro Yapısı

Çinko-alüminyum alaşımlarının ikili faz diyagramının aşağıdaki Şekil 2.1'deki haline ulaşmıştır (Goldak ve Parr 1963).



Şekil 2.1. Zn-Al ikili faz diyagramı (Goldak ve Parr 1963)

İkili diyagrama göre alüminyumun içinde çözünen çinko üç farklı faz ortaya çıkarmıştır. Bunlar α , α' ve β' dir. Çinkoca zengin faz bölgesine η , alüminyumca zengin faz bölgesine kısma α , çinkoca zengin faz bölgesine monoötektoid α' ve çinkoca zengin peritektik faz bölgesine ise β olarak belirtilmiştir (Goodwin ve Ponikvar 1989).

Diyagram incelendiğinde 275°C' de ötektoid, 380°C ötektik, 340 °C' de monoötektoid, 443°C' de peritektik faz dönüşümleri meydana gelmektedir (Marder 2000).

Çinko-Alüminyum ikili denge diyagramında oluşan önemli dönüşümler Çizelge 2.3'de bulunmaktadır.

Çizelge 2.3. Zn-Al ikili denge diyagramında oluşan önemli dönüşümler (Pürçek 1994)

Dönüşüm	Çinko Oranı (%)	Sıcaklık (°C)
Ötektik $L \leftrightarrow \beta + \eta$	95	380
Ötektoid i)- $\beta \leftrightarrow \alpha + \eta$ ii)- $\alpha + \alpha' \leftrightarrow \alpha + \beta$	78 52	275 340
Peritektik $\alpha + L \leftrightarrow \beta$	71.6	443

η : Çinkoca zengin katı eriyik

α : Alüminyumca zengin katı eriyik

$\acute{\alpha}$: Monoötektoidin çinkoca zengin tarafındaki fazı

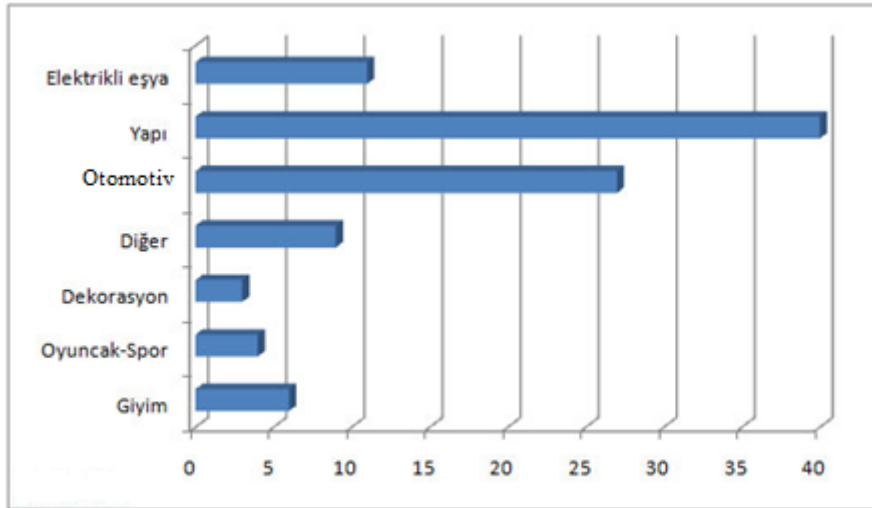
β : Çinkoca zengin yüksek sıcaklık fazı

L: Sıvı bölge

$\acute{\alpha} + \beta$ faz bölgesi çinko oranının %69,5 olduğu ve sıcaklığın 340 °C’ den başlayıp 443°C’ deki $\alpha + L$ peritektik faz bölgesine kadar uzanan dar bir bölgeyi kapsar. Alüminyumca zengin katı eriyikler 351°C ve 340°C sıcaklıkları arasında farklı oranlarda çinko oranı içerdiklerinden α ve $\acute{\alpha}$ fazı olarak ikiye ayrılır. $\alpha + \acute{\alpha}$ faz bölgesinin oluşumu yani iki fazın karışımı 340°C’ de %49 çinko oranından başlayıp, 351°C’ de %69,5 çinko oranına kadar devam eder. İki faz birleşimi maksimum 351°C’ ye kadar devam eder. Çinko hexagonal sıkı paket kristal yapısına sahiptir (ASTM Handbook 1992; Men 2013).

2.5. Çinko- Alüminyum Alaşımları Kullanım Alanları

Zamak alaşım hammaddesi çok yaygın bir kullanım alanlarına sahiptir. Başlıca kullanım alanları yapı sektörü, elektrikli ev eşyalarında, otomotiv endüstrisinde, dekorasyon, oyuncak ve giyim gibi çeşitli yaygın kullanım alanlarına sahiptir (Polat 2011a). Şekil 2.2’de zamak alaşımlarının farklı endüstri kollarında kullanımı oranlanmıştır. Buna göre zamak alaşımlarının en çok yapı endüstrisinde kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 2.2. Zamak alaşımının kullanım alanları (<http://www.nyrstarturkiye.com/zamak-kullanim-alanlari.html> 23.2.2019 15:00)

- Otomotiv endüstrisinde;

Cam silecek parçaları, karbüratör, yakıt pompası, hız ölçer iskeleti, hidrolik fren parçaları, radyatör, yakıt pompası gövdesi, korna bilezikleri, küresel yataklar ve aşınma plakaları gibi hem mekanik hem de aksesuar parçaları olarak kullanılmaktadır.

- Elektrik-elektronik endüstrisinde;

Çamaşır makinasının bazı parçalarında, motor gövdelerinde, elektrik süpürgelerinde, fotoğraf makinelerinde, kameralarda ve bazı mutfak aletlerinde yapısal parça olarak kullanılmaktadır.

- Hırdavat-yapı endüstrisinde;

Genel olarak zamak grubu alaşımlarının genelinde yüksek oranda çinko bulundurduğundan (ortalama $>94\%$) yüksek korozyon dayanımı özelliğine sahiptirler (Polat 2011a). Bu sebeple, korozyon dayanımı isteyen; boru ve kelepçelerde, yangın söndürme ekipmanlarında, doğalgaz yapı elemanlarında, pencere-kapı-kilit aksesuarlarında yoğun olarak kullanılmaktadır (Uğur 2009; Sahar 2007).

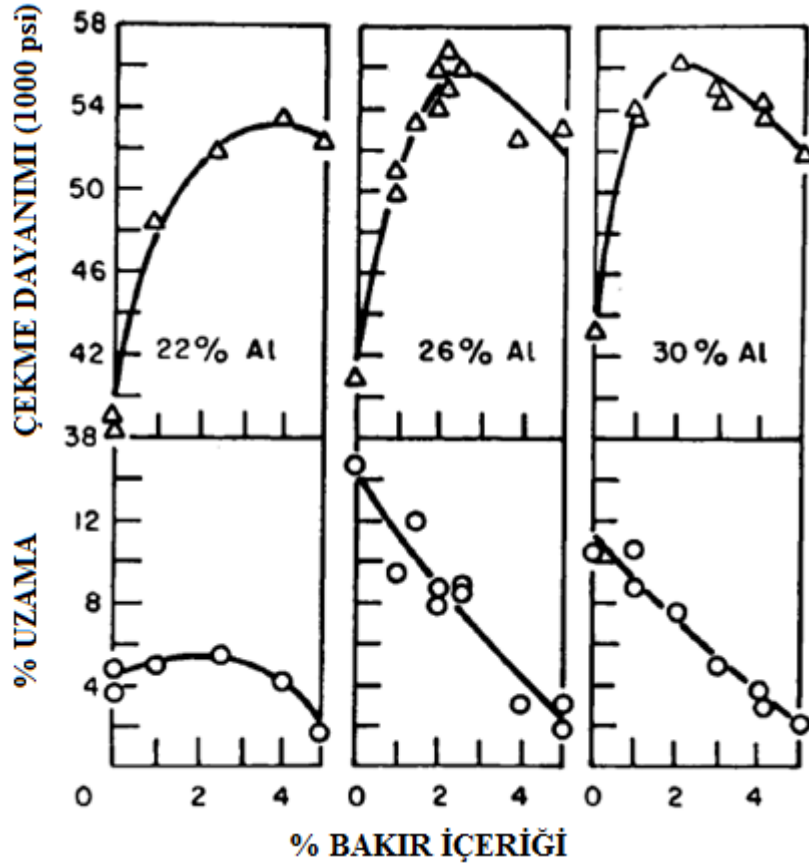
Ev aletleri, motor blokları gibi yüksek dayanım isteyen kısımlarda zamak 27; pencere aksesuarları ve bilgisayar ekipmanları gibi yüksek dayanım istemeyen kısımlarda zamak 3 ve zamak 5; madeni eşyalar, otomotiv endüstrisi, bahçe aletleri gibi daha fazla dayanım isteyen yerlerde zamak 12 ve zamak 8 alaşımları kullanılabilir (Uğur 2009).

2.6. Çinko- Alüminyum Alaşım Elementlerinin Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi

2.6.1. Bakır

Bakır elementi zamak alaşımlarında çekme dayanımını, sertliği, mukavemeti artırıcı; %uzama oranı ve sünekliği azaltıcı bir etkiye sahiptir. Şekil 2.3’de bakır ilavesinin farklı oranlarda alüminyum ihtiva eden zamak alaşımlarındaki çekme mukavemet değerlerine ve sertlik değerlerine olan etkisini göstermektedir. Ayrıca bakır elementinin mikro yapıya ilavesi çeşitli oranlarda alüminyum içeren çinko alaşımlarında korozyon ve aşınma direncini artırıcı özelliği de bulunmaktadır. Bakır elementi alaşımda 275 °C’de meydana gelen ötektoid reaksiyonun kinetiğini bir miktar geciktirir (Gervais 1980; Apelian vd. 1981).

Türk (1996) yaptığı çalışmada ZA-8 alaşımlarına %0-3 oran aralığında bakırı alaşıma katarak çekme mukavemeti ve sertlik değerlerindeki değişimi incelemiştir. ZA-8 alaşımlarına artarak eklenen bakır ile birlikte çekme dayanımı ve sertlik değerlerinde artış olduğu belirtmiştir.

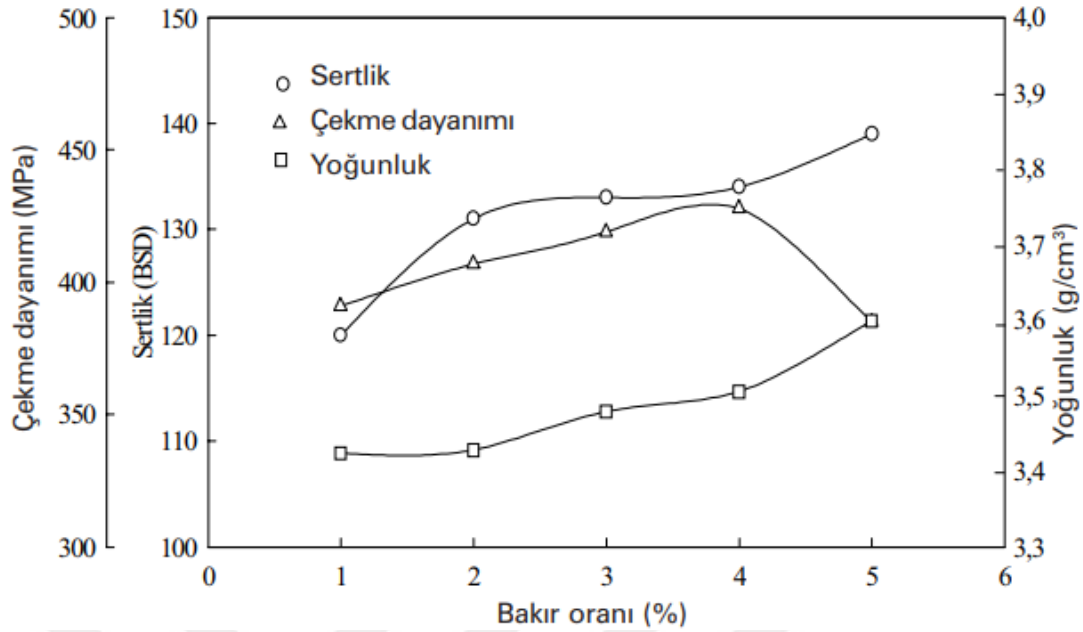


Şekil 2.3. Bakır ilavesinin %22-26-30 oranında Alüminyum içeren çinko alaşımlarında çekme dayanımı (1000psi) ve % uzamaya etkisi (Gervais 1980)

Çinko- alüminyum alaşım kompozisyonuna kontrollü oranlarda bakır elementinin ilave edilmesi durumunda yukarıda belirtilen faydaları olmasına rağmen, yüksek oranda ilave edilmesi durumunda zamak alaşımlarında zamanla meydana gelecek yaşlanma davranışı sonucu parçaların rijitliğini kaybetmesine ve boyutsal kararsızlığı etki edeceği belirtilmiştir (Apelian vd. 1981).

Zn-Al alaşımlarında %1,25'ten fazla bakır ilavesi yapılması durumunda enjeksiyon döküm yapılan parçaların boyutsal kararlılığını olumsuz yönde etki ettiği belirtilmiştir (Polat 2011b).

Pürçek (2000) ise, bakırca zengin fazların oranları ve boyutlarının artışıyla alaşımın sertleştiği ve çekme dayanımının arttığını; alaşım kompozisyonundaki oranı %4'ü geçmesi durumunda ise alaşımın gevrekleştiği ve çekme mukavemetinin azalacağı belirtmiştir. Ek olarak artan bakır oranına bağlı olarak yoğunluğun da sürekli arttığı tespit edilmiştir. Zn-60Al-(1-5) Cu alaşımında bakır oranı değişimine bağlı olarak alaşımın çekme dayanımı, sertliği ve yoğunluktaki değişimler Şekil 2.4'de gösterilmiştir.

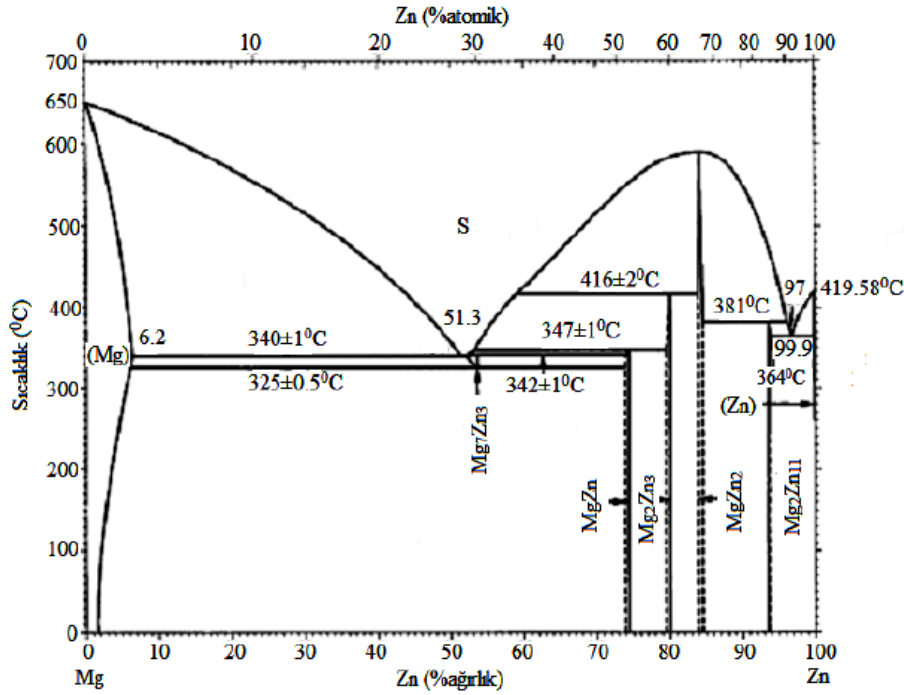


Şekil 2.4. Zn-60Al-(1-5) Cu Alaşımlarında değişen bakır oranına bağlı olarak çekme dayanımı, sertlik ve yoğunluk değerlerindeki değişimler (Pürçek 2000)

Hekimoğlu (2002) “Bakır katkısının çinko- alüminyum alaşımlarının sürtünme ve aşınma özelliklerine etkilerinin incelenmesi” adlı çalışmada Zn-27Al bazlı alaşıma %1-5 aralığında bakır ekleyerek ve Zn40Al bazlı alaşıma %1-5 bakır ekleyerek kokil döküm yöntemiyle yeni alaşım numuneleri üretilip, mekanik özelliklerini incelemiştir. Elde ettiği sonuçlarda %2’ye kadar artan bakır oranı ile birlikte çekme dayanımı arttığını %2 oranından fazla miktarda bakır ihtiva eden alaşımlarda boyutsal kararlılık olumsuz etkilendiğinden, çekme dayanımı azalırken, aşınma direncinde değişiklik olmadığını tespit etmiştir.

2.6.2. Magnezyum

Magnezyum elementinin Zn-Al alaşımları içindeki çözünürlüğü oldukça kısıtlı ve düşüktür. Çinko magnezyum içerisinde çözünürlüğü maksimum %6,2’dir. Magnezyumun ise çinko içerisindeki çözünürlüğü ise oldukça azdır. Benzer durum Zn-Al alaşımlarında geçerlidir. Şekil 2.5’te de görüldüğü gibi ötektoid alaşımlarda 275 °C’de magnezyumun çözünürlüğü %0,025 oranındayken oda sıcaklıklarında bu değer daha da azalmaktadır. Bu kapsamda, magnezyum elementinin Zn-Al alaşımlarına %0,002-0,1 oranında alaşım elementi olarak eklenmesi gerektiği belirtilmiştir (Houghton ve Murray 1983).



Şekil 2.5. Zn-Mg ikili denge diyagramı (Goodwin ve Ponikvar 1989)

Zamak alaşımlarda magnezyum elementinin mukavemeti ve sertliği artırıcı özelliği bulunmaktadır. Bakır elementinde olduğu gibi 275 °C’de oluşan ötektoid reaksiyonları geciktirdiği belirtilmiştir (Apelian vd. 1981).

Zn-Al alaşımlarında magnezyum elementi mekanik özelliklerin iyileştirilmesinin yanı sıra ötektoid yapının ince lamelli oluşmasını sağladığı belirtilmiştir. Yeteri miktarda (%0,21) magnezyum bulunduran alaşımların yüksek sıcaklıklarda akma mukavemeti de artmaktadır. Magnezyum elementi ZnAl₄Cu₁ (zamak 5) alaşımının yüksek sıcaklıklarda sünekliğin artırılmasını sağladığı tespit edilmiştir (Wu vd. 2016).

Alaşım elementi olarak magnezyumun mikro yapıda doğru miktarda bulunması durumunda alaşımda bulunan, kurşun, kalay, kadmiyum gibi empürilerin nemli ortam şartlarında oluşturacağı taneler arası korozyonu önleyici özelliği de bulunmaktadır. Zn-Al alaşımlarına eklenen magnezyum elementinin sertlik, çekme mukavemeti ve sürünme dayanımı artırmaktadır (Ayık vd. 1987).

Mikro yapıda bulunan magnezyum elementinin oranının artması durumunda, döküm alaşımının akışkanlığının düştüğü belirtilmiştir. Özellikle döküm parçaları artıkları ikincil döküm olarak kullanılmasında magnezyum elementi oksidasyona uğrayarak alaşım bileşimindeki oranı düşmektedir. Bu durumda alaşımda bulunan kurşun, kalay, kadmiyum gibi empürilerin taneler arası korozyon oluşumunu engelleyemeyecek (Şekil 2.6) ve parçanın yaşlanma davranışı ile birlikte dayanımda azalma oluşacaktır (Polat 2011b).

Yüksek sıcaklıklarda oksijenin, magnezyum yüzeyinde korunmasız oksit tabakası oluşturduğu ve artan sıcaklık değerine göre oksidasyon hızının da arttığı belirtilmiştir (Uhlig 1985).



Şekil 2.6. Taneler arası korozyona uğrayan döküm parçası incelemesi (Polat 2011b)

2.6.3. Alüminyum

Zn-Al ikili denge diyagramında 382 °C’de ötektik reaksiyon, 275°C’de de ötektoid reaksiyon gerçekleşmektedir. %4 alüminyum seviyesi, alaşımın ötektoid seviyesi olup, alaşım çinkonun kendi ergime sıcaklığının altında ergimeye başlayabileceği görülmektedir (Polat 2011b).

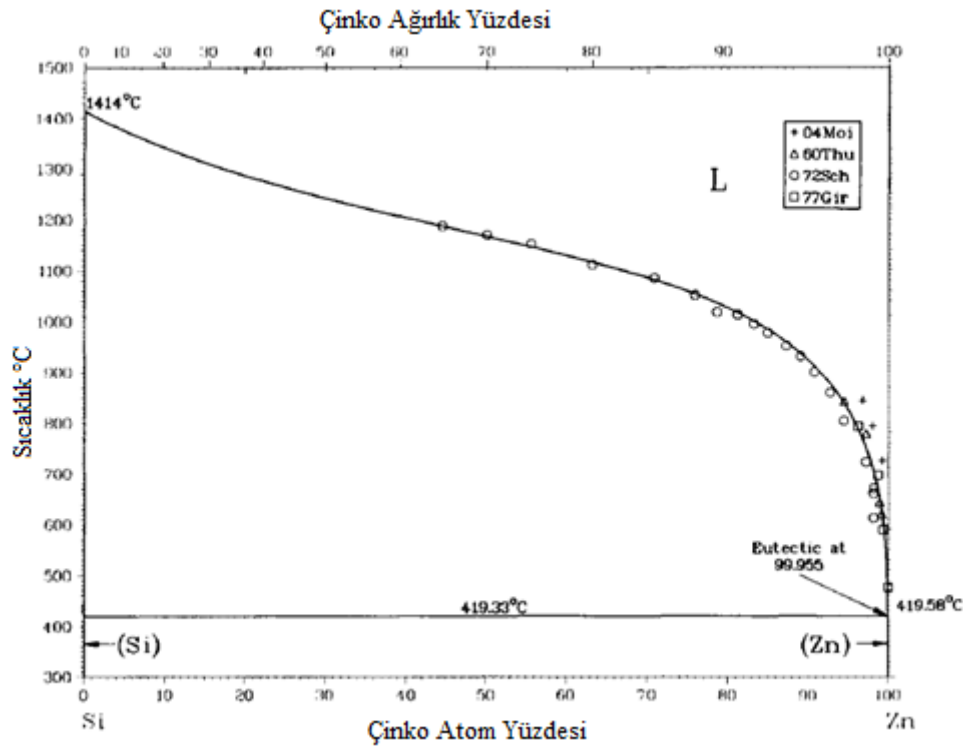
Türk (1996) yaptığı çalışmasında, %0,028 miktarınca magnezyum bulunduran zamak alaşımlarına, %5 ile %11 aralıklarında farklı oranlarda alüminyum bulunduran alaşımları mekanik deneylere tabi tutmuştur. Mekanik deney sonucunda sertlik sonuçlarının 79-100BSD, çekme dayanımını 213MPa - 241 MPa aralığında değiştiğini tespit etmiştir. Çalışma sonucunda ise, zamak alaşımlarında alüminyum elementinin alaşım kompozisyonundaki oranı artmasıyla sertlik ve mukavemetin de arttığı tespit edilmiştir.

Ataç ve arkadaşları (2014) “Mekanik alaşımlama ile üretilmiş çinko-alüminyum alaşımlarının kuru sürtünmeli aşınma davranışlarının incelenmesi” adlı çalışmasında, ZA8, ZA12 ve ZA 27 alaşımlarında artan alüminyum oranına bağlı olarak alaşımın sertliğinin de yaklaşık 80HV’den 143HV’ye çıktığını göstermiştir. Aşınma deneyleri sonucunda en yüksek aşınma dayanımının ZA27’de olduğunu, en yüksek aşınmanın ise kopan parça hacmine paralel olarak ZA8’de olduğunu göstermiştir. Yani artan alüminyum oranına bağlı olarak parçanın aşınma dayanımının arttığını, sürtünme katsayısının da azaldığı sonuçları desteklemiştir.

Türk (1996) “Çinko- alüminyum esaslı ZA-8 alaşımda alaşım elementlerinin mekanik özelliklere ve mikro yapıya etkisi” adlı çalışmasında %5-11 oranları aralığında standart alaşıma alüminyum ekleyerek alaşımlarda mekanik ve metalografik testler yapmıştır. Alüminyum oranının artışı ile sertlik ve çekme mukavemetinin arttığını, sürünme dayanımının azaldığını tespit etmiştir.

2.6.4. Silisyum

Silisyumun çinko- alüminyum esaslı alaşımlarda çözünürlüğünün oldukça az olması nedeniyle faz dönüşümlerini etkilemediğinden empürite olarak değerlendirilir. Silisyum elementi çinko-alüminyum alaşımlarına %0,02’ye kadar eklenmesi durumunda parçanın çekme dayanımını, sertliğini artırır, kopma uzamasını ve sünekliğini azaltır (Baker 1992; Uğur 2009). Şekil 2.7’de çinko- silisyum ikili denge diyagramı bulunmaktadır.

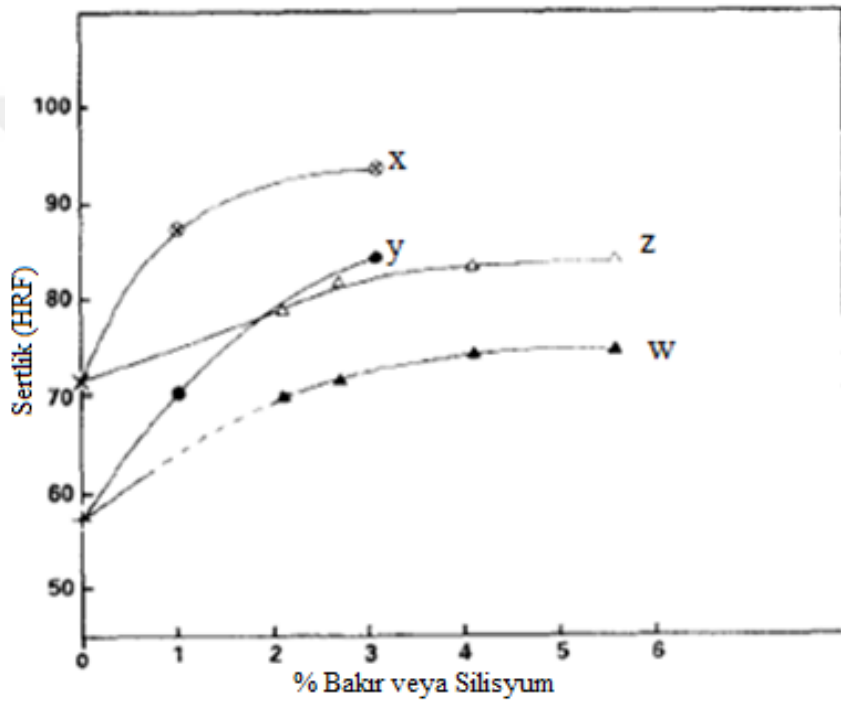


Şekil 2.7. Zn-Si ikili denge diyagramı (Olesinski vd. 1985)

ZnAl₂₇Cu₂ alaşımda sertlik ve mukavemeti, ZnAl₂₇Cu₂Si₁ alaşımından yüksek olmasına rağmen ZnAl₂₇Cu₂Si₁ alaşım parçasının daha az aşınma davranışı gösterdiği tespit edilmiştir. Yani her zaman sertlik ve mukavemetin yüksek olmasının aşınmanın daha az gerçekleşeceği anlamına gelmeyeceği belirtilmiştir (Savaşkan ve Pürçek 2000). Bu duruma ise, alaşımda mikroyapısı, aşınma yüzeyinde oluşan oksit ve yağ tabakasının da etken olabileceği gösterilmiştir (Calayag 1986; Iwai 1996).

Silisyum, alaşım içersinde homojen dağılım göstermesi ve mikro yapıdaki sert silisyum parçaları alaşıma üstün aşınma dayanımı kazandırmaktadır (Calayag vd. 1982).

Savaşkan ve Murphy (1987) Zn25Al bazlı alaşımlar üzerine yaptığı çalışmasında %2,1-5,6 oranlarında silisyumun alaşıma katılması durumunu incelemişlerdir. Alaşımın sertliği ve aşınma dayanımının sürekli arttığı ancak artan gevrekleşmeyle birlikte %2,7'den sonra çekme mukavemetinin düşmeye başladığını tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada ayrıca bakır'ın %1 ile 3,1 aralığında ilave edilmesi durumlarında benzer mekanik özellikler incelenmiş, sertlik ve çekme dayanımının sürekli arttığı tespit edilmiştir. Şekil 2.8'de bakır veya silisyum değerine bağlı olarak sertlik değerindeki değişimi, Şekil 2.9'da ise mukavemete etkisi gösterilmiştir.



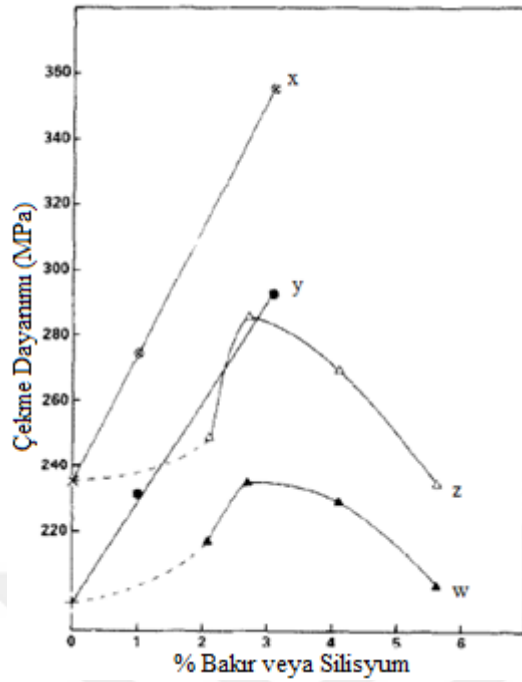
Şekil 2.8. Zn-25Al alaşımlarına bakır veya silisyum eklenmesi durumu ve yaşlandırma sonrası sertlik değişimi (Savaşkan ve Murphy 1987)

x: Zn-Al-Cu ilk döküm

y: Zn-Al-Cu 150°C'de 240 saat yaşlandırma

z: Zn-Al-Si ilk döküm

w: Zn-Al-Si 150°C'de 240 saat yaşlandırma



Şekil 2.9. Zn-25Al alaşımlarına bakır ve silisyum eklenmesi durumu ve yaşlandırma sonrası çekme dayanımının değişimi (Savaşkan ve Murphy 1987)

x: Zn-Al-Cu ilk döküm

y: Zn-Al-Cu 150°C'de 240 saat yaşlandırma

z: Zn-Al-Si ilk döküm

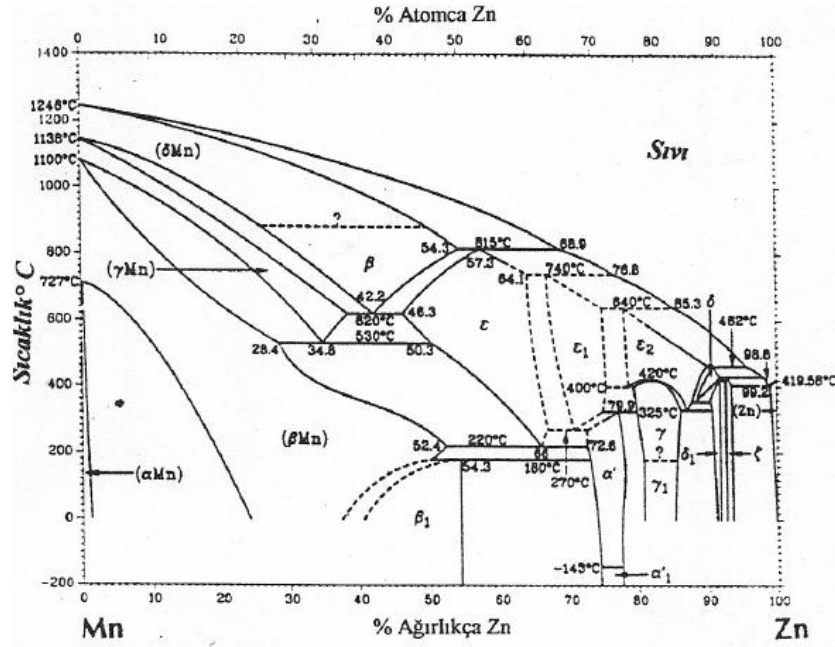
w: Zn-Al-Si 150°C'de 240 saat yaşlandırma

Aydiner (2002) "Silisyum katkısının monotektoid çinko-alüminyum alaşımlarının tribolojik özelliklerine etkilerinin incelenmesi" adlı çalışmasında Zn-40Al bazlı alaşıma %0,5-4 aralığında Si ilavesi ile sekiz farklı alaşım elde edip, mekanik özelliklerini incelemiştir. Buna göre, Zn-Al-Si alaşımlarının %2'ye kadar artan silisyum oranı ile çekme dayanımının arttığı, bu orandan sonra artan silisyum oranı ile çekme dayanımının azaldığını, yine %2'ye kadar artan silisyum oranı ile birlikte Zn-Al-Si bazlı alaşımlarda silisyum parçacıklarının mikro yapıda sık ve homojen dağılım gösterirken, %2'den sonra artan silisyum oranlarında silisyum tanelerinin daha iri ve düzensiz halde bulunduklarını gözlemlemiştir. İncelediği alaşımlar içerisinde Zn-40Al-2Si alaşımın, en üstün mekanik ve tribolojik özellikler gösterdiğini tespit etmiştir.

2.6.5. Mangan

Saf çinko içerisinde manganın çözünürlüğü oldukça düşük seviyededir. Zn-Mn ikili denge diyagramında oda sıcaklığında en düşük seviyede, 400°C'de %0,47 olabilmektedir. Zamak 3 alaşımında manganın alaşım içindeki çözünürlüğü 420°C'de %0,0013 seviyesinde, 390°C'de ise %0,0006 seviyesine düşmektedir. Bu durumda,

manganın zamak alaşımlarına eklenmesi durumunda metaller arası bileşik yani intermetalik oluşturur. Bu intermetaliklerin ortorombik kristal yapıdaki Al₃Mn ve Al₆Mn olduğu saptanmıştır (Türk 1996). Çinko-Mangan ikili denge diyagramı Şekil 2.10’da verilmiştir.

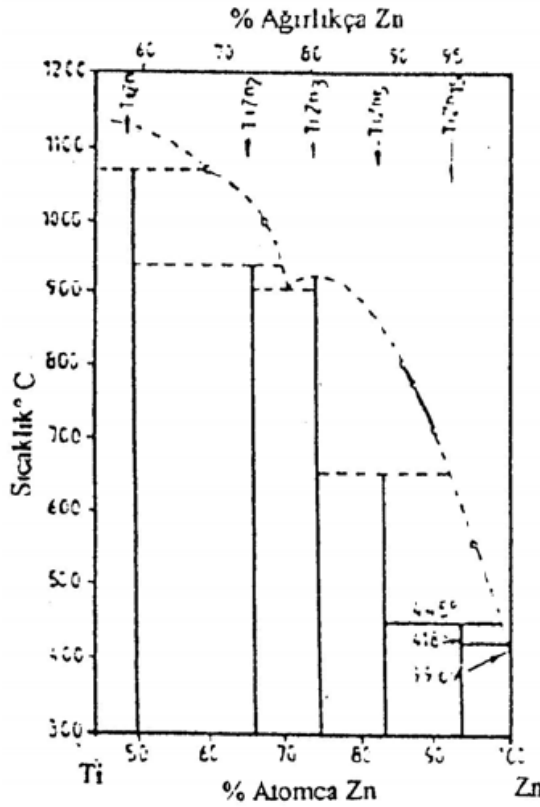


Şekil 2.10. Zn-Mn ikili denge diyagramı (Türk 1996)

Türk (1996) “Çinko- alüminyum esaslı ZA-8 alaşımında alaşım elementlerinin mekanik özelliklere ve mikro yapıya etkisi” adlı çalışmada, alaşıma %0,01-0,5 oranı aralığında mangan ilavesi yaparak yeni alaşımların mekanik özelliklerini incelemiştir. %0,01-0,5 aralığında standart alaşıma ilave edilen manganın alaşımın sürünme dayanımını artırdığını, %0,05 mangan ilavesine kadar alaşımın çekme mukavemetinin önemli ölçüde etkilenmediğini, %0,05 mangan ilavesinden itibaren alaşımın çekme mukavemetinde önemli ölçüde azaldığını, mangan ilavesinin alaşım kompozisyonunda intermetalik oluşturduğunu tespit etmiştir.

2.6.6. Titanyum

Saf çinko içerisinde titanyumun çözünürlüğü kısıtlı olup, Zn-Ti ikili denge diyagramında da görüldüğü üzere %0,11 seviyesindedir. Titanyum elementi çinko-alüminyum alaşımları içine ilave edilmesi durumunda zengin bileşikler oluşturarak çinkonun tane boyutunu küçültmektedir. Titanyum ilave edilen alaşımlarda diğer safsızlık elementlerinde olduğu gibi alüminyumca zengin eriyikte Al₅Ti₂Zn intermetalik fazların olduğu ve mikro yapının incelendiğini bu sebeple de sünekliğin arttığı saptanmıştır (Türk 1996; Goodwin ve Ponikvar 1989). Çinko-titanyum ikili denge diyagramı Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. Zn-Ti ikili denge diyagramı (Uğur 2009)

Türk (1996) “Çinko- alüminyum esaslı ZA-8 alaşımında alaşım elementlerinin mekanik özelliklere ve mikro yapıya etkisi” adlı çalışmada, alaşıma %0,01-0,2 oran aralığında titanyum ilavesi yaparak alaşımın mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu oranlarda modifiye edilen ZA-8 alaşımın mikro yapısında intermetalik oluşturduğu, sertlik ve çekme dayanımının önemli ölçüde değişiklik göstermediğini, %0,09 oranı ilavesine kadar sürünme dayanımının olumsuz yönde etkilenirken, %0,09 titanyum oranından itibaren sürünme dayanımının arttığını tespit etmiştir.

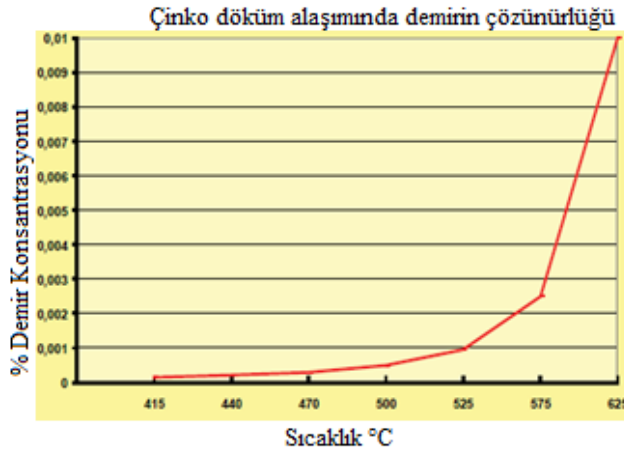
Koçyiğit (2016) “Zamak 5 çinko-alüminyum alaşımının bileşim modifikasyonunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin belirlenmesi” adlı çalışmada, zamak 5 alaşımına, alaşım elementi olan Cr, Ti, Mn elementleri ekleyerek alaşımın mekanik ve mikroyapı özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. Titanyum ilavesinin eğme dayanımını artırdığını tespit etmiştir.

2.6.7. Krom

Saf çinko içerisinde kromun çözünürlüğü oldukça düşük seviyededir. Ancak diğer safsızlık elementlerinde olduğu gibi çinko-alüminyum alaşım mikro yapılarında CrAl4 ve CrAl7 intermetalik fazların oluşabilmektedir. Mekanik özelliklerine etkisi ise, sürünme ve çekme dayanımını artırması şeklinde olup, artan krom oranı ile birlikte alaşımın dökülebilirliği önemli ölçüde azalmaktadır (Türk 1996).

2.6.8. Diğer safsızlık elementleri

Çinko-alüminyum alaşımlarında bulunan diğer safsızlık elementlerine Pb(kurşun), Cd (kadmiyum), Sn(kalay) ve Fe (demir) olarak sıralayabiliriz. Bu elementler çinko-alüminyum alaşımlarında bulunması durumunda döküm parçasının mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği gibi, zamanla taneler arası korozyona sebebiyet vermektedirler. Aşağıdaki Şekil 2.12’de ergiyik çinko içinde değişen döküm sıcaklığına bağlı olarak çözünen demir miktarı gösterilmiştir. Buna göre zamak alaşım için en ideal döküm sıcaklığının 420°C olduğu belirtilmiştir. Demir elementi alaşımın içinde mevcutta olmasına rağmen, döküm esnasında artan döküm sıcaklığına bağlı olarak alaşımda Fe₃Al intermetalliğini (Şekil 2.13) oluşturduğunu, bu yapının makine ekipmanlarında aşınmalar meydana getirebileceği belirtilmiştir. Aynı zamanda da alüminyum ve magnezyum miktarının alaşım kompozisyonunda azalacağı cürufun artacağı belirtilmiştir (Polat 2011b).



Şekil 2.12. Demirin ergiyik çinko içinde çözünürlüğüne sıcaklığın etkisi (Polat 2011b)



Şekil 2.13. Çinkonun yüksek sıcaklıkta ergitilmesi sonucu alaşım içinde çözünen demir nedeniyle intermetalik oluşumu (Polat 2011b)

Safsızlık (empürüte) elementlerinin sık kullanılan zamak 2, zamak 3 ve zamak 5 alaşımlarında bulunmasına izin verilen limit değerler Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Safsızlık elementlerin zamak alaşımlarındaki limit değerleri (Pola vd. 2010)

	%Fe	%Si	%Ni	%Sn	%Cd	%Pb
Zamak2	<0,05	<0,03	<0,02	<0,02	<0,005	<0,005
Zamak3	<0,05	<0,03	<0,02	<0,02	<0,005	<0,005
Zamak5	<0,05	<0,03	<0,02	<0,02	<0,005	<0,005

2.7. Çinko- Alüminyum Alaşımlarında Yaşlanmanın Mekanik ve Mikro Yapı Özelliklerine Etkisi

Zamak alaşımlarının en büyük avantajlarından biri düşük ergime sıcaklığı (400°C), kalıp soğutma ve çevrim sürelerinin kısa olması, kalıp ömürlerinin uzun olmasıdır. Düşük ergime sıcaklığı nedeni avantajın bir anlamda dezavantajı tetiklediği, oda sıcaklığında özellikle 50MPa'ı aşan yüklerde sürünmenin başlayabileceği, parçadaki yüksek mekanik dayanımların bir yıl içerisinde azalacağı belirtilmiştir (Kallien vd. 2011).

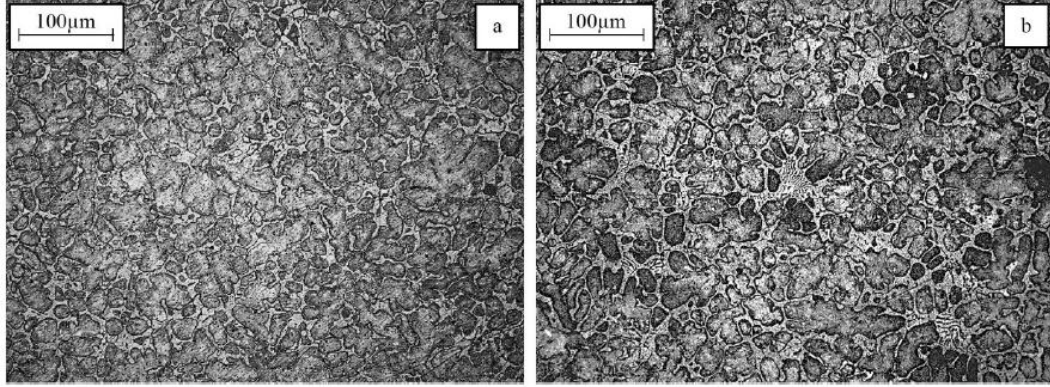
Çinko alaşımların, 100°C'nin altındaki kullanımlarında katılaşma ve soğuma esnasında oluşan kararsız fazların alaşımların kullanımını kısıtlayan faktörler olduğu belirtilmiştir. Yapıda katı hal dönüşümleri meydana gelebileceği ve buna bağlı mekanik özelliklerin düşüşe geçeceği ve bu mukavemet düşüşünün alaşımların yaşlanması olarak tanımlanabileceği belirtilmiştir (Buccioli 2012).

Çinko alüminyum esaslı alaşımların ergime sıcaklığının düşük olması üretim ekonomisi açısından faydalı olsa da parçanın kullanım sıcaklığının düşük limitlerde olması kısıtlayıcı bir etkidir. Sıcaklık artışına bağlı olarak mukavemet ve sertlik düşeceğinden, ZA27 alaşımı için 120°C, ZA8 ve ZA12 alaşımları için ise 90°C kullanım üst limiti olarak belirlenmiştir (Pürçek 2000).

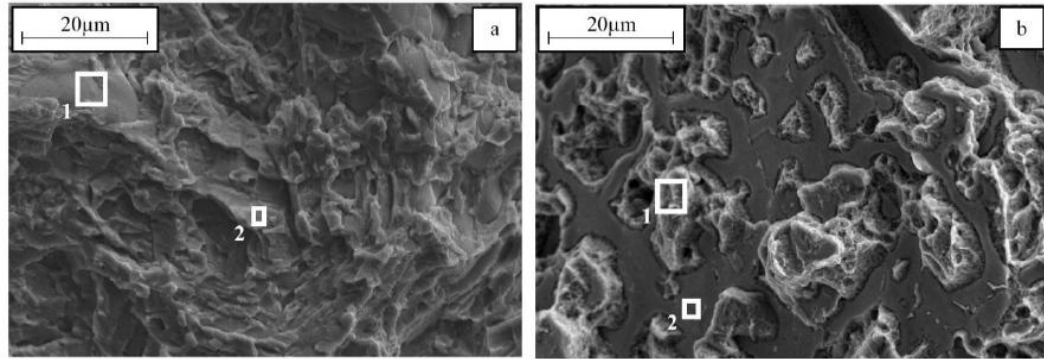
Çinko-alüminyum alaşım üzerine yapılan çalışmalarda, 105°C'de ısıtılma maruz bırakılan parçanın mukavemetindeki en hızlı düşüşün ilk 24 saatte olduğu gözlemlenmiş, bu sıcaklık değerinin üstüne çıkıldığında da mukavemet düşüşünün ilk 24 saate göre yavaşlayarak arttığı ve ısıtılma süresinin uzatılması durumunda da parça mukavemetinin sabitlenme eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir (Leis vd. 2013).

Montesano ve arkadaşları (2015) çinko alaşımlarında yaşlanmanın aşınma direncine doğrudan etkisi üzerine yapılan bir başka araştırmasında, %15 alüminyum, %1 bakır, %0,04 magnezyum içeren bir Zn-15Al-1Cu-Mg alaşımının yapay yaşlanması

incelenmiştir. 105°C’ de ilk 24 saatlik bir yapay yaşlanma sonucu numunelerin mukavemet ve sertlik değerlerinde önemli derecede azalma olduğu, buna karşın mikro yapıda önemli bir değişiklik olmadığı sonucuna varılmıştır. Daha detaylı mikro yapı analizleri için numuneler SEM’ de incelenmiştir. Şekil 2.14 ve Şekil 2.15 ve ’de yaşlanma deney öncesi ve 105°C’de 240 saat yaşlanma sonrasına ait mikro yapı görüntüleri bulunmaktadır.



Şekil 2.14. a) Yaşlanma deneyi öncesi mikro yapı analizi; **b)** 240 saat 105°C yaşlanma işlemi sonrası mikro yapı analizi (Montesano vd. 2015)



Spectrum	Al	Cu	Zn
1	29.96		70.04
2	4.93	2.81	92.26

Spectrum	Al	Cu	Zn
1	25.62	3.48	70.89
2	3.20	1.49	95.31

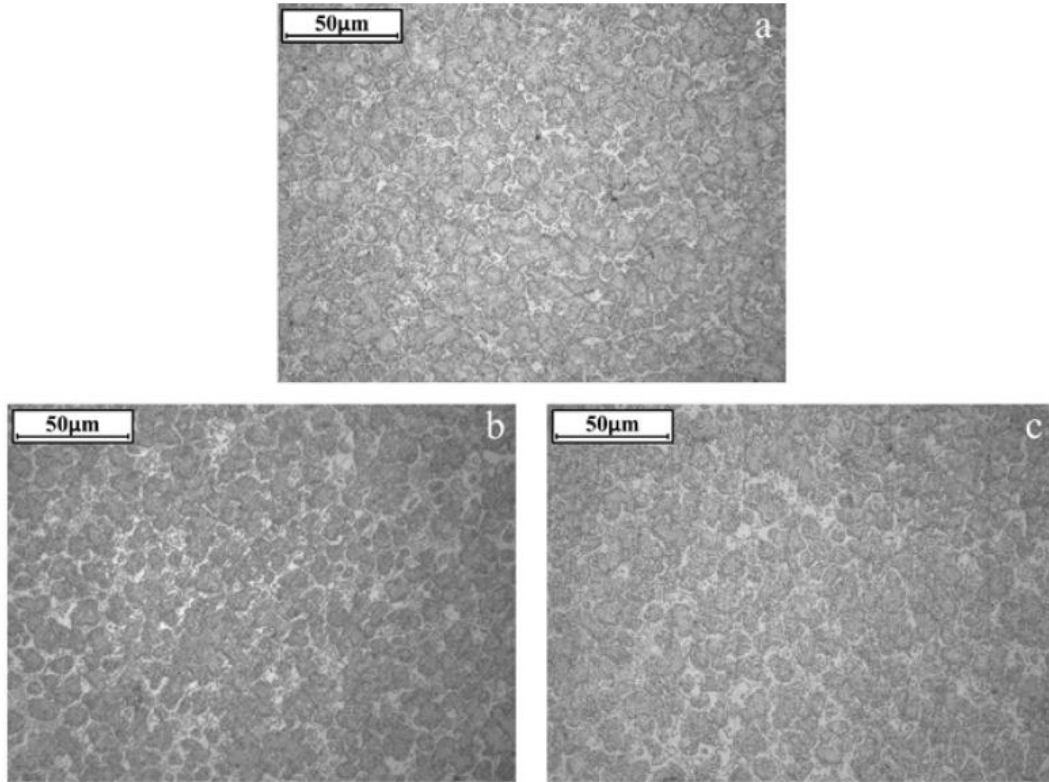
Şekil 2.15. a) Isıl işlem öncesi SEM analiz; **b)** 105°C 24 saat yaşlandırma sonrası SEM analiz (Montesano vd. 2015)

Alüminyumca zengin 1.fazda %29,96 olarak ölçülen oranın, yaşlanma sonrası çok fazla bir değişiklik göstermediği %25,62 olarak ölçüldüğü belirtilmiştir. Buna paralel olarak da çinkoca zengin 2.fazdaki çinko oranı %92,26’dan %95,31’e çıkmıştır. SEM analizlerinde çekme testi uygulanan parçaların kesit alanları incelenmiştir. Yaşlanma öncesi, kesitte daha sünek bir kırılma mevcutken, yaşlanma sonrası 1 numaralı alüminyumca zengin fazda sünek, çinkoca zengin fazda daha gevrek ve düz bir kırılma gözlemlenmiştir (Montesano vd. 2015).

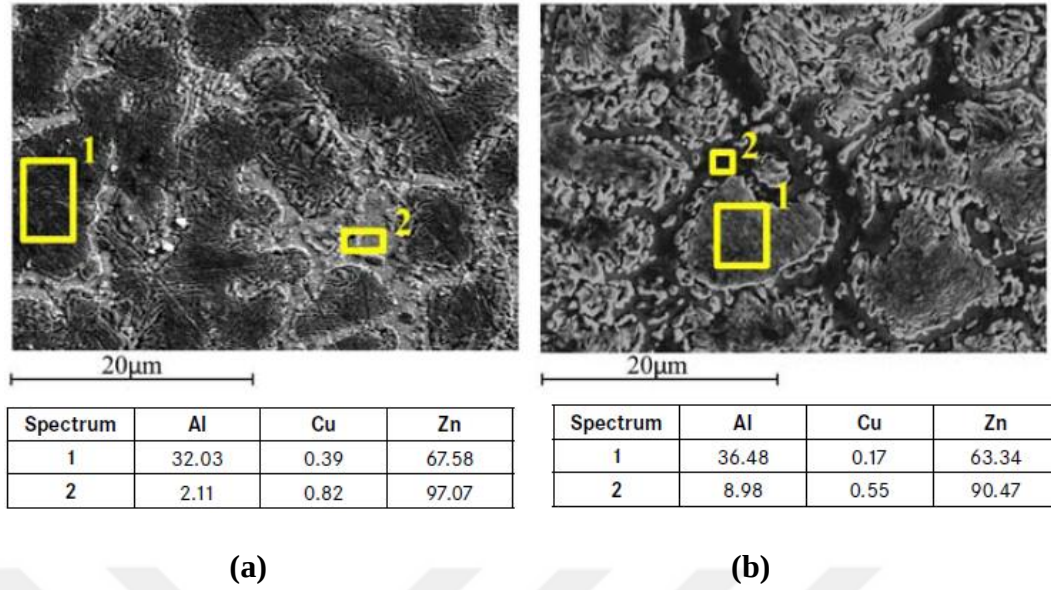
Ek olarak Zn-15Al-1Cu-Mg alaşımlarından aşınma mekanizmasına dayanıklı parçaların ar-ge sürecinde yaşlanmadan oluşacak mukavemet düşüşlerinin düşünülerek, parçalara gerekli emniyet katsayısı verilerek dizayn edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir (Montesano vd. 2015).

Pola ve arkadaşları (2015) hiperötektik alaşım kullanarak 105°C’de 240 saate varan yaşlandırma testleri uygulamışlardır. Bu testlerde de en hızlı mukavemet düşüşünün ilk 24 saatte olduğu daha sonraki zamanlarda mukavemet düşüşünün azaldığı gözlemlenmiştir. Yaşlandırma sonrası mikro yapı incelemelerinde ise, faz sınırlarında hafif çökelmelerin belirdiği ancak belirgin mikro yapı değişiklikleri olmadığı tespit edilmiştir. Parçaları daha detaylı incelemek için SEM’de analiz edilmiştir (Şekil 2.16, Şekil 2.17).

SEM analizlerinde 1 numaralı alüminyumca zengin faz ile 2 numaralı çinkoca zengin fazların birbirlerinin arasında daha homojen bir dağılım varken, 240 saat 130°C’de yaşlanma deneyinden sonra 1 ve 2 numaralı fazla birbirleri arasında daha heterojen dağıldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun mukavemet düşüşünün sebepleri olarak düşünülebileceğini belirtmişlerdir (Pola vd. 2015).

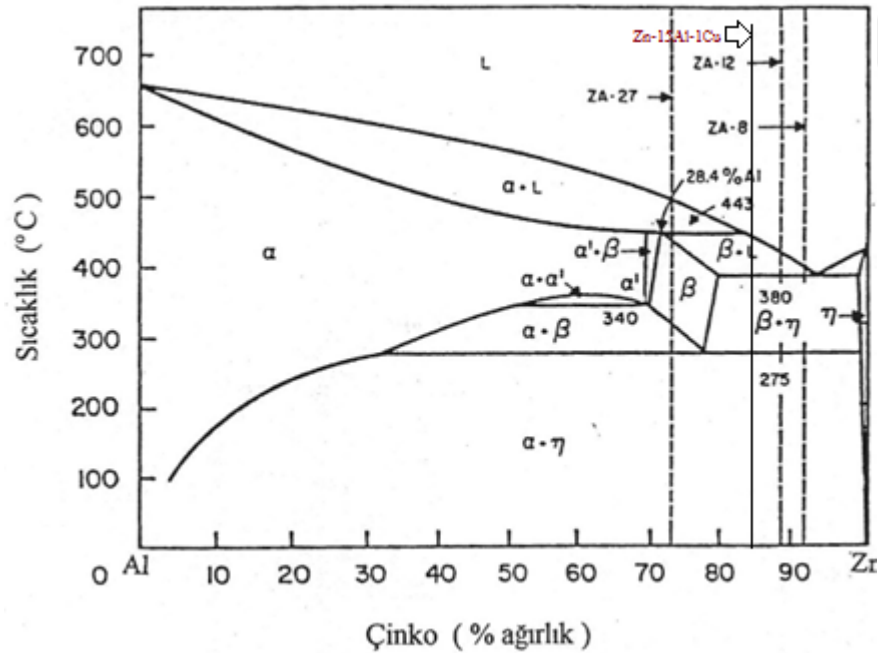


Şekil 2.16. a) Yaşlanma deneyi öncesi mikro yapı; **b)** 105°C 240 saat yaşlanma sonrası mikro yapı; **c)** 130°C 240 saat yaşlanma sonrası mikro yapı (Pola vd. 2015)



Şekil 2.17. a) 130°C’de yaşılanma öncesi SEM analiz; **b)** 130°C’de yaşılanma sonrası SEM analiz (Pola vd. 2015)

Şekil 2.18’de Hiperötektik zamak alaşımlarının Zn-Al ikili denge diyagramında işaretlenmiştir.



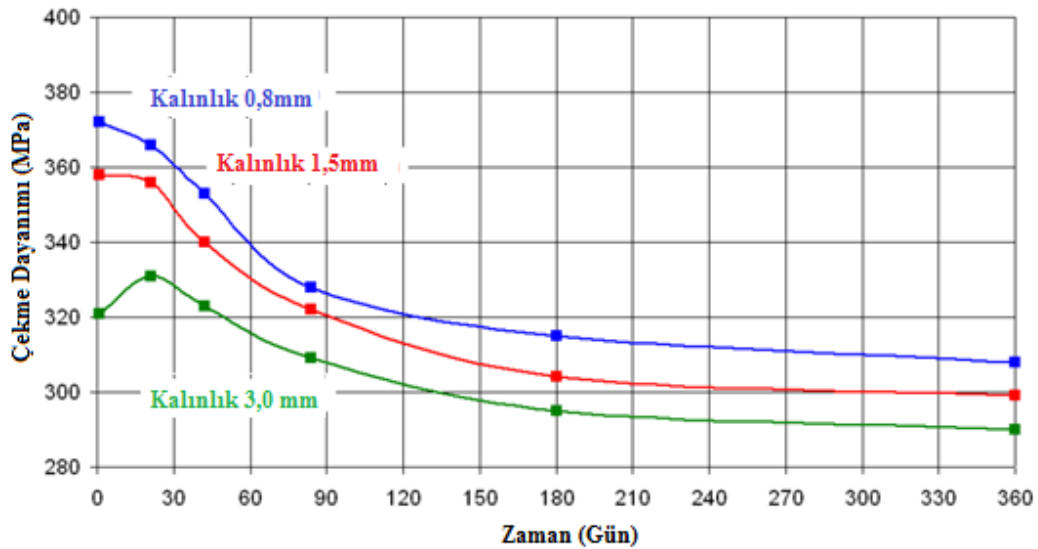
Şekil 2.18. Zn-Al faz diyagramı ve Zn-15Al-1Cu-Mg alaışımının faz diyagramındaki gösterimi (Pola vd. 2015; A.S.M. Handbook 1992)

Bir başka çalışmada, fonksiyonel tasarım ve uygulamalarda da zamak alaşımların sıcaklık artışı ile birlikte mukavemetinde düşüşler olacağı belirtilmiştir

(Buccioli 2012; Leis vd. 2013). Bu sebeple zamak alaşımların uygulamalardaki limit sıcaklık değeri 80°C olarak belirlenmiştir (Pola vd. 2015).

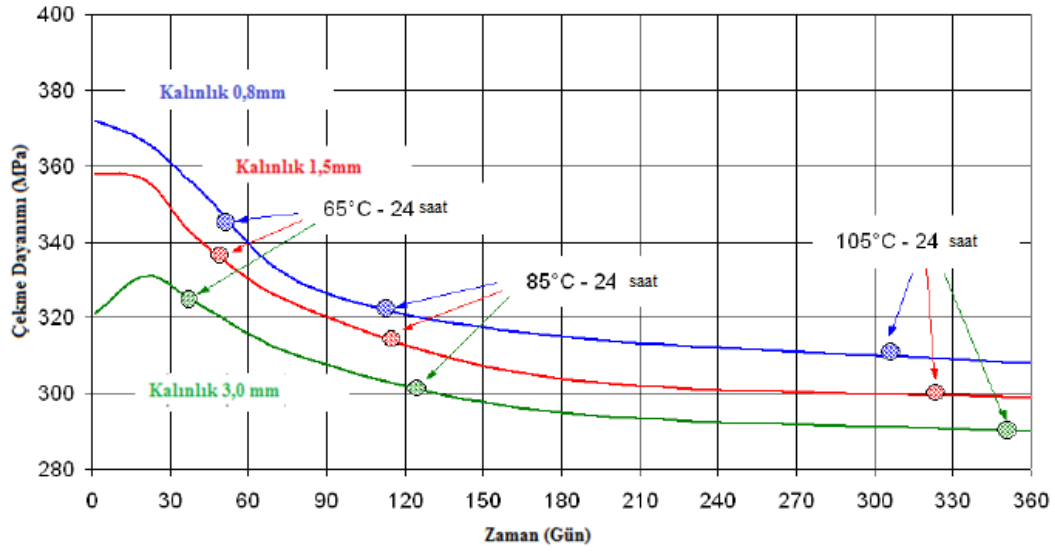
Goodwin ve Kallien 2011 yılında, zamak alaşımların doğal ve yapay yaşlanma özellikleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Zamak alaşımların mekanik özelliklerinin yaşlanmadan dolayı zamanla azalabileceği ön görülmüştür. Buna ise, zamak alaşımlarının ergime sıcaklığının düşük olmasının etken olduğu savunulmuştur. Oda sıcaklığında oluşan doğal yaşlanmayı, laboratuvar ortamında düşük sıcaklıklarla yapay yaşlandırma metodu ile kıyaslamışlardır. Şekil 2.19’da farklı kalınlıklardaki zamak 5 alaşımının doğal yaşlanma sonucundaki mukavemet değişimi, Şekil 2.20’de ise farklı sıcaklık değerlerinde yapılan yapay yaşlanma işlemi sonrasında değişen mukavemet değerleri verilmiştir.

İncelenmiş olan numuneler yaygın olarak kullanılan zamak 2, zamak 3 ve zamak 5 alaşımlarındandır. Bu alaşımlar enjeksiyon döküm metodu ile 0,8mm, 1,5mm ve 3mm kalınlıklarında 50mmx150mm ebatlarında dökülerek hazırlanmıştır. 3- 6 hafta sonra, 3- 6 ay sonra ve 1-2 yıl sonra parçaların çekme mukavemetlerini incelemiş ve her üç alaşım için [Gün- Çekme Mukavemeti] tablosunda eğriler oluşturulmuştur.



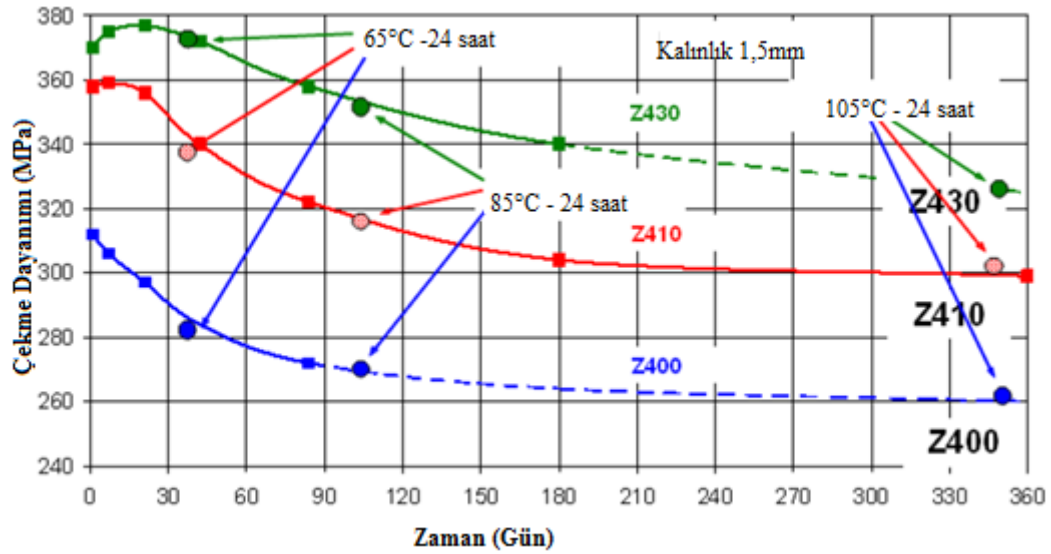
Şekil 2.19. Üç farklı kalınlıktaki zamak 5 alaşımının doğal yaşlanma eğrisi (Goodwin ve Kallien 2011)

Aynı ebatlardaki alaşımlar 65°C, 85°C ve 105°C’de 24 saat yaşlanma işleme maruz bırakıldıktan sonra çekme testleri yapılmıştır. Zamanla oluşan doğal yaşlanma eğrileri üzerinde yapay yaşlanma sıcaklıklarındaki çekme mukavemet değerleri işaretlenmiştir.



Şekil 2.20. Üç farklı kalınlıktaki zamak 5 alaşımının farklı sıcaklıklardaki yapay yaşlandırma eğrisi (Goodwin ve Kallien 2011)

Şekil 2.21’de 1,5mm kalınlığındaki zamak 3, zamak 5 ve zamak 2 alaşımlarının doğal ve yapay yaşlandırma sonrası oluşan mukavemet değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.21. 1,5mm kalınlığındaki üç alaşım numunelerinin doğal ve yapay yaşlandırma sonrası mukavemet değerleri (Goodwin ve Kallien 2011)

- Doğal yaşlandırma mukavemet değerleri
- Yapay yaşlandırma mukavemet değerleri

Şekil 2.19, Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de belirtilen Z400 notasyonu zamak 3, Z410 notasyonu zamak 5, Z430 notasyonu zamak 2’yi ifade etmektedir.

Deney sonuçları irdelendiğinde enjeksiyon hızı ve numune kesit kalınlıklarının mukavemet üzerine istenilen etkiyi yapmadığı gözlemlenmiştir. Her üç alaşım için de 65°C 24 saat ısıtılma işlemi ortalama 40 günlük, 85°C 24 saat ısıtılma işlemi ortalama 100 günlük, 105°C 24 saat ısıtılma işlemi ile yapılan yapay yaşlandırmanın ise ortalama 350 günlük doğal yaşlanmaya tekabül ettiği grafiklerde de görülmüştür (Goodwin vd. 2011).

Savaşkan ve Murphy (1987) Zn-25Al bazlı alaşımlarının mekanik özellikleri ve yağlama aşınması adlı çalışmasında 150 C'de 240 saat yaşlandırma işlemi sonrasında alaşımın sertliğinin düştüğünü ve mekanik özelliklerinin olumsuz etkilendiğini tespit etmiştir. Ek olarak çalışmasında bazı Zn-Al alaşımlarının ilk döküm ve yaşlanma sonrası bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimi Çizelge 2.5'te paylaşılmıştır. Buna göre çekme dayanımı ve sertlik tüm alaşımlarda düşerken, %uzama oranı yükselmiştir. Yoğunlukta ise çok az miktarda azalış meydana gelmiştir.

Çizelge 2.5. İlk döküm ve yaşlanma sonrası alaşımların mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişim (Savaşkan ve Murphy 1987)

Alaşım	Yoğunluk (kg m ³)		Sertlik (HRF)		Mukavemet (MPa)		Uzama (%)	
	<i>İlk Döküm</i>	<i>Yaşlanma</i>	<i>İlk Döküm</i>	<i>Yaşlanma</i>	<i>İlk Döküm</i>	<i>Yaşlanma</i>	<i>İlk Döküm</i>	<i>Yaşlanma</i>
1	4911	4911	71.8	57.4	235.4	198.5	5.3	13.0
2	4957	4948	87.5	70.5	274.3	231.8	1.0	4.0
3	5015	4987	93.7	84.1	355.5	292.2	1.0	2.5
4	4920	4919	78.7	69.9	244.6	217.5	1.0	1.5
5	4879	4870	81.6	71.6	285.8	235.5	1.0	2.0
6	4757	4719	83.1	74.3	269.2	229.4	0.6	1.0
7	4735	4715	84.2	74.5	234.6	203.7	0.5	1.0
SAE 73	8380	—	93.2	—	—	—	—	—
SAE 660	9060	—	84.3	—	—	—	—	—

ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarının 95 °C'de 10 gün yaşlandırma işlemi yapıldığında, çekme ve akma mukavemetinde %20-23 azaldığı belirtilmiştir. Yaşlandırma sonrası çekme uzamasının arttığını, ZA-8 alaşımının darbe mukavemetini %55 azalttığını, ZA-12 alaşımının ise darbe enerjisinin %35 azalttığını belirtilmiştir (Kurnaz 2003).

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışma kapsamında; birincil (ilk kez) kullanılacak zamak 5 ve zamak 3 alaşımları ile seçili iki farklı ikincil (geri dönüşüm) alaşımlarının tekrar dökümü sonrasında mekanik, mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Akabinde alaşımlar farklı sıcaklıklarda yaşlandırma işlemine tabi tutularak birincil alaşımlar ile ikincil eritme alaşımların mekanik ve mikro yapı özellikleri incelenmiştir.

Alaşımların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için üç nokta eğme testi, sertlik ölçümleri, optik emisyon spektrometresi ile kimyasal kompozisyon analizi, mikro yapı incelemelerinde optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) inceleme yöntemleri kullanılmıştır.

3.1. Hammaddelerin Tedariki

Zamak 3 ve zamak 5 külçelerinden birer adet Accado Kilit Sistemleri A.Ş. hammadde deposundan özel izin ile alınmıştır. Hammadde deposunda bekleyen zamak 3 ve zamak 5 külçelerine Şekil 3.1’de yer verilmiştir.



Şekil 3.1. Zamak 3 ve zamak 5 külçeler

Enjeksiyon üretiminde kalıptan ürün, yolluk ve hava cepleri çıkmaktadır. Yolluk tekrar kalıba beslenebilmektedir. Ancak hava cebi kalıba tekrar beslenmesi durumunda eriyik bulunan potada patlamalar meydana gelebilmektedir. Bu sebeple tekrar kamaraya beslenememektedir.

Üretim aşamaları boyunca ürünler kaplama, boyama, montaj gibi aşamalardan geçebilmektedir. Bu aşamaların herhangi birinde üretim hatası oluşması durumunda ürünler enjeksiyon potasında ertilememektedir. Zira boya ve kaplama eriyik bulunan potada patlamalara ve zehirli gaz salınımına, pim veya sac parça montajlı-yarı montajlı parçalar ise enjeksiyon pota ve kalıbına zarar verebilmektedir. Bu sebeple tekrar ertilmesi gereken bu parçalar Şekil 3.2’de gösterilen geri dönüşüm atölyesinde ertilmektedir.



Şekil 3.2. Accado geri dönüşüm eritme potası

Bu çalışmada kullanılmış olan ikincil eritme-1 (E1) ve ikincil eritme-2 (E2) alaşımları, Accado Kilit Sistemleri A.Ş. geri dönüşüm atölyesinde artık ürünlerin eritilmesi sonucu külçe haline getirilen alaşımlardır.

3.2. Alaşımların Kimyasal Kompozisyon Analizi

Seçili dört farklı külçenin hammadde kimyasal kompozisyonlarını belirlemek amacıyla Accado Kalite Kontrol Laboratuvarındaki Şekil 3.3'te gösterilen Foundry Master marka optik emisyon spektrometre cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Foundry Master Optik Emisyon Spektrometre

Optik emisyon spektrometresinde çelik, çinko ve alüminyum gibi metalik malzemelerin kimyasal analizleri yapılmaktadır. Doğada var olan tüm metalik elementler elektrik arkına maruz bırakıldığında kendine özgü karakteristikte ışımaları ve her metalik elementin kendine özgü karakteristikte spektrum çizgisi vardır. Cihaz, bu spektrum çizgilerini analiz ederek parçada var olan tüm elementlerin % oranlarını hesaplar.

3.2.1. Analiz yöntemi

Her analiz öncesi spektrometre cihazının ara yüzünde çinko menüsü seçilip Şekil 3.4'te yer verilen R-Zn11/2 Kalibrasyon numunesi ile ön kalibrasyon yapılarak sıfırlama yapılmaktadır. R-ZN11/2 numunesi %99,99 saflıkta çinko içermektedir. Parça analizi öncesi bu tip numune ile seri olarak en az 5 kez aynı yerden yakma işlemi yapılarak daha önceki analizlerden kalan kirlilikler giderilir ve analiz ekranında okunan çinko değeri %99,99 okunması durumunda kalibrasyon sonlandırılır.



Şekil 3.4. R-Zn11/2 çinko kalibrasyon numunesi

Çizelge 3.1'de zamak 3 ve zamak 5 alaşımlarında alaşım elementlerinin limit oranları bulunmaktadır. Analiz sonuçları bu değerler ile karşılaştırılmıştır.

(<https://www.nyrstar.com/~media/Files/N/Nyrstar/commercial/zinc-and-lead-metal/zinc/technicaldatasheet-zamak-overpelt-2017.pdf>)

Çizelge 3.1. Zamak alaşımları limit değerler

Limitler	Al	Cu	Mg	%Fe	%Si	%Ni	%Sn	%Cd	%Pb
Zamak 3	3,8-4,2	<0,03	0,035-0,06	<0,02	<0,02	<0,001	<0,001	<0,003	<0,003
Zamak 5	3,8-4,2	0,7-1,1	0,02-0,06	<0,02	<0,02	<0,001	<0,001	<0,003	<0,003

R-ZN11/2 tip numunesi ile ön kalibrasyon yaptıktan sonra analizi yapılacak, zamak 3, zamak 5 külçelerinin ve ikincil eritme-1 ve ikincil eritme-2 külçelerinin analizi öncesinde bu numunelerin spektrometre elektrotuna bakan yüzeyi frezede temizlenip, düzleştirildikten sonra teste hazır hale getirilmektedir. Zira hassas olmayan numune yüzeyi ile tabla arasından yanma esnasında ark sızıntısı olabilecek ve ölçüm hassasiyeti kaybolacaktır. Bu sebeple numune yüzeyi parlatma işlemi son derece önemlidir. Uygun numune yüzeyi hazırlandıktan sonra numunenin farklı bölümlerinden en az üç kez yakma işlemi yapılır. Bu sayede alaşımda varsa homojen olmayan kimyasal kompozisyon dağılımı tespit edilir. Sonuçlarda homojen dağılım saptanması durumunda spektrometre bilgisayarında okunan ortalama değerler sonuç veri olarak kaydedilir.

3.3. Numunelerin Hazırlanması ve Dökümü

Zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1 ve ikincil eritme-2 külçelerinin analizi sonrası Metkon Metacut M250 marka testere ile küçük parçalar kesilmiştir (Şekil 3.5.a). Parçalar grafit bir potada (Şekil 3.5.b) Protherm Furnaces marka fırında 500°C’de eritildikten sonra Şekil 3.6’daki döküm kalıbına (Şekil 3.5.c) dökülmüştür.



a)

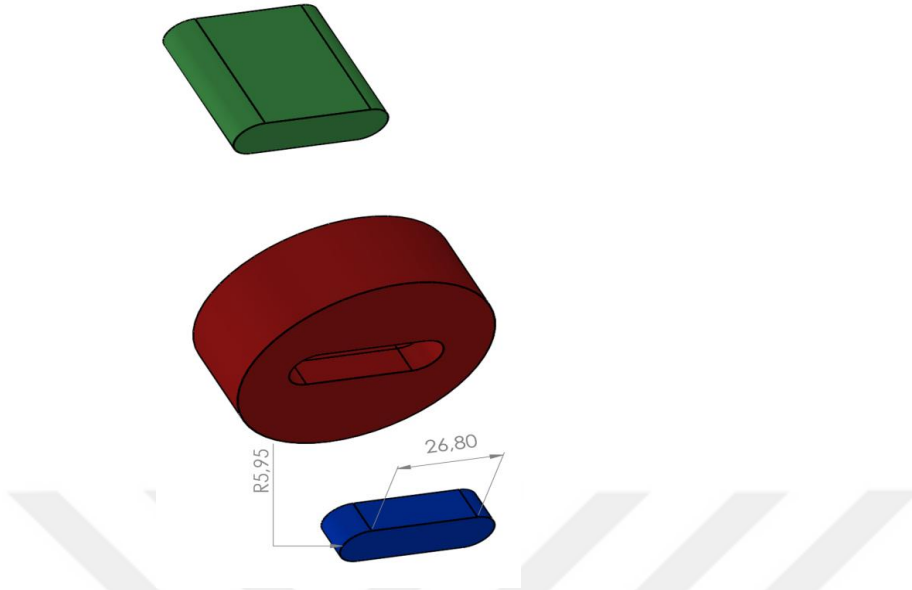


b)



c)

Şekil 3.5. a) Metkon marka Metacut M250 model testere, b) Döküm potası – Clay bonded graphite, c) Deney numunesi kalıbı



Şekil 3.6. Döküm kalıbı ve kalıptan çıkan numunelerin katı model resimleri

Protherm marka kül fırını 1100°C maksimum sıcaklığa sahip, dijital sıcaklık kontrolü yapılabilen ekrana sahiptir. En çok kullanılan alanlar ise eritme, termal yaşlandırma, seramik sinterleme, metal ısıl işlem ve kimyasal dekompozisyon uygulamalarıdır.

Eritme yapılan grafit potaların iç yüzeyi ile döküm kalıbının iç yüzeyine Ekomold marka bor nitrür içeren ayırıcı sprej sıkılmıştır. Bu sayede, kalıba döküm esnasında eriyiğin potaya yapışmaması, döküm sonrası da kalıptan kolay çıkarılarak düzgün yüzeyler elde edilmesi amaçlanmıştır. Alaşımları 500 °C’de eriterek, bu kalıbı kullanarak toplam 32 adet parça dökülmüştür. Dökülen parçaların ortasından iki numune kesilmiş olup, en dış kısımdaki parçalar teste alınmamıştır.



Şekil 3.7. Protherm Furnaces marka fırın

3.4. Deneysel Yöntem

Hazırlanan deney numunelerine sırasıyla farklı sıcaklıklarda 24 saat yaşlandırma işlemi, sertlik ölçümleri, üç nokta eğme testleri ve mikro yapı incelemeleri yapılmıştır.

3.4.1. Yaşlandırma işlemleri

İlk dört zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1 ve ikincil eritme-2 alaşımlarından dökülmüş parçalar Protherm Furnaces marka fırında (Şekil 3.8) 80°C’de 24 saat süreyle yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur.

İkinci dört zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1 ve ikincil eritme-2 alaşımlarından dökülmüş parçalar Protherm Furnaces marka fırında (Şekil 3.8) 105°C’de 24 saat süreyle yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur.

Üçüncü dört zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1 ve ikincil eritme-2 alaşımlarından dökülmüş parçalar Protherm Furnaces marka fırında (Şekil 3.8) 130°C’de 24 saat süreyle yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur.

Son dört zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1 ve ikincil eritme-2 alaşımlarından dökülmüş parçalara herhangi yaşlandırma işlemi yapılmadan mekanik deneyler aşamasına geçilmiştir.



Şekil 3.8. Kül fırınına koyulan numuneler

3.4.2. Üç nokta eğme testleri

Deney numuneleri üç farklı sıcaklıkta 24 saat süreyle fırında bekletilerek yapay yaşlandırma işlemi yapıldıktan sonra sertlik ölçüm ve üç nokta eğme deneyleri yapılmıştır. Üç nokta eğme deneyini, çalıştığım sektörde özellikle menteşelerin çalışma

prensibi olan iki noktadan mesnetlenip bir noktadan ise çekme kuvvetine maruz kalması nedeniyle tercih edilmiştir.

Üç nokta eğme deneylerini yapabilmek için döküm numunesi kalıbına dökülmüş numuneleri Metkon Metacut M250 marka testere ile 12 mm genişliğinde, 6 mm kalınlığındaki parçalara ayrılmıştır. Her kesme işlemi sonrası kumpas ile numune kalınlığı kontrol edilmiştir. Kesilen numuneler SHIMADZU marka AUTOGRAPH AG-IC model 50 kN kapasiteli mekanik çekme-basma test cihazında (Şekil 3.9) üç nokta eğme deneyine tabi tutulmuştur. Üç nokta eğmede alt iki mesnet arası mesafe 25 mm'dir. Üst çene hareket hızı 1 mm/dk'dır.

Dört farklı gruptaki deney numunelerinin basma testleri sonrası kendi içlerinde aritmetik ortalamaları, standart sapması hesaplanmıştır.



Şekil 3.9. 50kN kapasiteli SHIMADZU AUTOGRAPH AG-IC çekme-basma test cihazı ve üç nokta eğme aparatı

3.4.3. Sertlik ölçümleri

Dört farklı grupta hazırlanan deney numunelerinin sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümü BULUT MAKİNA DIGIROCK HARDNESS TESTER marka Brinel sertlik ölçüm cihazında (Şekil 3.10) yapılmıştır. Çelik bilya ucun çapı 2,5mm, uygulanan yük 62,5 kg ve Brinel 10 skalasında testler yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin her birinin en az üç farklı yerinden ölçüm yapılarak aritmetik ortalaması sonuç değeri olarak kabul edilmiştir. Aynı deney grubuna ait üç farklı numune bu metotta sertlik kontrolü yapılarak aritmetik ortalaması alınmıştır. Çelik bilyenin yük uygulama sonrası oluşturduğu deformasyon çapı her testte göz önünde bulundurulmuştur. Bir sonraki testte deney noktaları arasında mesafe bırakılmasına özellikle dikkat edilmiştir.



Şekil 3.10. DIGIROCK HARDNESS TESTER marka Brinell sertlik ölçüm cihazı

3.4.4. Mikro yapı analizi için numuneleri hazırlama

Üç nokta eğme deneyine tabi tutulan dört farklı gruptaki deney numuneleri 4mm kalınlığında olacak şekilde Metkon Metacut M250 marka testerede kesilmiştir.

Numuneler öncelikle Metkon METAPRESS-A MOUNTING PRESS marka bakalit makinesinde (Şekil 3.11) bakalite alınmıştır. Numunelerin bakalite alınmasındaki amaç, çok küçük ebatlardaki numuneleri daha iyi zımparalamak, parlatmak ve tek işlemle dört numuneye aynı anda kaliteli yüzey işlemi yapmaktır.



(a)



(b)

Şekil 3.11. a) Metkon METAPRESS-A MOUNTING PRESS marka bakalit makinesi, **b)** 80°C-105°C-130°C 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan ve yaşlandırma yapılmayan numunelerin bakalit kalıba alma sonrası görünümü

Bakalite alınacak numuneler aşağıda listelenmiştir.

- Yaşlandırma deneyi yapılmayan zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşımlarına ait numuneler,
- 80°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşımlarına ait numuneler,
- 105°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşımlarına ait numuneler,
- 130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşımlarına ait numuneler,

3.4.5. Yüzey zımparalama ve parlatma

Bakalit makinesinden çıkan dörderli dört adet bakalite alınmış numuneler sırasıyla;

- Metkon FORCIPOL 2V GRINDER-POLİŞER marka model yüzey polisaj makinesi (Şekil3.12.a) ile 600, 1200 ve 3000 meshlik silikon karbür su zımparaları ile zımparalanmıştır.
- Metkon FORCIPOL 1V GRINDER-POLİŞER marka yüzey parlatma (polisaj) makinesinde (Şekil 3.12.b) 1µm’lik elmas pasta yardımıyla yüzey parlatılmıştır.
- Parlatma sonrası, %98 etil alkol %2 nitrik asit barındıran nital dağlayıcının içinde (Şekil 3.12.c) 2 saniye bekletilerek yüzeyler dağlanmışır.

Dağlama sonrası yüzeyler sabunlu su ile yıkanıp temizlenip kurulanmıştır. Mikro yapı incelemeleri parlatma ve dağlama yapılan günde yapılmıştır. Farklı günlerde tekrar mikro yapı analizi yapılması durumunda tekrar parlatma ve dağlama işlemleri yapılmıştır.



a)

b)

c)

Şekil 3.12. a) Metkon FORCIPOL 2V GRINDER-POLİŞER marka model yüzey polisaj makinesi; b) Metkon FORCIPOL 1V GRINDER-POLİŞER marka yüzey parlatma(polisaj) makinesi; c) Nital Dağlayıcı

3.4.6. Optik mikroskop ile mikro yapı incelemeleri

Bakalite alınan dörderli numuneler dağılandıktan sonra NIKON marka ECLIPSE LV-150 M model optik mikroskop (Şekil 3.13) ile mikro yapı incelemeleri yapılmıştır. Numuneler 50x-200x-500x-1000x büyütme yapılarak mikro yapı görüntüleri kaydedilmiştir.

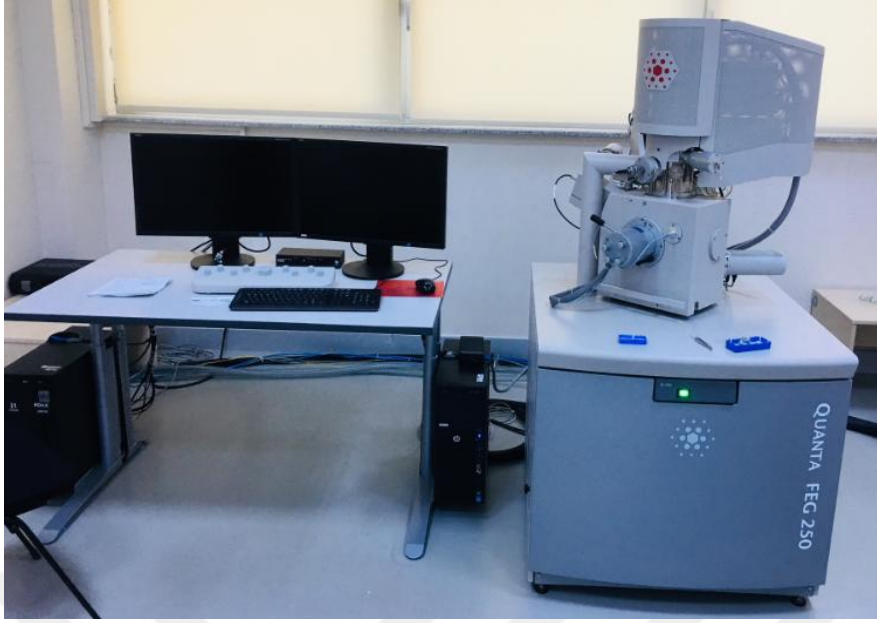


Şekil 3.13. NIKON marka ECLIPSE LV-150 M model optik mikroskop

3.4.7. Taramalı elektron mikroskobu ile mikro yapı incelemeleri

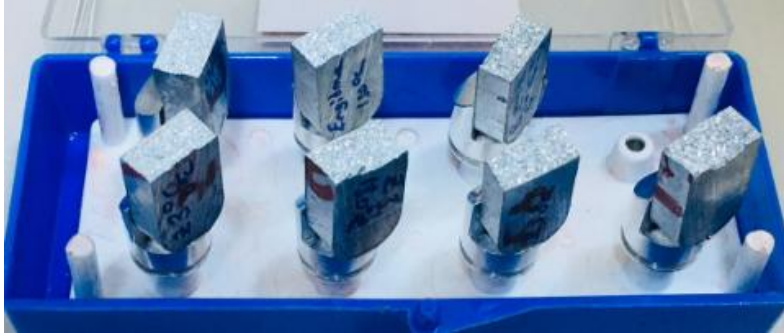
Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Elektron Microscope, SEM) olarak tanımlanan, taramalı elektron mikroskobu ile görüntü alımının temel prensibi, elektron demetinin incelenen numune yüzeyi ile yaptığı fiziksel etkileşimin sonucunda ortaya çıkan sinyallerin toplanması ve irdelenmesi ile yüksek büyütme ve çözünürlüklü görüntü alımı sistemine dayanır. Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) olarak tanımlanan sistem ise, SEM cihazında bulunmaktadır. Bu analiz yönteminde element spektrumlarının oluşturduğu pikler ile seçili alandaki elemental analiz yapılabilmektedir.

Optik mikroskop ile numunelerin mikro yapı incelemelerinden sonra SEM ve EDX incelemeleri yapmak için, Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (YETEM)'den teknik destek alınmıştır. Araştırma merkezindeki SEM analizinde kullanılan cihaz Şekil 3.14'de gösterilen FEI marka Quanta Feg 250 modelidir.



Şekil 3.14. FEI Quanta Feg-250 SEM Cihazı

Optik mikroskop ile incelenen numuneler tekrar parlatılıp dağlandıktan sonra SEM ve EDS incelemeleri yapılmıştır. Ayrıca üç nokta eğme deneyi yapıp kırılan parçaların (Şekil 3.15) kırık kesit yüzeylerine herhangi işlem uygulamadan SEM incelemeleri ve EDS elemental analizleri tekrarlanmıştır.



Şekil 3.15. SEM ve EDS incelemesi yapılan kırık numuneler

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, zamak 3 ve zamak 5 alaşımları kullanılarak üretilmiş fakat hurda ve iskarta olan parçaların, geri dönüştürülmesi amacıyla ikincil eritme işlemine tabi tutulmalarıyla üretilen alaşımlarının özellikleri üzerinde çalışılmıştır. Bunun için standart zamak 3, zamak 5 alaşımlarıyla, seçili iki farklı ikincil eritme (geri dönüşüm) alaşımlarının mekanik özellikleri ve mikro yapıları, döküm sonrası ve 80 °C, 105 °C ve 130°C’de yaşlandırma işlemi sonrasında incelenmiştir.

4.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

Optik emisyon spektrometre cihazında kimyasal kompozisyonları analiz edilen alaşımların bileşiminde bulunan elementlerin oranları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneye tabi tutulacak zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1 (E1) ve ikincil eritme-2 (E2) külçelerinin kimyasal analiz sonuçları

	Zn	Al	Cd	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Si	Sn
Z3	95,9310	3,9800	<0,001	0,0080	<0,005	0,0500	<0,0005	<0,0020	<0,0020	0,0180	<0,0030
Z5	95,0590	3,9700	<0,001	0,9090	<0,005	0,0416	<0,0005	<0,0020	<0,0020	0,0061	<0,0030
E1	96,1790	3,2300	<0,001	0,5460	0,0780	0,0188	<0,0005	<0,0020	0,0050	0,0074	0,0031
E2	96,6120	3,3500	<0,001	0,0063	<0,005	0,0002	<0,0005	<0,0020	0,0092	0,0115	0,0039

Buna göre ikincil eritme-1 külçesinde:

- Alüminyum oranının % 3,8-4,2 limit değerlerin oldukça altına, % 3,23’e düştüğü,
- Demir oranının % 0,002’den az olması gerekirken % 0,0780 oranına çıktığı,
- Magnezyum oranının % 0,035-0,06 limit değerlerinin altında % 0,0188’e düştüğü,
- Kurşun oranının % 0,003’ten az olması gerekirken % 0,0050 oranına yükseldiği,
- Kalay elementinin de kompozisyon içindeki oranı % 0,001’den az olması gerekirken % 0,0031’e yükseldiği,
- Bakır elementinin % 0,54 ölçüldüğünü görülmektedir. Bakır alaşımının kompozisyon içindeki oranına bakıldığında zamak 3 ya da zamak 5 standartlarına uymadığı görülmüştür.

Eritme potasında hem zamak 3 hem de zamak 5 hurdalarının eritildiği düşünüldüğünde, bakır oranının % 0,54 oranında olması eritme potasında hem zamak 3 hem de zamak 5 hurdaları var olduğu düşünülebilir.

Zamak alaşımın en ideal ergime sıcaklığının 420°C olduğu literatür tarama kısmında belirtilmişti. Eritme potası doğalgazlı ve sıcaklık kontrolü standart olarak sağlanamayan eski ergonomik olmayan bir tesis olması nedeniyle eriyik sıcaklığı

650°C'ye kadar çıkabildiği tespit edilmiştir. Literatür tarama kısmında özellikle ikincil zamak kullanımında magnezyumun oksidasyona uğradığı ve yüksek sıcaklıklarda oksidasyon hızının arttığı belirtilmişti (Uhlig 1985; Polat 2011b).

Magnezyum oranının % 0,035-0,06 limit aralığından % 0,0188'e düşmesi literatür bilgilerini doğrular nitelikte olup magnezyumun oksidasyona uğrayıp, oranının azaldığı düşünülebilir.

Kurşun, kalay, demir gibi safsızlık elementlerinin artışı geri dönüşüm potasında ergitilen çinko-alüminyum alaşım dışı metallerden kaynaklanabilir.

İkincil eritme-2 külçesinde;

- Alüminyum oranının % 3,8-4,2 limit değerlerin oldukça altına % 3,35'e düştüğünü,
- Magnezyum elementinin neredeyse hiç bulunmadığı % 0,02-0,06 limit değerlerinin altında % 0,0002'ye düştüğünü,
- Kurşun oranının % 0,003'ten az olması gerekirken % 0,0092'ye yükseldiğini,
- Kalay oranının % 0,001'den az olması gerekirken % 0,039'a yükseldiğini,
- Bakır oranının % 0,0063 olarak ölçüldüğü görmekteyiz.

Bakır oranının % 0,063 olması nedeniyle geri dönüşüm potasında zamak 3 ağırlıklı bir eritme yapıldığı gözlenebilir.

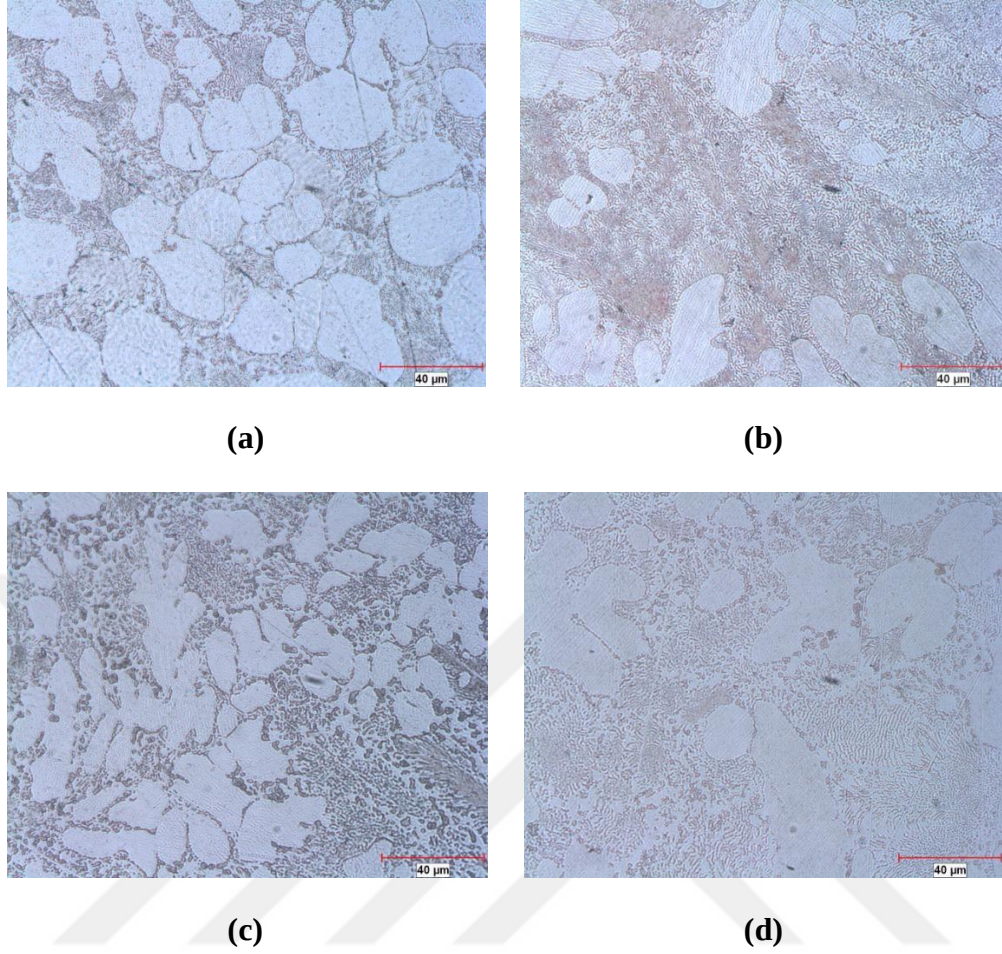
İkincil eritme-1 alaşımında olduğu gibi ikincil eritme-2 alaşımında da magnezyum elementinin limit değerler altına düştüğü ve neredeyse sıfıra yakın bir değer ölçülmüştür. Burada değerlendirilmesi gereken husus ise, enjeksiyon üretiminde eritme bir külçe kullanılıp, bu alaşımın artıkları tekrar geri dönüşüm potasına gönderilmesi durumunda ikincil eritme kalitesi de düşecektir. Yani geri dönüşüm potasından çıkan külçelerin enjeksiyon üretim artıkları tekrar ergitilmesi durumunda alaşım elementlerinde bir kez daha değişiklikler meydana gelecektir. Magnezyum elementinin sıfıra yakın düşüşü de bu durumdan kaynaklanabilir.

Kurşun, kalay gibi safsızlıkların limit değerler üstünde olması eritme potası kirliliğinden kaynaklanabilir.

4.2. Zamak 3 Alaşımı, Yaşlandırma Öncesi ve Yaşlandırma Sonrası Özellikleri

4.2.1. Zamak 3 alaşım numuneleri mikro yapı incelemeleri

Şekil 4.1'de zamak 3 alaşım numunelerinin döküm sonrası, 80°C, 105°C, 130°C'de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrasında parlatılmış ve dağlanmış yüzeylerin 500x büyütme optik mikroskop görüntüleri bulunmaktadır.



Şekil 4.1. a) Z3 Döküm sonrası 500x; **b)** Z3 80°C 24 saat yaşılanma sonrası 500x; **c)** Z3 105°C 24 saat yaşılanma sonrası 500x; **d)** Z3 130°C 24 saat yaşılanma sonrası 500x optik mikroskop görüntüleri

İncelenen numunelerdeki dentritik yapıya sahip beyaz bölgeler katılaşmaya ilk başlayan çinkoca zengin eta, koyu alanlar ise 275°C'nin altında oluşan eta (η) + alfa (α) fazlarıdır. Zn-Al ikili denge diyagramında oluşan önemli faz dönüşümleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

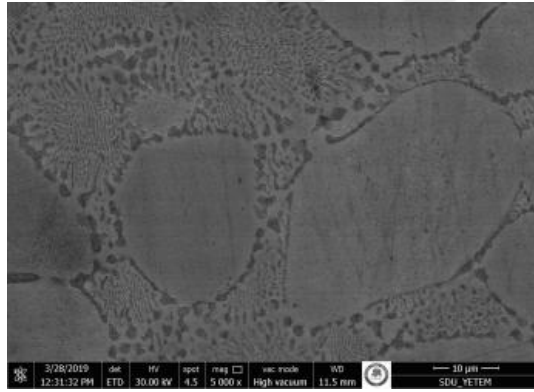
Çizelge 4.2. Zn-Al ikili denge diyagramında oluşan önemli dönüşümler (Pürçek 1994)

Faz Dönüşümü	Çinko Oranı (%)	Sıcaklık (°C)
Ötektik $L \leftrightarrow \beta + \eta$	95	382
Ötektoid i) $\beta \leftrightarrow \alpha + \eta$ ii) $\alpha' + \alpha \leftrightarrow \alpha + \beta$	78 52	275 340
Peritektik $\alpha + L \leftrightarrow \beta$	71,6	443

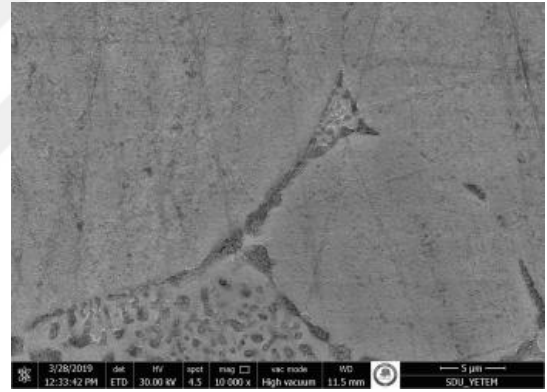
İncelenen zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşımlarında bulunan alüminyum oranı %4 'ü geçmediğinden Zn-Al ikili denge diyagramında ötektik altı bileşime sahip oldukları görülmektedir. Bu sebeple katılaşma sıvı ergiyikte bulunan eta (η) dentritlerinin büyümesi ile başlar ve büyüme 380°C'ye kadar devam eder. 380°C'de ötektik sıcaklığa varıldığında beta (β) + eta (η) ötektik dönüşümü olduğu, 275°C sıcaklığın altına düşüldüğünde artık alfa (α) + eta (η) fazları meydana geldiği belirtilmiştir. Oda sıcaklıklarında mikro yapıları incelenen numunelerde ötektik dönüşümden önce oluşan eta (η) faz dentritleri, 275°C'nin altında oluşumu başlayan çinkoca zengin eta (η) ve alüminyumca zengin alfa (α) fazları oluşmaktadır (Pürçek 1994; Koçyiğit 2016).

Taramalı elektron mikroskobu ile elde edilmiş olan mikro yapı görüntüleri Şekil 4.2'de sunulmaktadır. Yaşlandırma işlemi sonrasında, yapıdaki fazların oranları veya boyutlarında belirgin bir değişiklik görülmemiştir.

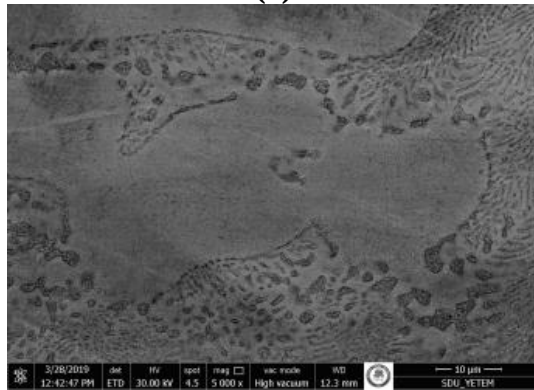
Zamak 3 alaşım numunelerinin döküm sonrası (DS) ve 130°C 24 saat yaşlandırma işlemi sonrasına ait parlatılmış, dağlanmış yüzeylerin 5000-10.000x büyütme SEM görüntüleri Şekil 4.2'de verilmiştir.



(a)



(b)



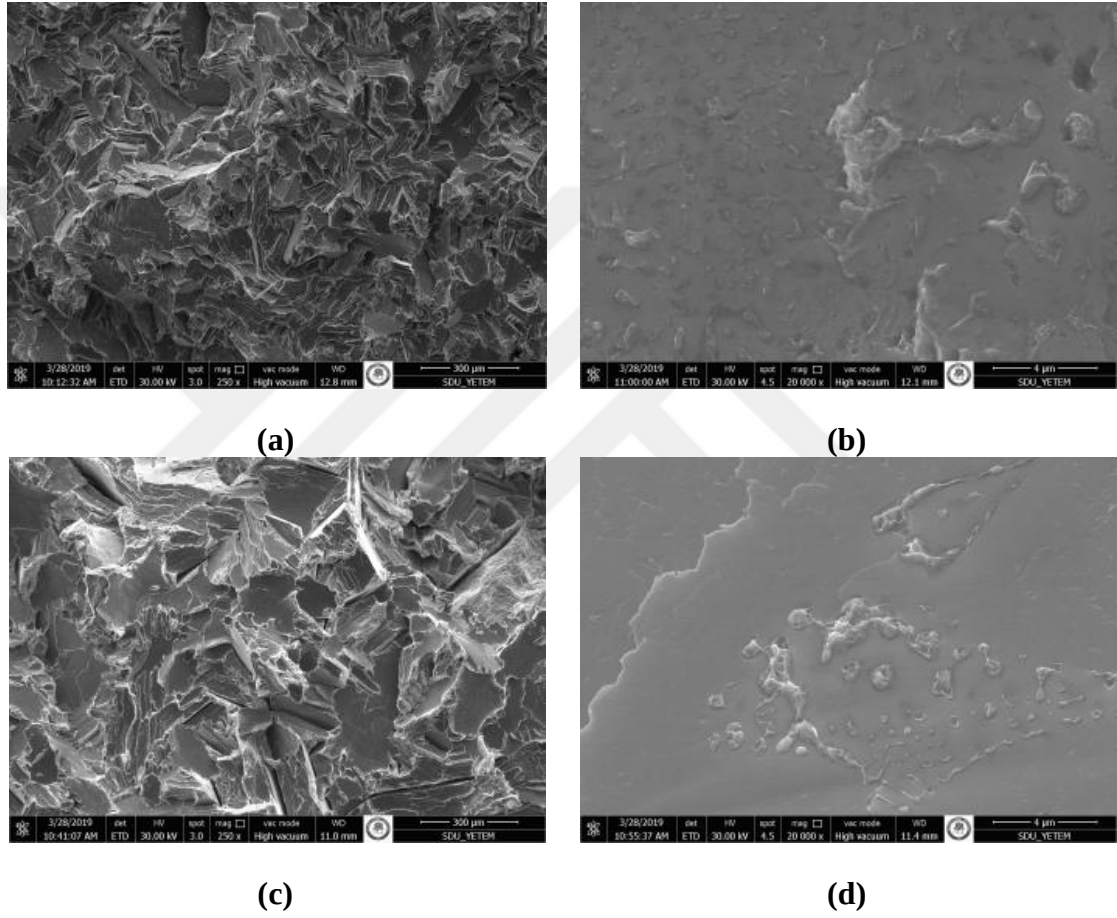
(c)



(d)

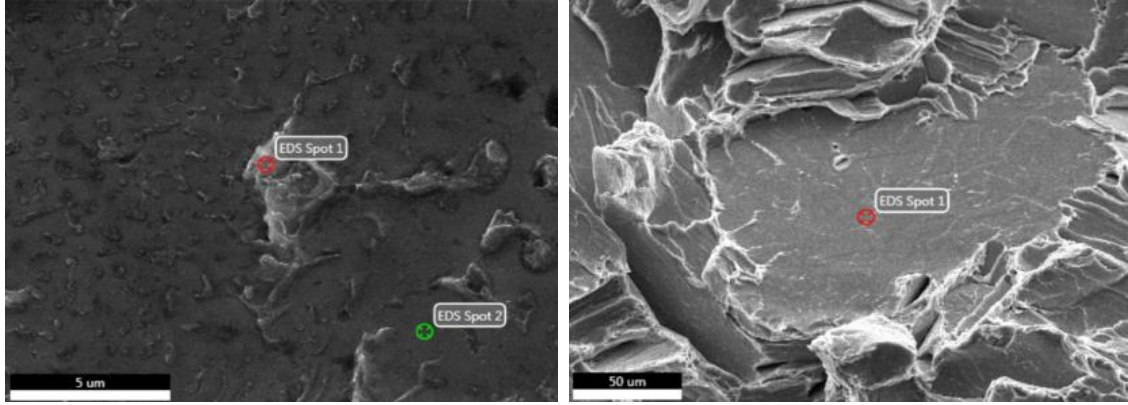
Şekil 4.2. a) Z3 Döküm sonrası (DS) 5000x; b) Z3 Döküm sonrası (DS) 10.000x; c) Z3 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 5000x; d) Z3 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 10.000x SEM görüntüleri

Döküm sonrası (DS) ve 130°C’de yaşlandırma sonrası zamak 3 parçaların kırık yüzeylerinin 250x-20.000x büyütme SEM görüntüleri Şekil 4.3’te sunulmaktadır. Kırık yüzey incelemelerinde, tüm alaşımlarda yapının genelinde düz yüzeyli olduğu ve gevrek kırılma gösterdiği, ancak bazı bölgelerde kırılmanın sünek karakterde (çukurcuklu) olduğu görülmüştür. Yaşlandırma işlemi sonrasında kırık yüzeylerde bir farklılık meydana gelmediği görülmüştür. Standart zamak 3 ve zamak 5 alaşımlarının kırık yüzeyleriyle karşılaştırıldığında, E1 ve E2 alaşımlarının kırık yüzeylerinin benzer olduğu anlaşılmıştır. Üç nokta eğme testlerinin sonuçlarında elde edilmiş olan birim şekil değişimi değerlerinin yakın olması, bu sonucu teyit eder niteliktedir.



Şekil 4.3. a) Z3 Döküm sonrası (DS) 250x; **b)** Z3 Döküm sonrası 20.000x; **c)** Z3 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 250x; **d)** Z3 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 20.000x SEM görüntüleri

Kırık yüzeylerde sünek ve gevrek karakterdeki bölgelerde yapılan EDS analizlerine ait görüntüler Şekil 4.4 ve 4.5’te sunulmaktadır. Sünek kırılmanın olduğu Şekil 4.4.a’ da EDS spot 1 bölgesinde % ağırlıkça Al 9,87, Zn 90,13 ölçülmüştür. EDS spot 2 bölgesinde % ağırlıkça Al 4,86, Zn 95,14 ölçülmüştür. Gevrek kırılmanın olduğu Şekil 4.4.b’de EDS spot 1 bölgesinde ağırlıkça % 3,47 Al, Zn ise % 96,53 ölçülmüştür. Yapılan EDS analizlerinde, sünek kırılma gösteren fazın alüminyumca zengin α (alfa), gevrek kırılan kısımların ise çinkoca zengin η (eta) fazı bölgeleri olduğu belirlenmiştir.

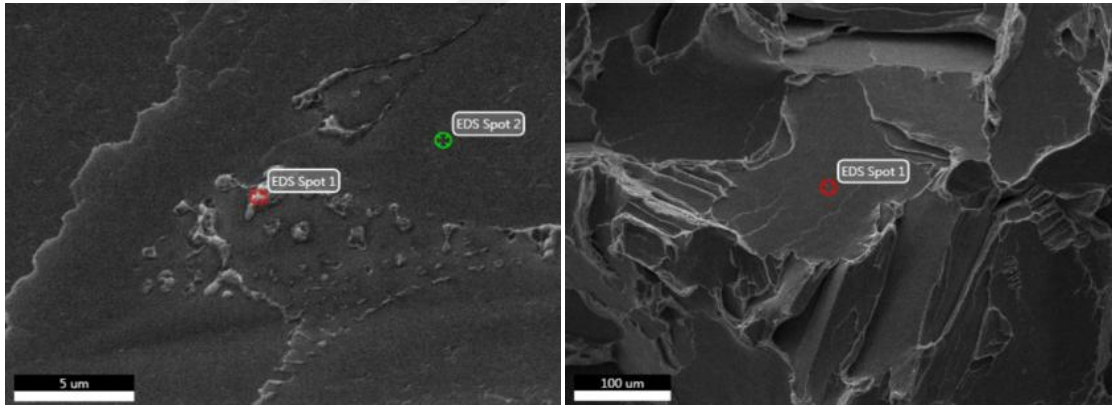


(a)

(b)

Şekil 4.4. a) Zamak 3 döküm sonrası sünek kırılma bölgesi; **b)** Zamak 3 döküm sonrası gevrek kırılma bölgesi SEM analizi

Sünek kırılmanın olduğu Şekil 4.5.a’ da EDS spot 1 bölgesinde % ağırlıkça Al 21,80, Zn 78,20 ölçülmüştür. EDS spot 2 bölgesinde % ağırlıkça Al 2,34, Zn 97,66 ölçülmüştür. Gevrek kırılmanın olduğu Şekil 4.5.b’de EDS spot 1 bölgesinde % ağırlıkça Al 2,48, Zn 97,52 ölçülmüştür.



(a)

(b)

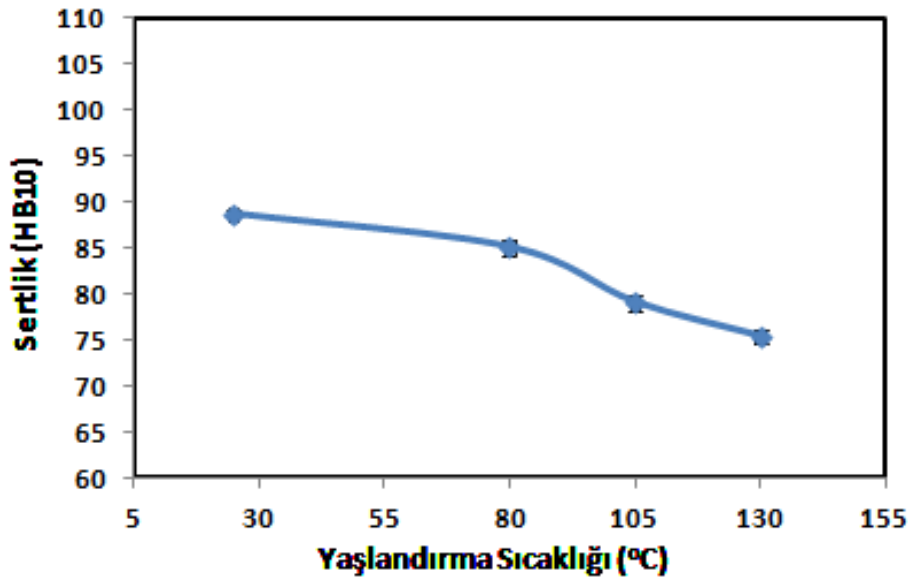
Şekil 4.5. a) Zamak 3 130°C 24 saat yaşlanma sonrasına ait sünek bölge EDS analiz noktaları; **b)** Zamak 3 130°C 24 saat yaşlanma sonrasına ait gevrek bölge EDS analiz noktası

4.2.2. Zamak 3 alaşım numuneleri sertlik ölçümleri

Zamak 3 alaşımının döküm sonrası ve 80°C, 105°C ve 130 °C ’lerde 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası belirlenmiş olan sertlik değerleri Çizelge 4.3 ve Şekil 4.6’de sunulmaktadır. Yaşlandırma öncesi sertlik değeri ortalama 88,73 HB10 iken artan yaşlandırma sıcaklığı ile sertlik değerlerinin azaldığı görülmektedir. 130 °C’de yaşlandırma sonrasında sertlik değeri 75,38 HB10’a düşmüştür. Sertlik ölçümlerindeki standart sapma değeri ortalama %2’yi geçmediği görülmektedir.

Çizelge 4.3. Zamak 3 alaşımı döküm sonrası ve 80°C, 105°C, 130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri

Numune No	Sertlik (HB10)				Ortalama Sertlik (HB10)	Std Sapma (HB10)
Z3-DS	89	88,40	89	88,50	88,73	0,32
Z3-80	84,90	84,20	85	86,30	85,10	0,88
Z3-105	79,79	79,80	78	78,80	79,10	0,87
Z3-130	74,90	75,10	75	76,50	75,38	0,75



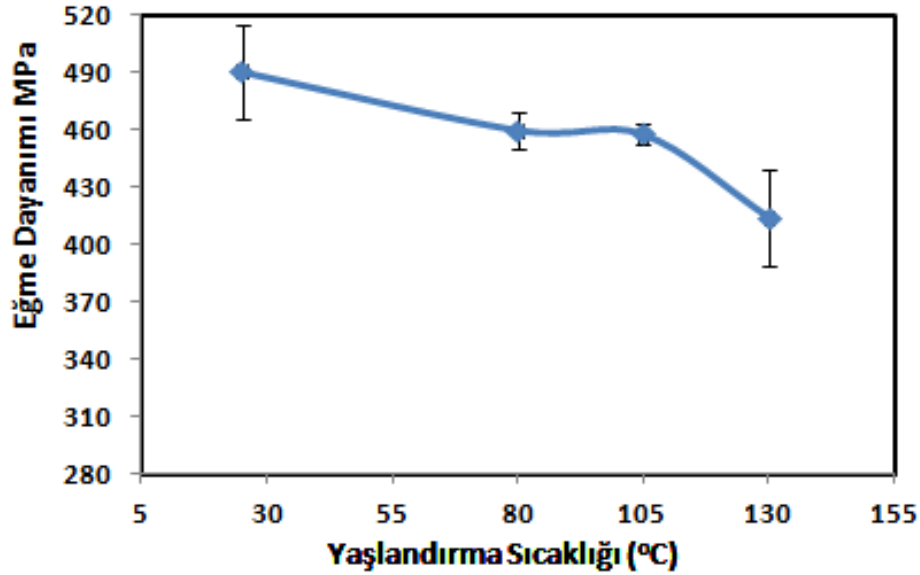
Şekil 4.6. Zamak 3 alaşımı döküm sonrası ve 80°C, 105°C, 130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri grafiği

4.2.3. Zamak 3 alaşım numuneleri üç-nokta eğme testleri sonuçları

Zamak 3 alaşım numunelerin döküm sonrası ve 80°C, 105°C ve 130 °C ’lerde 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası belirlenmiş olan üç nokta eğme dayanım değerleri Çizelge 4.4 ve Şekil 4.7’de verilmiştir. Yaşlandırma öncesi üç nokta eğme dayanım değeri ortalama 490,37 MPa iken, 130°C 24 saat yaşlandırma işleminden sonra üç nokta eğme dayanım değeri 414,08 MPa’a azalmıştır. Zamak 3 alaşım numunelerinde artan yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak üç nokta eğme dayanım değerlerinin de sürekli azaldığı görülmektedir. Zamak 3 alaşım numuneleri için üç nokta eğme dayanım değerlerindeki düşüş, sertlik düşüşüne bağlı olduğu düşünülebilir. Üç nokta eğme dayanım testlerinde standart sapma değeri %6’yı geçmemiştir.

Çizelge 4.4. Zamak 3 alaşımı döküm sonrası ve 80°C, 105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri

Numune No	Eğme Dayanımı (MPa)				Ortalama Eğme Dayanımı (MPa)	Std Sapma (MPa)
Z3-DS	523,67	470,04	473,97	493,81	490,37	24,52
Z3-80	472,53	450,44	454,78	460,97	459,68	9,59
Z3-105	453,71	461,48	455,75	447,74	454,67	5,67
Z3-130	448,81	414,72	395,24	397,55	414,08	24,73



Şekil 4.7. Zamak 3 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri grafiği

Zamak 3 alaşım numunelerinin yaşlandırma öncesi ve yaşlandırma sonrasına ait numunelerin üç nokta eğme dayanım testlerindeki % birim şekil değiştirmeleri Çizelge 4.5’te verilmiştir. Artan yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak mukavemet düşüşü tespit edilse de % birim şekil değişiminde sıcaklığa bağlı bir değişim tespit edilmemiştir. Ancak üç nokta eğme testi yapılan zamak 3 numunelerinde döküm sonrası ortalama birim şekil değiştirme %4,82 iken, 130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan numunelerde ise %5,01 olarak ölçülmüştür.

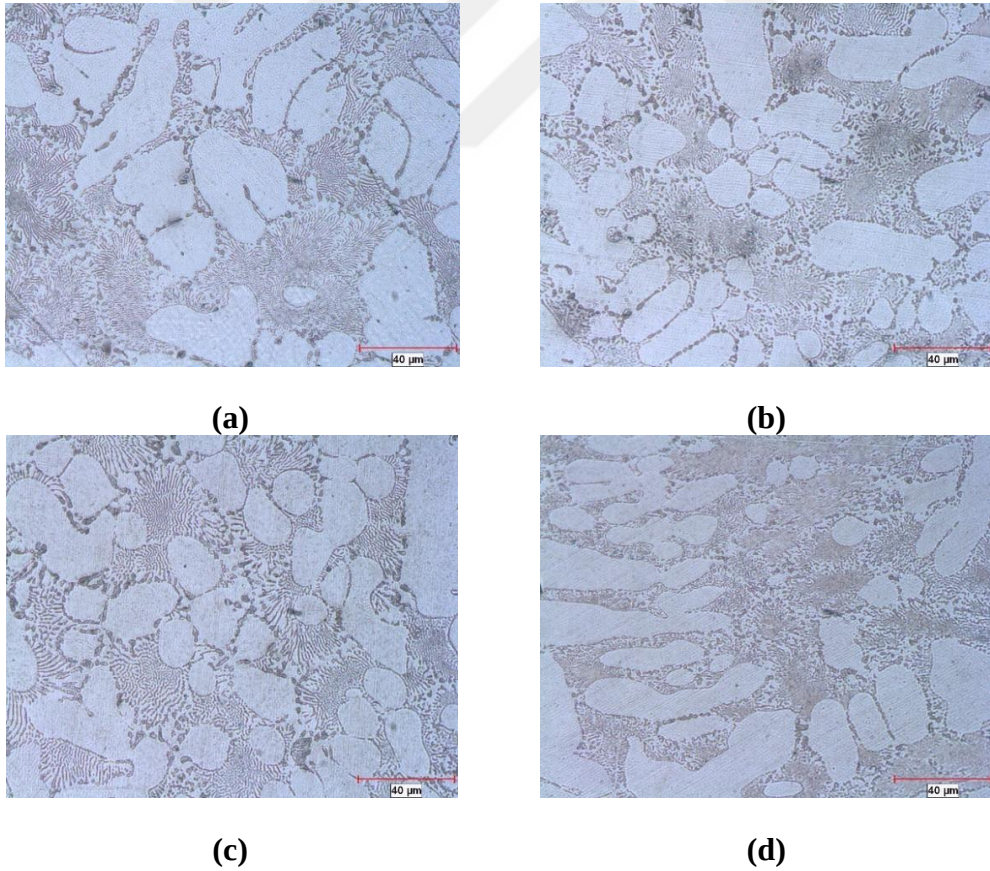
Çizelge 4.5. Zamak 3 alaşımlarının eğme testlerindeki % birim şekil değişim (BŞD) çizelgesi

Numune No	Eğme Birim Şekil Değişimi (%)				Ortalama Eğme BŞD (%)	Std Sapma (%)
Z3	4,8	5,7	4,00	4,80	4,825	0,69
Z3-80	4,87	4,27	4,92	3,74	4,45	0,55
Z3-105	5,87	5,10	5,87	5,94	5,69	0,39
Z3-130	5,67	5,05	4,50	4,84	5,01	0,49

4.3. Zamak 5 Alaşımı, Yaşlandırma Öncesi ve Yaşlandırma Sonrası Özellikleri

4.3.1. Zamak 5 alaşım numuneleri mikro yapı incelemeleri

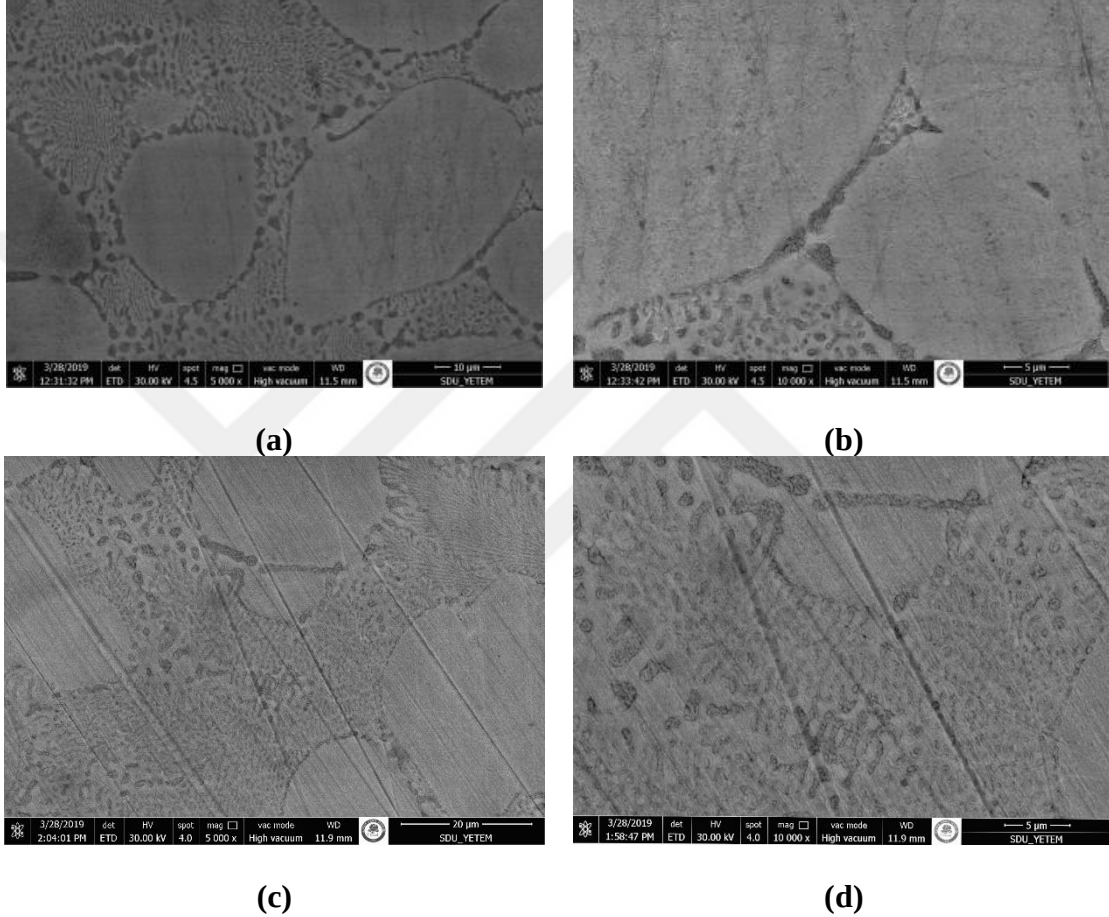
Şekil 4.8’de zamak 5 alaşım numunelerinin döküm sonrası, 80°C, 105°C ve 130°C 24 saat yaşlandırma işlemi sonrasına ait 500x büyütme mikroskop görüntüleri bulunmaktadır.



Şekil 4.8. a) Z5 Döküm sonrası 500x; b) Z5 80°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x; c) Z5 105°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x; d) Z5 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x optik mikroskop görüntüleri

Zamak 3 alaşım numuneleri mikro yapı incelemelerinde de olduğu gibi, incelenen numunelerin dentritik yapıya sahip beyaz bölgeler katılaşmaya ilk başlayan çinkoca zengin eta (η), koyu alanlar ise 275°C'nin altında oluşan eta (η) + alfa (α) fazlarıdır.

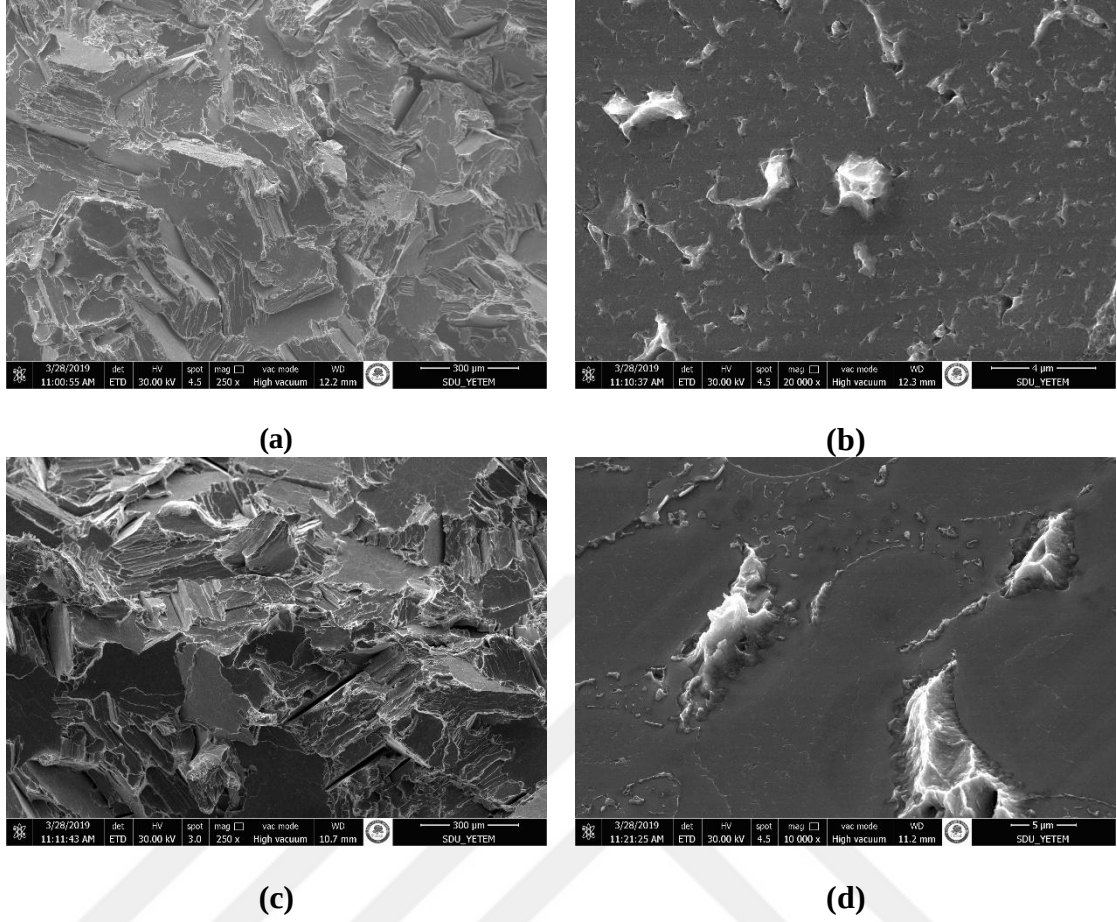
Zamak 5 alaşım numunelerinin döküm sonrası ve 130°C 24 saat yaşlandırma işlemi sonrasına ait parlatılmış, dağlanmış yüzeylerin 5000-10.000x büyütme SEM görüntüleri Şekil 4.9'da bulunmaktadır.



Şekil 4.9. a) Z5 Döküm sonrası (DS) 5000x; b) Z5 Döküm sonrası (DS) 10.000x; c) Z5 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 5000x; d) Z5 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 10.000x SEM görüntüleri

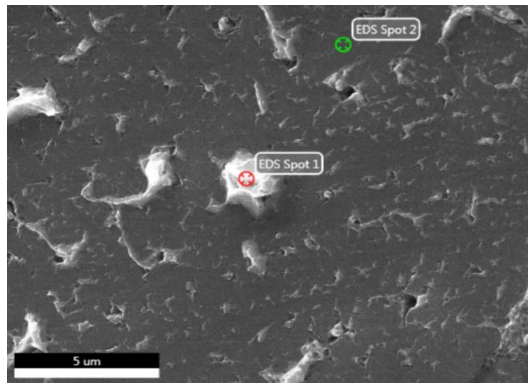
Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da görüldüğü gibi yaşlanma öncesi (döküm sonrası) ve yaşlanma sonrası incelenen numunelerde belirgin mikro yapı değişimleri gözlemlenmemiştir.

Zamak 5 alaşım numunelerinin döküm sonrası ve 130°C 24 saat yaşlandırma işlemi sonrasına ait kırık yüzeylerin 250x-20.000x/10.000x SEM görüntüleri Şekil 4.10'da bulunmaktadır.



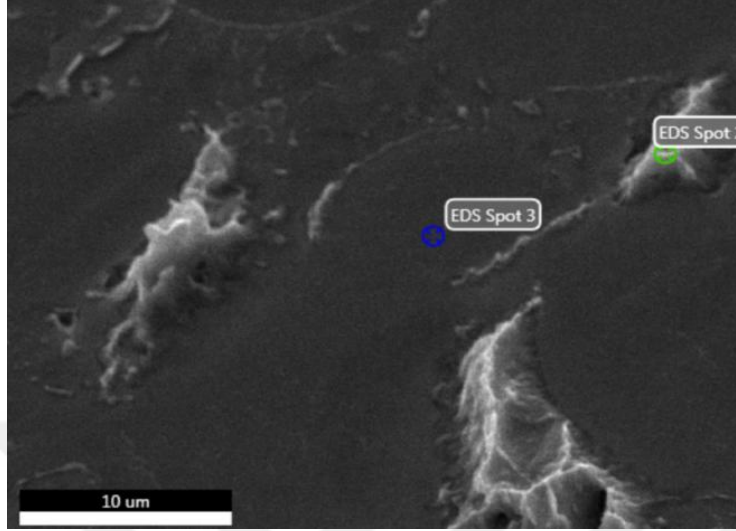
Şekil 4.10. a) Z5 Döküm sonrası (DS) 250x; b) Z5 Döküm sonrası (DS) 20.000x; c) Z5 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 250x; d) Z5 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 10.000x SEM görüntüleri

Sünek kırılmanın olduğu Şekil 4.11'in EDS spot 1 bölgesinde % ağırlıkça Al 5,08, Zn 94,18 ölçülmüştür. Gevrek kırılmanın olduğu EDS spot 2 bölgesinde ise, % ağırlıkça Al 1,56, Zn 97,52 ölçülmüştür.



Şekil 4.11. Döküm sonrasına ait kırık zamak 5 alaşım numunesinin sünek ve gevrek kırılma bölgelerinin elemental analiz bölgesi

Şekil 4.12’de sünek kırılmanın olduğu EDS spot 2 bölgesinde % ağırlıkça Al 15,18, Zn 83,90 ölçülmüştür. Gevrek kırılmanın olduğu EDS spot 3 bölgesinde ise, % ağırlıkça Al 3,28, Zn 95,87 ölçülmüştür.



Şekil 4.12. 130 °C 24 saat yaşlanma sonrasına ait kırık zamak 5 alaşım numunesinin sünek ve gevrek kırılma bölgelerinin elemental analizi

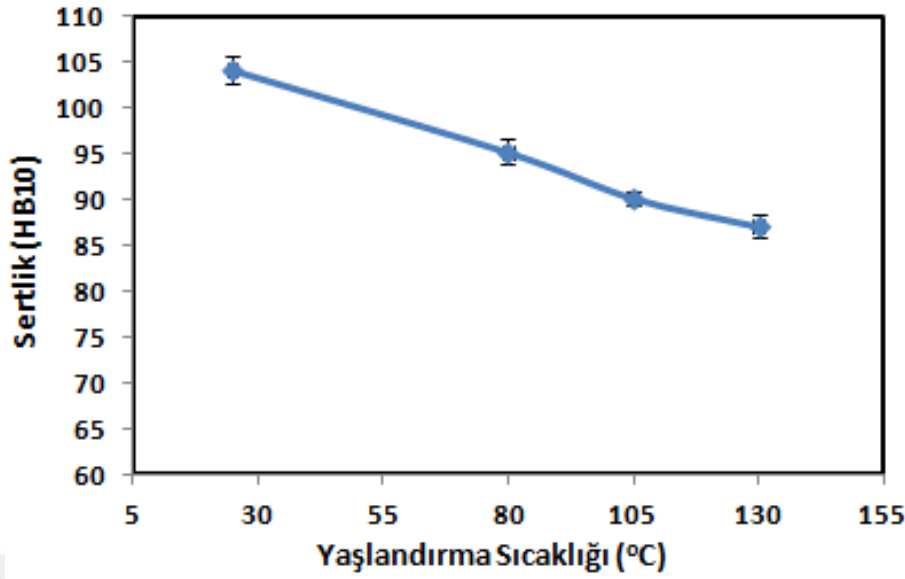
4.3.2. Zamak 5 alaşım numuneleri sertlik ölçümleri

Zamak 5 alaşımının döküm sonrası ve 80, 105 ve 130 °C ’lerde 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası belirlenmiş olan sertlik değerleri Çizelge 4.6 ve Şekil 4.13’te sunulmaktadır. Yaşlandırma öncesi sertlik değeri ortalama 104,13 HB10 iken artan yaşlandırma sıcaklığı ile sertlik değerlerinin azaldığı görülmektedir. 130 °C’de yaşlandırma sonrasında sertlik değeri 87,08 HB10’a düşmüştür. Sertlik ölçümlerinde standart sapma ortalama değerinin %2’yi geçmediği görülmektedir.

Zamak 3 ile kıyaslandığında (Şekil 4.6), zamak 5 alaşımının sertlik değerlerinin (Şekil 4.13) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeninin zamak 5 alaşımında bakır (%0,9) bulunması olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.6. Zamak 5 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri

Numune No	Sertlik (HB10)				Ortalama Sertlik (HB10)	Std Sapma (HB10)
Z5	104	105	105,50	102	104,13	1,55
Z5-80	96,60	95,10	93,30	95,70	95,18	1,39
Z5-105	89,60	90,50	91,00	89,60	90,18	0,69
Z5-130	88,00	85,90	86,00	88,40	87,08	1,31



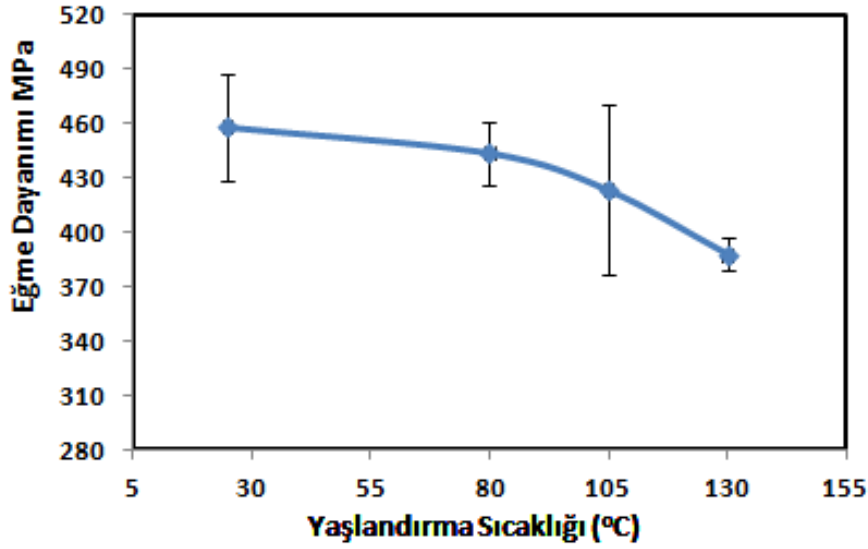
Şekil 4.13. Zamak 5 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri grafiği

4.3.3. Zamak 5 alaşım numuneleri üç-nokta eğme testleri

Zamak 5 alaşım numunelerinin döküm sonrası ve 80°C, 105°C ve 130 °C ’lerde 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası belirlenmiş olan üç nokta eğme dayanım değerleri Çizelge 4.7 ve Şekil 4.14 ’de verilmiştir. Yaşlandırma öncesi üç nokta eğme dayanım değeri ortalama 457,68 MPa iken, 130°C 24 saat yaşlandırma işleminden sonra numunelerin üç nokta eğme dayanım ortalama değeri 387,88 MPa’a kadar düşmüştür. Çizelge 4.7 ve Şekil 4.14’de de görüldüğü gibi artan yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak üç nokta eğme dayanım değerlerinin düştüğü görülmektedir. Zamak 5 alaşım numunelerinin üç nokta eğme dayanım testlerinde elde edilen sonuçlarda, standart sapma ortalama değerinin %10’u geçmediği görülmektedir.

Çizelge 4.7. Zamak alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri

Numune No	Eğme Dayanımı (MPa)				Ortalama Eğme Dayanımı (MPa)	Std Sapma (MPa)
Z5	468,91	480,96	415,56	465,30	457,68	28,87
Z5-80	468,59	440,73	434,18	430,09	443,40	17,36
Z5-105	481,05	441,00	383,97	386,08	423,03	46,83
Z5-130	392,09	375,57	388,86	395,00	387,88	8,58



Şekil 4.14. Zamak 5 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri grafiği

Zamak 5 alaşım numunelerinin yaşlandırma öncesi ve yaşlandırma sonrasına ait numunelerin üç nokta eğme dayanım testlerindeki % birim şekil değiştirmeleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Artan yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak mukavemet düşüşü tespit edilse de % birim şekil değişiminde standart bir değişim tespit edilememiştir. Ancak % birim şekil değiştirmenin yaşlandırma öncesi %3,92 iken, 130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan numunelerde ortalama %4,37 olarak ölçülmüştür. Birim şekil değiştirmenin yaşlandırma işlemi öncesine göre arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.8. Zamak 5 alaşımlarının eğme testlerindeki % birim şekil değişim çizelgesidir

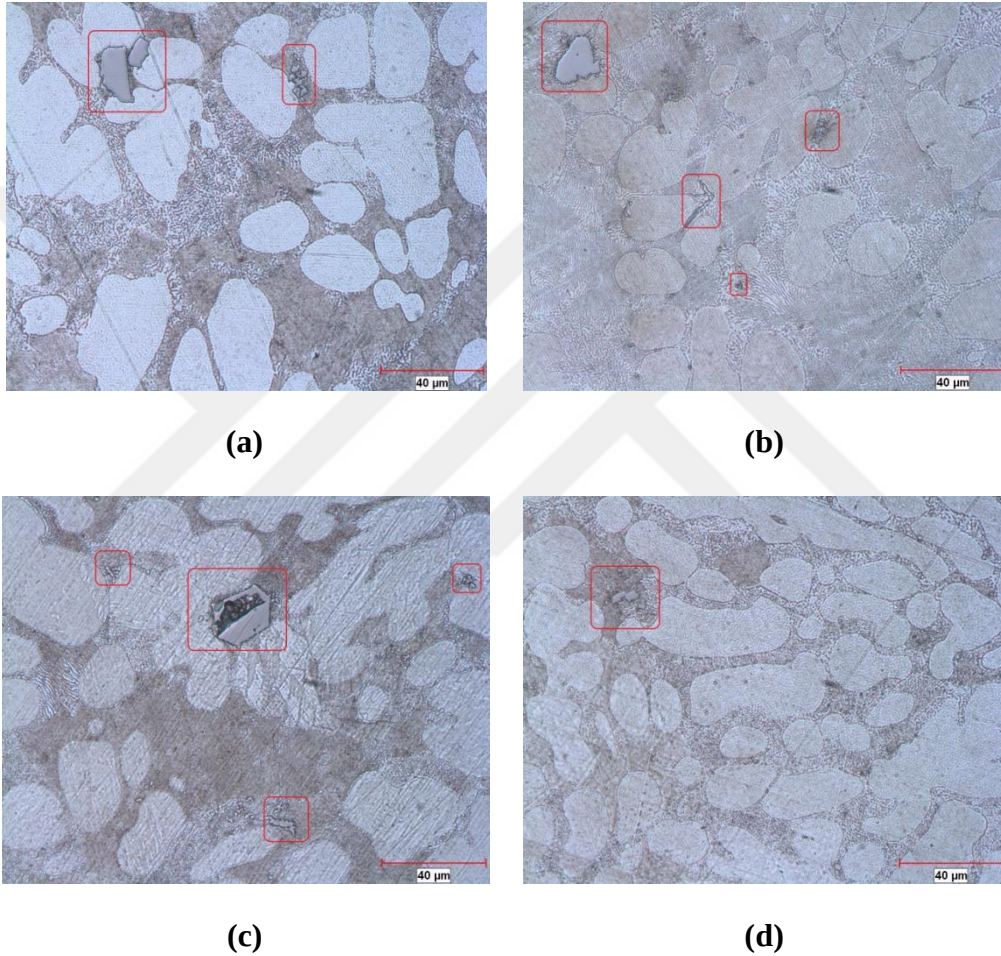
Numune No	Eğme Birim Şekil Değişimi (%)				Ortalama Eğme BŞD (%)	Std Sapma (%)
Z5	4,6	3,6	3,5	4	3,92	0,49
Z5-80	3,8	3,8	3,88	5,35	4,20	0,76
Z5-105	3,6	3,8	3,8	3,2	3,6	0,28
Z5-130	4,2	4,5	4,4	4,4	4,37	0,12

4.4. İkincil Eritme-1 Alaşımı, Yaşlandırma Öncesi ve Yaşlandırma Sonrası Özellikleri

4.4.1. İkincil eritme-1 alaşım numuneleri mikro yapı incelemeleri

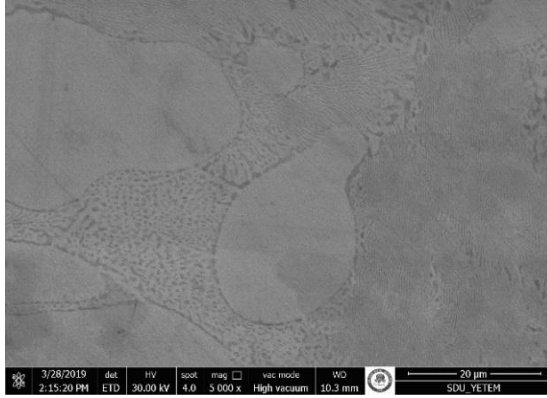
Zamak 3 ve zamak 5 alaşım numuneleri mikro yapı incelemelerinde olduğu gibi, incelenen numunelerin dentritik yapıya sahip beyaz bölgeler katılasmaya ilk başlayan

çinkoca zengin eta (η), koyu alanlar ise 275°C'nin altında oluşan eta (η) + alfa (α) fazlarıdır. Zamak 3 ve Zamak 5 alaşımlarında olmayan demir partikülleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da tespit edilmiştir. Kimyasal analiz sonuçları göz önünde bulundurulursa bu beklenen bir durumdur. İkincil eritme-1 alaşım numunelerinin döküm sonrası, 80°C, 105°C ve 130°C 24 saat yaşlandırma işlemi sonrasına ait 500x büyütme mikroskop görüntüleri Şekil 4.15'de bulunmaktadır. İlk döküm ve tüm yaşlanma sıcaklıkları sonrası elde edilen optik mikroskop görüntülerinde yabancı partiküllerin tespiti dışında tane büyüklükleri ve sınırları incelendiğinden numuneler arasında belirgin farklılıklar tespit edilmemiştir.

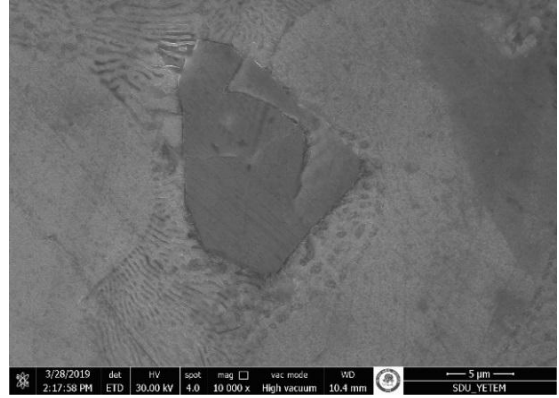


Şekil 4.15. a) E1 Döküm sonrası 500x; **b)** E1 80°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x; **c)** E1 105°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x; **d)** E1 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 500x optik mikroskop görüntüleri

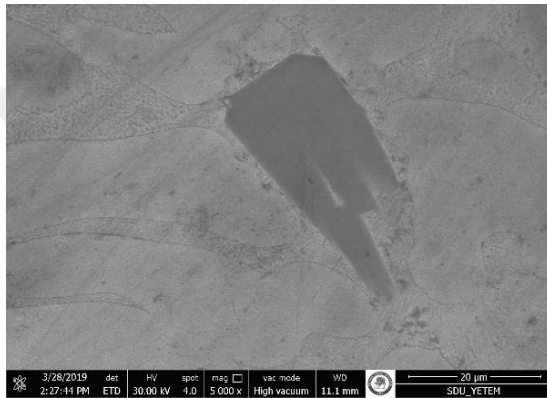
İkincil eritme-1 alaşım numunelerinin döküm sonrası ve 130°C 24 saat yaşlandırma işlemi sonrasına ait parlatılmış – dağlanmış yüzeylerin 5000-10.000x büyütme SEM görüntüleri Şekil 4.16'da bulunmaktadır.



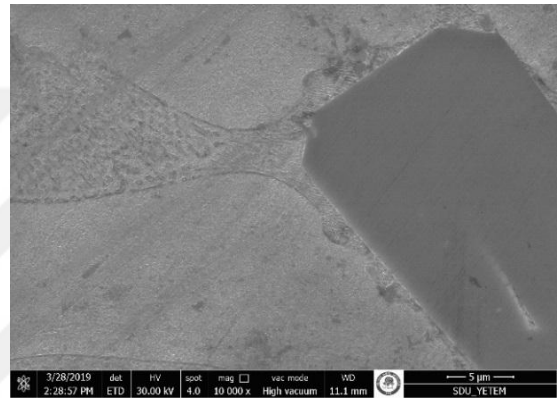
(a)



(b)



(c)

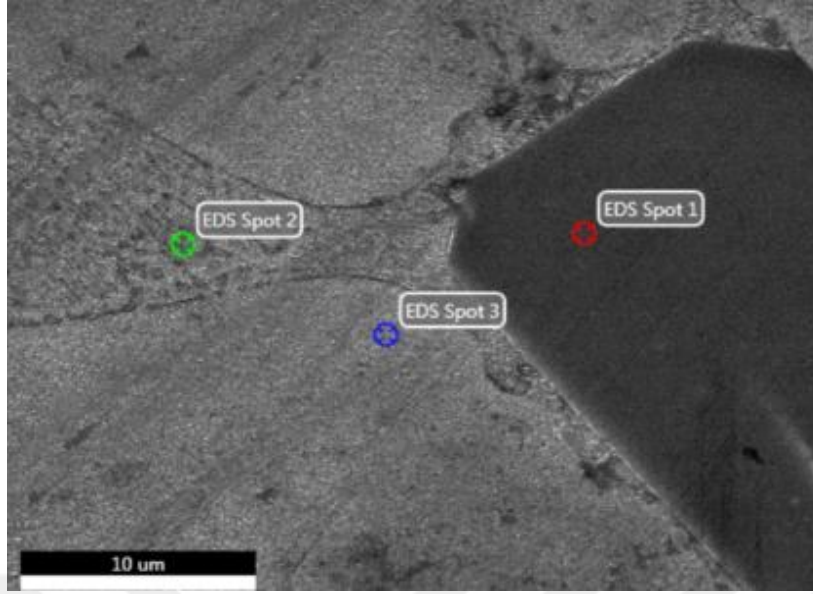


(d)

Şekil 4.16. a) E1 Döküm sonrası 5000x; **b)** E1 Döküm sonrası 10.000x; **c)** E1 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 5000x; **d)** E1 130°C 24 saat yaşlanma sonrası 10.000x SEM görüntüleri

Parlatılmış ve dağlanmış numunelerin SEM ile EDS elemental analizlerde özellikle optik mikroskop incelemelerinde ve kimyasal kompozisyon analizlerinde tespit edilen yabancı partiküller üzerine yoğunlaşmıştır. İkincil eritme-1 alaşım numunelerinin kimyasal kompozisyon analizlerinde empürilerin varlığı tespit edilmişti. Özellikle kimyasal kompozisyon bileşiminde %0,020'yi geçmemesi gereken demir oranının %0,078, %0,003'ü geçmemesi gereken kurşun oranının %0,0050, %0,0010'u geçmemesi gereken kalay oranının ise %0,031 ölçülmüştü. Safsızlık elementleri içerisinde alaşım kompozisyonunda oranı en yüksek olan elementin demir olması nedeniyle EDS elemental analizlerinde de tespit edilebileceği ön görülmüştür.

EDS elemental analizi yapılan, 130°C 24 saat yaşlanma sonrasına ait ikincil eritme-1 alaşım numunelerin parlatılmış ve dağlanmış yüzeyindeki analiz bölgeleri Şekil 4.17'de bulunmaktadır. Şekil 4.17.b ve Şekil 4.17.c ve Şekil 4.17.d SEM fotoğraflarında koyu bölgelerin safsızlık elementi olarak demir olduğu ön görülmüştür.

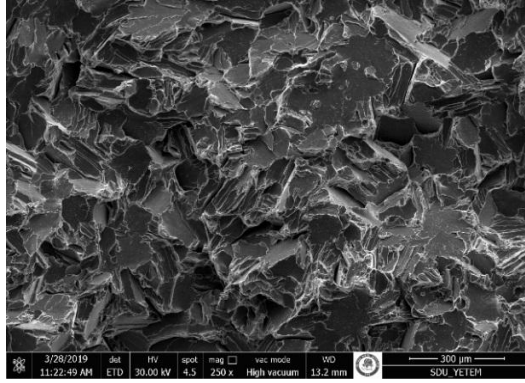


Şekil 4.17. İkincil eritme-1 130 °C 24 saat yaşlanma sonrası parlatılmış ve dağlanmış numunenin EDS elemental analizi

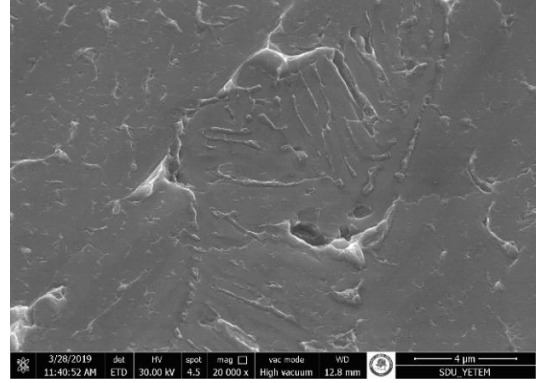
Spot 1 noktasından alınan EDS ölçümlerinde % ağırlıkça Al 50,38, Fe 36,87, Zn 12,23 ölçülmüştür. Bu partiküllerin demir ve alüminyum bulundurduğu tespit edilmiştir ve demir-alüminyum içeren metallere arası bileşik olduğu düşünülmüştür. Alaşımın kimyasal kompozisyonu analiz edildiğinde %0,0050'den az olması gereken demir elementinin limit değerler üzerinde olduğu ve %0,078 olduğu belirlenmiştir. Mikro yapı incelemelerinde demir içeren metallere arası bileşik partiküllerine rastlanması beklenen bir sonuçtur.

EDS Spot 2 bölgesinde % ağırlıkça Al 8,69 ve Zn 90,44, Fe 0,19 ölçülmüştür. EDS Spot 3 bölgesinde % ağırlıkça Al 1,74, Zn 97,55, Fe 0,21 ölçülmüştür. Alaşımda limit değerlerden fazla miktarda demir bulunmasının alaşımın sertliğini artırıp gevrekletmesi beklenen bir sonuçtur. İkincil eritme-1 alaşımının kimyasal kompozisyonunda %3,8-4,2 aralığında olması gereken alüminyumun %3,23 olarak ölçülmesi ile ilgili olarak, Polat (2011b), alaşımda limit değer olarak verilen %0,02'den fazla demirin bulunması durumunda, demirin alüminyum ile reaksiyonu sonucunda Al-Fe intermetalığı oluşturması ve intermetalik oluşumu esnasında alüminyumun azalmasının beklenebileceğini belirtmiştir. Buna göre ikincil eritme-1 alaşımındaki %0,078 oranındaki demirin %0,002 olarak belirtilen limit değerden fazla olduğu ve buna bağlı olarak Al-Fe intermetalığı oluşurken alüminyumun azaldığı sonucuna varılabilir.

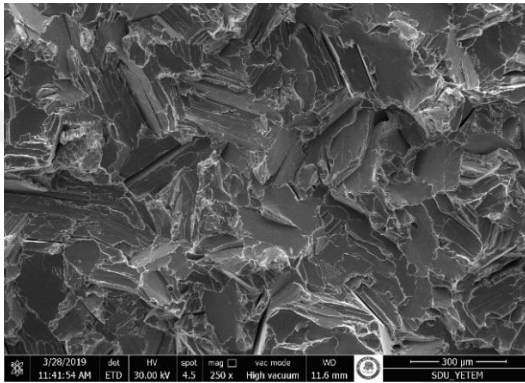
İkincil eritme-1 alaşım numunelerinin döküm sonrası ve 130°C 24 saat yaşlandırma işlemi sonrasına ait kırık yüzeylerin 250x-20.000x SEM görüntüleri Şekil 4.18'de bulunmaktadır.



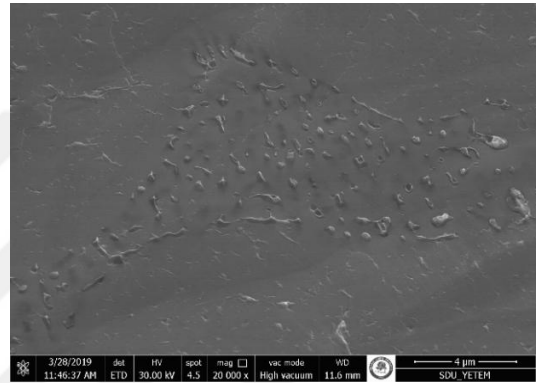
(a)



(b)



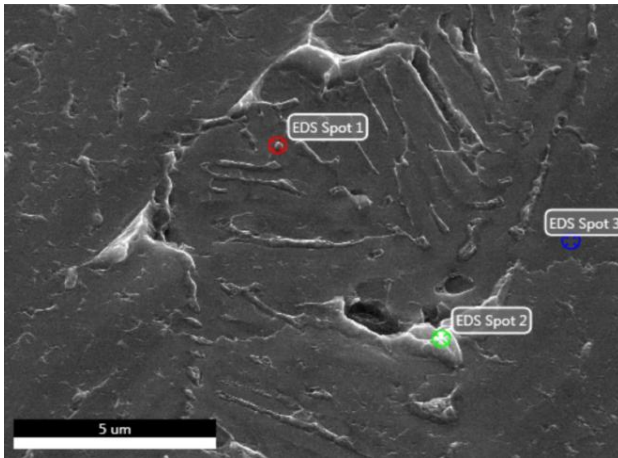
(c)



(d)

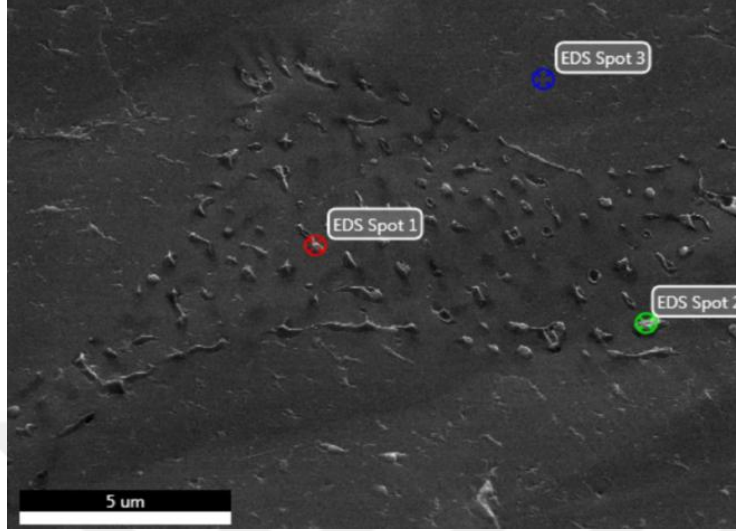
Şekil 4.18. a) E1 Döküm sonrası 250x; b) E1 Döküm sonrası 20.000x; c) E1 130°C 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası 250x; d) E1 130°C 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası 20.000x SEM görüntüleri

İkincil eritme-1 numunesinin sünek kırılmanın olduğu Şekil 4.19'un EDS spot 1 bölgesinde % ağırlıkça Al 15,42, Zn 83,86 ölçülmüştür. Gevrek kırılmanın olduğu EDS spot 3 bölgesinde ise, % ağırlıkça Al 4,56, Zn 94,66 ölçülmüştür.



Şekil 4.19. Döküm sonrasına ait kırık ikincil eritme-1 alaşım numunesinin sünek ve gevrek kırılma bölgelerinin elemental analizi

Sünek kırılmanın olduğu Şekil 4.20'in EDS spot 1 bölgesinde % ağırlıkça Al 15,78, Zn 83,58 ölçülmüştür. Gevrek kırılmanın olduğu EDS spot 3 bölgesinde ise, % ağırlıkça Al 4,22, Zn 94,94 ölçülmüştür.



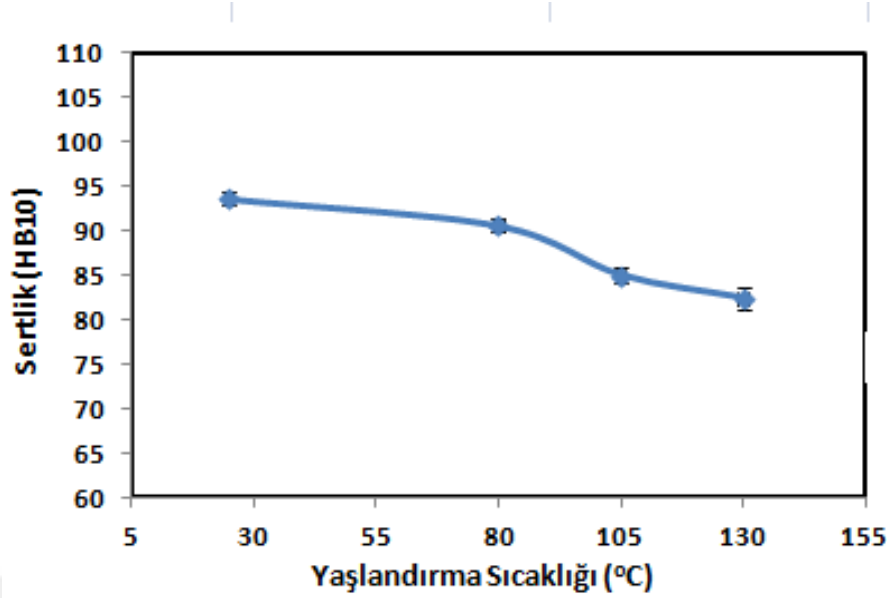
Şekil 4.20. 130°C 24 saat yaşlanma sonrasına ait kırık ikincil eritme-1 alaşım numunesinin sünek ve gevrek kırılma bölgelerinin elemental analizi

4.4.2. İkincil eritme-1 alaşım numuneleri sertlik ölçümleri

İkincil eritme-1 alaşımının döküm sonrası ve 80°C, 105°C ve 130 °C 'lerde 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası belirlenmiş olan sertlik değerleri Çizelge 4.9 ve Şekil 4.21'de sunulmaktadır. Yaşlandırma işlemi öncesi sertlik değeri ortalama 93,59 HB10 iken, 130 °C'de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrasında sertlik değeri 82,40 HB10'a kadar düşmüştür. İkincil eritme-1 alaşım numunelerinde ilk döküm sonrasında itibaren, artan yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak numunelerin sertlik ölçüm değerleri de azaldığı görülmektedir. İkincil eritme-1 alaşım numuneleri sertlik ölçümlerinde elde edilen sonuçlara göre standart sapma değerinin %2'yi geçmediği görülmektedir.

Çizelge 4.9. İkincil eritme-1 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C'de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri

Numune No	Sertlik (HB10)				Ortalama Sertlik (HB10)	Std Sapma (HB10)
E1	93,56	94,00	92,60	94,20	93,59	0,71
E1-80	90,14	90,50	91,60	89,90	90,54	0,75
E1-105	85,50	86,00	84,00	84,50	85,00	0,91
E1-130	81,60	82,50	81,50	84,00	82,40	1,16



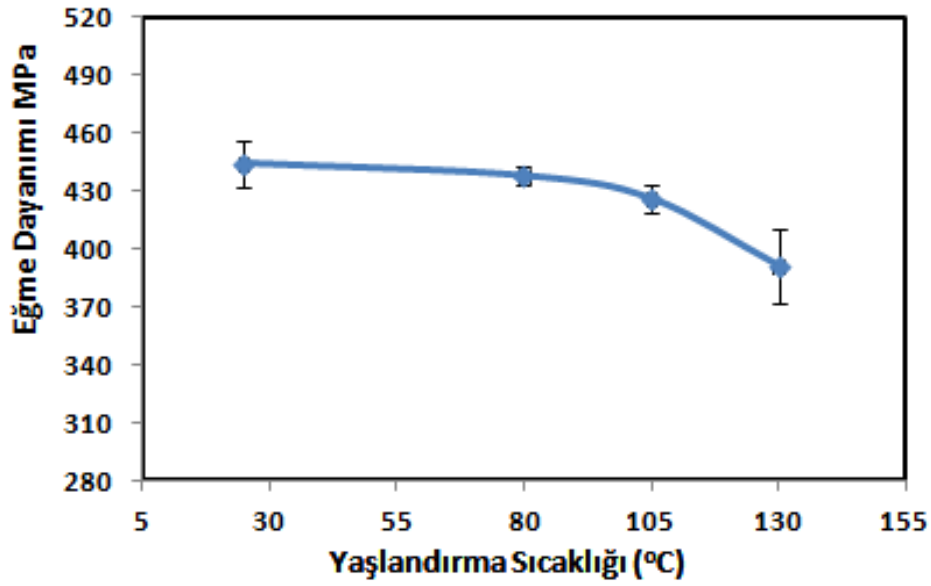
Şekil 4.21. İkincil eritme-1 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri grafiği

4.4.3. İkincil eritme-1 alaşım numuneleri üç-nokta eğme testleri

İkincil eritme-1 alaşımının döküm sonrası ve 80°C, 105°C ve 130 °C ’lerde 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası belirlenmiş olan üç nokta eğme dayanım değerleri Çizelge 4.10 ve Şekil 4.22’de verilmiştir. Yaşlandırma öncesi üç nokta eğme dayanımı ortalama 444,32 MPa iken, 130°C 24 saat yaşlandırma işleminden sonra eğme dayanımı 391,44 MPa’a azalmıştır. İkincil eritme-1 alaşım numunelerin ilk dökümden itibaren artan yaşlanma sıcaklığına bağlı olarak üç nokta eğme dayanım değerlerinin sürekli azaldığı görülmektedir. İkincil eritme-1 alaşım numunelerinin üç nokta eğme testlerinde elde edilen sonuçlara göre standart sapma değerinin %5’i geçmediği görülmektedir.

Çizelge 4.10. İkincil eritme-1 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri

Numune No	Eğme Dayanımı (MPa)				Ortalama Eğme Dayanımı (MPa)	Std Sapma (MPa)
E1	460,14	431,38	445,24	440,50	444,32	12,02
E1-80	439,30	430,41	439,85	442,10	437,92	5,15
E1-105	421,10	424,07	437,06	422,07	426,08	7,43
E1-130	414,61	368,21	387,69	395,24	391,44	19,19



Şekil 4.22. İkincil eritme-1 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri grafiği

İkincil eritme-1 alaşım numunelerinin yaşlandırma öncesi ve yaşlandırma sonrasına ait numunelerin üç nokta eğme dayanım testlerindeki % birim şekil değiştirmeleri Çizelge 4.11’de verilmiştir. Artan yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak mukavemet düşüşü tespit edilse de % birim şekil değişiminde standart bir değişim oluşmamıştır. % birim şekil değiştirme yaşlandırma öncesi %5,32 iken, 130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan numunelerde ortalama %5,12 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.11. İkincil eritme-1 alaşımlarının eğme testlerindeki % birim şekil değişim çizelgesidir

Numune No	Eğme Birim Şekil Değişimi (%)				Ortalama Eğme BŞD (%)	Std Sapma (%)
E1	5,33	5,4	5,28	5,30	5,32	0,05
E1-80	4,4	3,7	2,8	3,8	3,67	0,66
E1-105	5,16	3,2	3,5	5,56	4,35	1,17
E1-130	5	4,3	6	5,2	5,12	0,7

4.5. İkincil Eritme-2 Alaşımı, Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Özellikleri

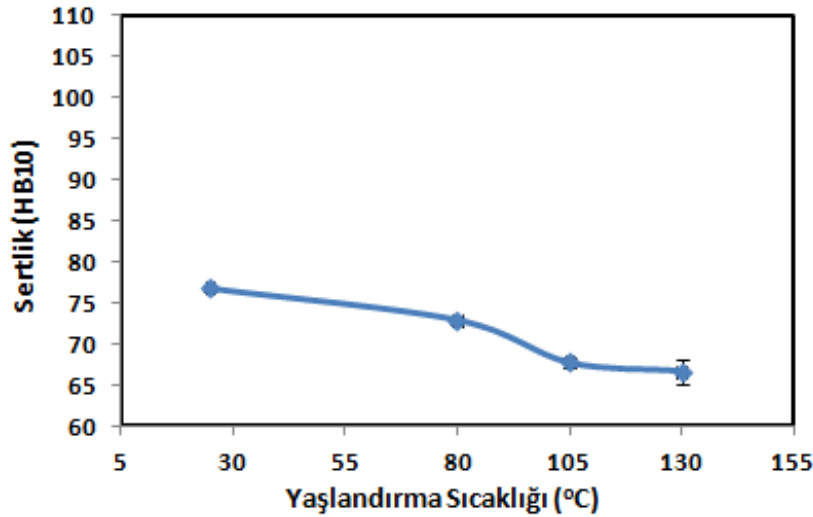
4.5.1. İkincil eritme-2 alaşım numuneleri sertlik ölçümleri

İkincil eritme-2 alaşım numunelerinin ilk döküm sonrası, 80°C, 105°C ve 130 °C’lerde 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası belirlenmiş olan sertlik değerleri Çizelge 4.12 ve Şekil 4.23 ’de sunulmaktadır. Yaşlandırma öncesi sertlik değeri ortalama 76,80 HB10 iken, 130 °C’de yaşlandırma sonrasında sertlik değeri 66,53 HB10’a düşmüştür.

İkincil eritme-2 alaşım numunelerinin ilk dökümden itibaren artan yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak sertlik değerlerinin de sürekli azaldığı görülmektedir. İkincil eritme-2 alaşım numunelerin sertlik ölçüm sonuçlarına göre standart sapma değerlerinin %2,5'i geçmediği görülmektedir.

Çizelge 4.12. İkincil eritme-2 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C'de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri

Numune No	Sertlik (HB10)				Ortalama Sertlik (HB10)	Std Sapma (HB10)
E2	77,20	76,50	77,00	76,50	76,80	0,36
E2-80	72,15	72,85	73,60	73,15	72,94	0,61
E2-105	68,50	68,00	67,00	67,50	67,75	0,65
E2-130	66,95	64,15	67,00	68,00	66,53	1,66



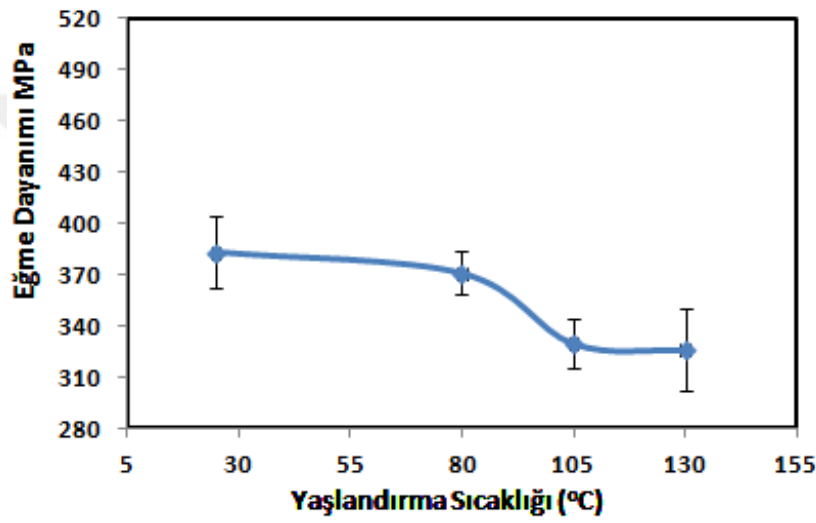
Şekil 4.23. İkincil eritme-2 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C'de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri grafiği

4.5.2 İkincil eritme-2 alaşım numuneleri üç-nokta eğme testleri sonuçları

İkincil eritme-2 alaşımının döküm sonrası, 80°C, 105°C ve 130 °C'lerde 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası belirlenmiş olan üç nokta eğme dayanım değerleri Çizelge 4.13 ve Şekil 4.24'de verilmiştir. Yaşlandırma öncesi üç nokta eğme dayanım ortalama değeri ortalama 383,03 MPa iken, 130°C 24 saat yaşlandırma işleminden sonra üç nokta eğme dayanım ortalama değeri 325,89 MPa'a düşmüştür. İkincil eritme-2 alaşım numuneleri için ilk dökümden itibaren artan yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak üç nokta eğme dayanım değerlerinin de sürekli azaldığı görülmektedir. İkincil eritme-2 alaşım numunelerinin üç nokta eğme dayanım testi sonuçlarına göre standart sapma değerlerinin %8'i geçmediği görülmektedir.

Çizelge 4.13. İkincil eritme-2 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri

Numune No	Eğme Dayanımı (MPa)				Ortalama Dayanım (MPa)	Std Sapma (MPa)
E2	407,22	356,22	378,55	390,00	383,03	21,34
E2-80	388,32	370,86	370,54	353,10	370,71	14,38
E2-105	350,15	318,87	324,67	325,49	329,80	13,89
E2-130	321,93	296,21	353,32	332,10	325,89	23,72



Şekil 4.24. İkincil eritme-2 alaşımı döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası eğme dayanım değerleri grafiği

İkincil eritme-2 alaşım numunelerinin yaşlandırma öncesi ve yaşlandırma sonrasına ait numunelerin üç nokta eğme dayanım testlerindeki % birim şekil değiştirmeleri Çizelge 4.14’te verilmiştir. Artan yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak mukavemet düşüşü tespit edilse de % birim şekil değişiminde standart bir değişim oluşmamıştır. % birim şekil değiştirmenin yaşlandırma öncesi %6,47 iken, 130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan numunelerde ortalama %6,82 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.14. İkincil eritme-2 alaşımlarının eğme testlerindeki % BŞD çizelgesidir.

Numune No	Eğme Birim Şekil Değişimi (%)				Ortalama Eğme BŞD (%)	Std Sapma (%)
E2	9,5	5,8	5,6	5	6,47	2,04
E2-80	5	6,3	5	5,2	5,37	0,62
E2-105	3	3,6	3,6	8	4,55	2,31
E2-130	6	10	7	4,3	6,82	2,39

5. SONUÇLAR

5.1. Mikro Yapı Karşılaştırmaları

Zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1 ve ikincil eritme-2 alaşım numunelerin döküm sonrası, 80°C, 105°C, 130 °C sıcaklıklarda 24 saat yaşlandırma işlemi yapıldıktan sonra mikro yapı incelemeleri yapılmıştır. İncelenen zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşımlarında bulunan alüminyum oranı %4'ü geçmediğinden Zn-Al ikili denge diyagramında ötektik altı bileşime sahip oldukları görülmektedir. Bu sebeple katılaşma sıvı ergiyikte bulunan eta (η) dentritlerinin büyümesi ile başladığı ve büyüme 380°C'ye kadar devam ettiği, 380°C'de ötektik sıcaklığa varıldığında da beta (β) + eta (η) ötektik dönüşümü oluştuğu belirtilmiştir. 275°C sıcaklığın altına düşüldüğünde artık alfa (α) + eta (η) fazları meydana geldiği, oda sıcaklıklarında mikro yapıları incelenen numunelerde ötektik dönüşümden önce oluşan eta (η) faz dentritleri, 275°C'nin altında oluşumu başlayan çinkoca zengin eta (η) ve alüminyumca zengin alfa (α) fazları oluştuğu belirtilmiştir (Pürçek 1994; Koçyiğit 2016). İncelenen numunelerin dentritik yapıya sahip beyaz bölgeler katılaşmaya ilk başlayan çinkoca zengin eta (η), koyu alanlar ise 275°C'nin altında oluşan eta (η) + alüminyumca zengin alfa (α) fazlarıdır.

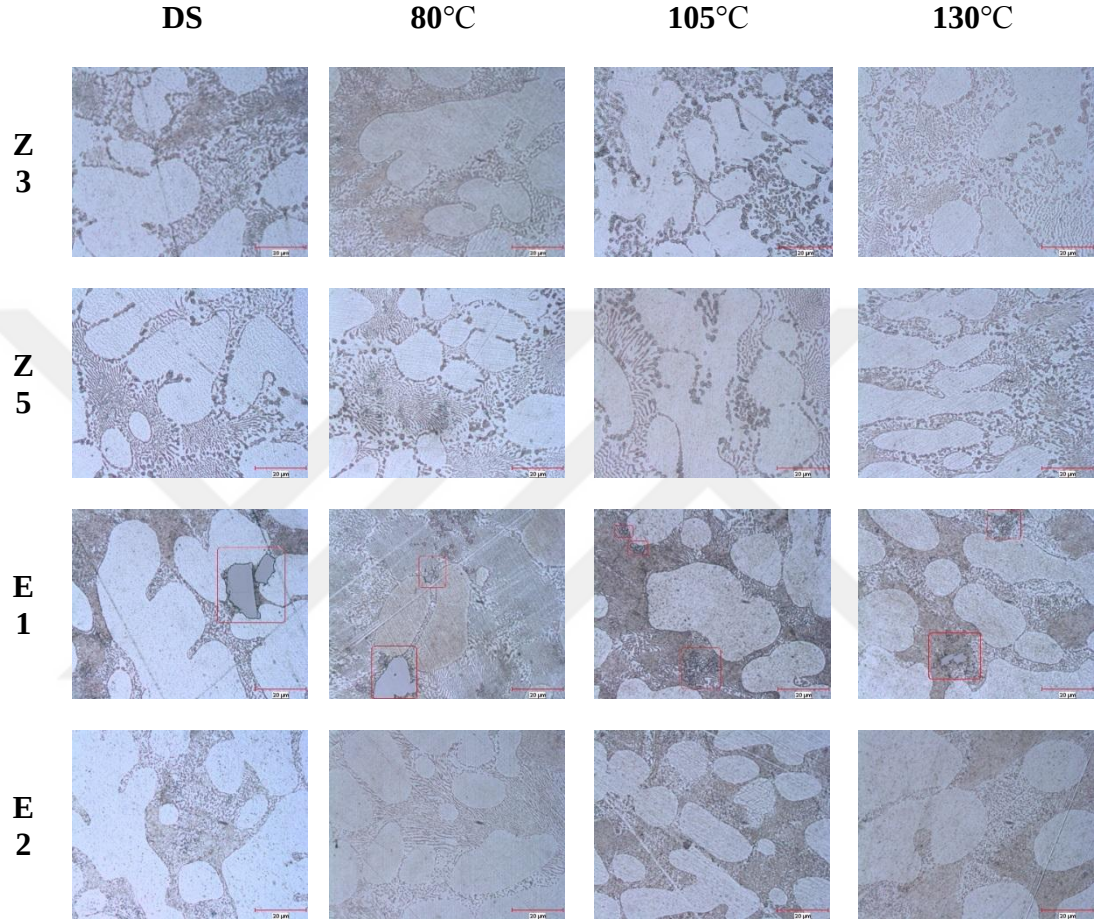
Tüm alaşımların döküm sonrası ve 80°C, 105°C ve 130 °C 'lerde 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası optik mikroskopla elde edilmiş olan mikro yapı görüntüleri Şekil 5.1'de ve taramalı elektron mikroskobu ile elde edilmiş olan mikro yapı görüntüleri Şekil 5.2'de sunulmaktadır. Yaşlandırma işlemi sonrasında, yapıdaki fazların oranları veya boyutlarında belirgin bir değişiklik görülmemiştir. Literatürde, bu çalışmadakinden farklı oranlarda alüminyum içeren çinko-alüminyum alaşımları ile ilgili yapılmış olan çalışmaların sonuçlarında da, yaşlandırmaya bağlı olarak belirgin bir mikro yapı değişimi görülemediği belirtilmiştir (Pola vd 2015; Montesano 2015). Bununla birlikte, Pola ve arkadaşlarının (2015) %15 Al içeren Zn ile ilgili çalışmasında, 105 °C'de 240 saat gibi uzun yaşlandırma işlemi sonucunda, fazların ara yüzeylerindeki çökeltilerin daha iri, daha küresel ve ötektoid lamellerin daha iyi ayırt edilebilir olduğu ifade edilmiştir. Bunun nedeninin Al ve Zn elementlerinin daha belirgin olarak ayrılması olabileceği belirtilmiştir.

E1 alaşımının mikro yapısında zamak 3 ve zamak 5 standart alaşımlarında var olmayan yabancı partiküller tespit edilmiş olup, enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) analizlerinde bu partiküllerin demir ve alüminyum bulundurduğu tespit edilmiştir ve demir-alüminyum içeren metallere bileşik olduğu düşünülmüştür. İkincil eritme-1 (E1) alaşım numunelerinin kimyasal kompozisyon analizlerinde de safsızlık elementi olarak %0,02 limit değerinden fazla %0,078 oranında demir elementinin ölçülmesi, mikro yapı analizlerinde demir elementine rastlamamız olağan bir durum olduğu düşünülmüştür.

E2 alaşımının da mikro yapısında da zamak 3 ve zamak 5 standart alaşımlarda var olmayan safsızlık elementleri kimyasal kompozisyon analizlerinde tespit edilmişti. Ancak ölçülen değerler E1 alaşımındaki demir oranı gibi yüksek değerler olmaması

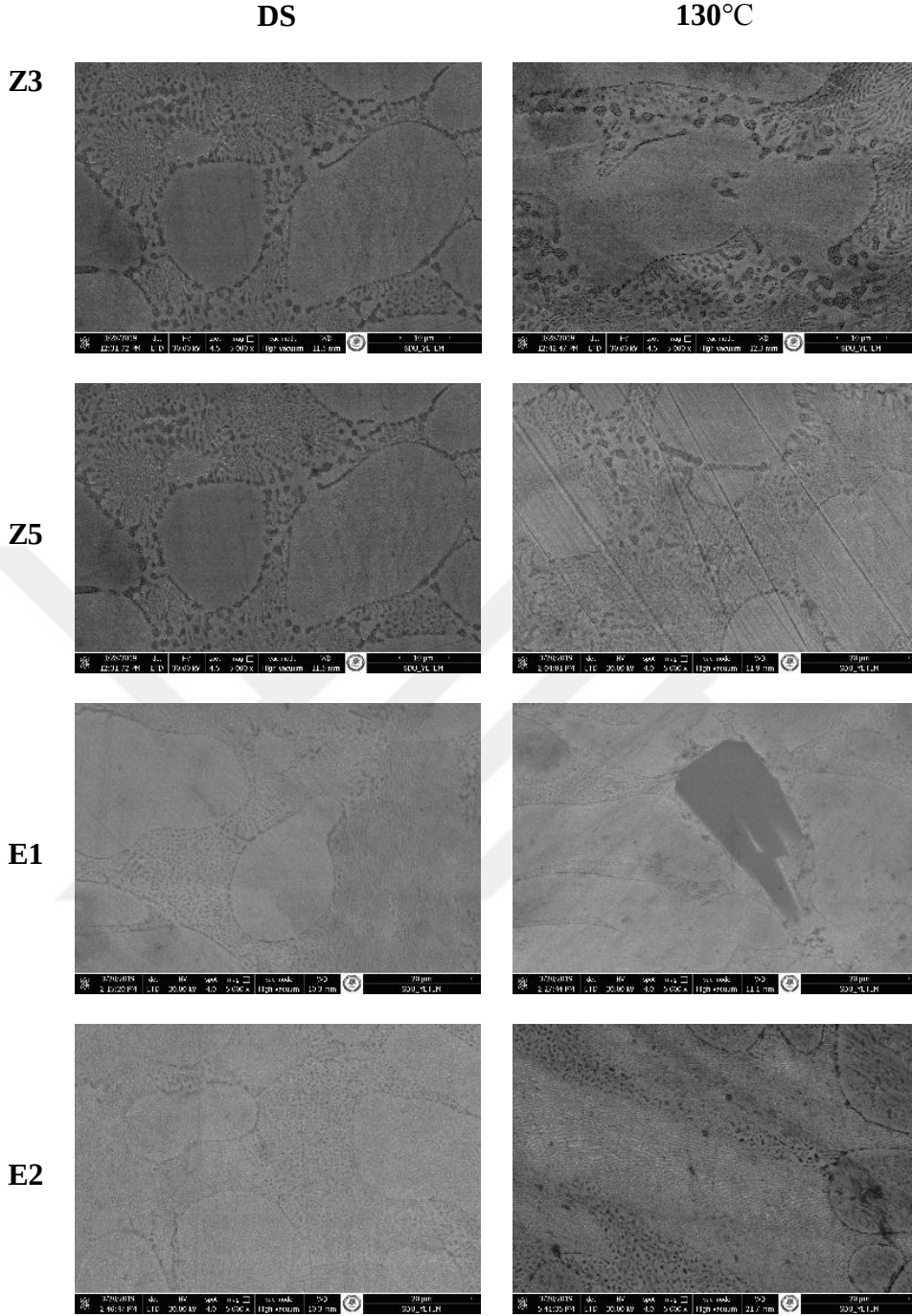
nedeniyle optik mikroskop analizlerinde yabancı partikül olarak gözlemlenmemiş, taramalı elektron mikroskobu elemental analizlerinde de tespit edilememiştir.

Şekil 5.1’de 1000x büyütme optik mikroskop incelemeleri yapılan tüm alaşım numunelerinin döküm sonrası ve 80, 105, 130°C 24 saat yaşlanma sonrasına ait görüntüleri bulunmaktadır.



Şekil 5.1. Optik mikroskop ile 1000x büyütmede tüm alaşımlar için yapılan incelemelere ait fotoğraflar

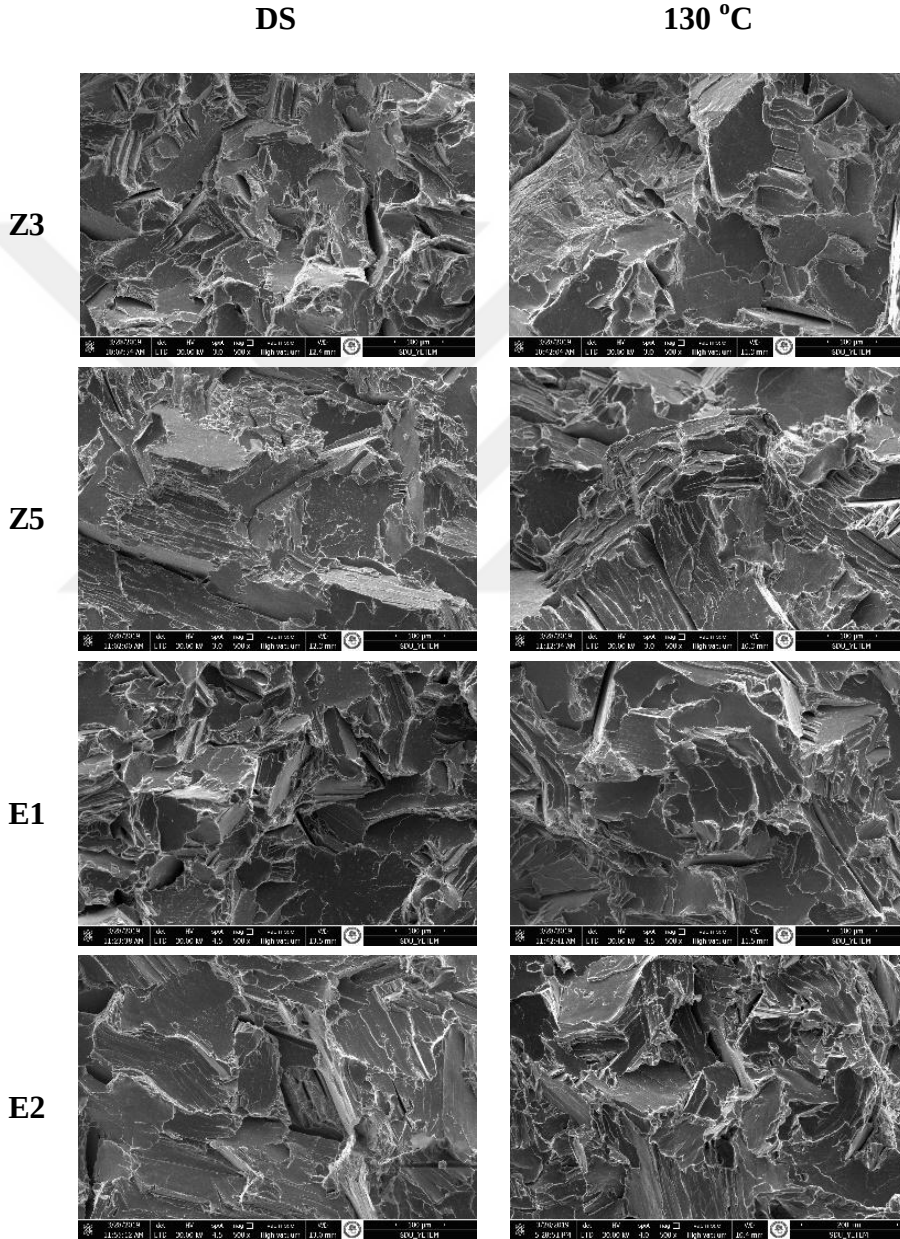
Zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-2 alaşım numunelerinin optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemelerinde ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) analizlerinde de tespit edilmeyen demir partikülleri, ikincil eritme-1 alaşım numuneleri optik mikroskop görüntülerinde tespit edilmiş olup, fotoğraflar üzerinde kırmızı ile işaretlenmiştir. İkincil eritme-1 (E1) alaşım numunelerindeki safsızlık elementi olarak alaşım kompozisyonunda bulunan demir elementi ilk dökümden itibaren, 80°C, 105°C, 130°C 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan tüm deney numunelerde net olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.2. Zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 yüzeyleri parlatılmış, dağlanmış alaşım numunelerinin döküm sonrası (DS) ve 130°C 24 saat yaşlanma sonrasına ait 5000x büyütme SEM görüntüleri

Şekil 5.3'te döküm sonrası ve 130 °C 24 saat yaşlanma sonrasına ait numunelerinin üç nokta eğme testi sonucunda oluşmuş olan kırık yüzeylerine ait SEM görüntüleri bulunmaktadır. Kırık yüzey incelemelerinde, tüm alaşımlarda yapının genelinin düz yüzeyli olduğu ve gevrek kırılma gösterdiği, ancak bazı bölgelerde

kırılmanın sünek karakterde (çukurcuklu) olduğu görülmüştür. Yapılan EDS analizlerinde, sünek kırılma gösteren fazın alüminyumca zengin α (alfa) fazı, gevrek kırılan kısımların ise çinkoca zengin η (eta) fazı bölgeleri olduğu belirlenmiştir. Yaşlandırma işlemi sonrasında kırık yüzeylerde bir farklılık meydana gelmediği görülmüştür. Standart zamak 3 ve zamak 5 alaşımlarının kırık yüzeyleriyle karşılaştırıldığında, E1 ve E2 alaşımlarının kırık yüzeylerinin benzer olduğu anlaşılmıştır. Üç nokta eğme testlerinin sonuçlarında elde edilmiş olan birim şekil değişimi değerlerinin yakın olması, bu sonucu teyit eder niteliktedir.

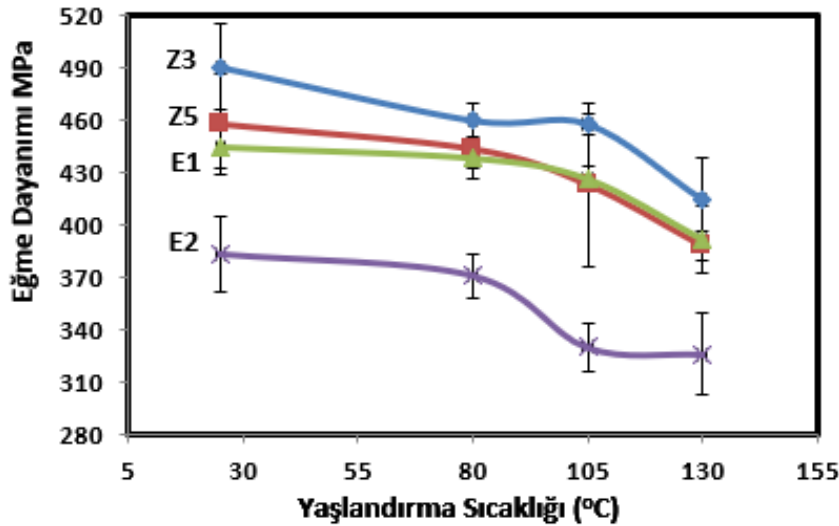


Şekil 5.3. Zamak 3, zamak 5, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşım numunelerinin döküm sonrası (DS) ve 130°C 24 saat yaşlanma sonrasına ait kırık yüzeylerin 500x büyütme SEM görüntüleri

5.2. Üç nokta eğme testlerinin sonuçları

Tüm alaşımların döküm sonrası ve 80, 105 ve 130 °C’de yaşlandırma işlemi sonrası belirlenmiş olan eğme dayanımı değerleri Şekil 5.4’te sunulmaktadır. Eğme dayanımları kıyaslandığında, döküm sonrası ve yaşlandırma sonrasında ikincil eritme külçelerden elde edilmiş olan E1 ve E2 numunelerin daha düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. E1 ve E2 alaşımlarında alüminyum ve magnezyumun standart değerlerin altında olmasının ve yapılarında empürite elementlerin bulunmasının dayanımı olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir. Zamak 3 alaşımı döküm sonrası eğme dayanımı 490MPa, yaşlandırma sonrası dayanımı 414 MPa, zamak 5 alaşımı döküm sonrası eğme dayanımı 457 MPa, yaşlandırma sonrası dayanımı 387 MPa ölçülmüştür. İkincil eritme-1 alaşımı döküm sonrası eğme dayanımı 444 MPa, yaşlandırma sonrası dayanımı 391 MPa, ikincil eritme-2 alaşımı döküm sonrası eğme dayanımı 383 MPa, yaşlandırma işlemi sonrası dayanımı 325 MPa olarak ölçülmüştür.

Şekil 5.4’ten anlaşılabacağı gibi, tüm alaşımlarda artan yaşlanma sıcaklığına bağlı olarak dayanım değerlerinde azalma olmuştur. Literatürde, Pola ve arkadaşları (2015) tarafından %15 Al içeren Zn alaşımı ile ilgili yapılmış olan bir çalışmada benzer sonuçlarla karşılaşılmıştır. Döküm sonrası soğuma sırasında alaşımda oluşmuş olan denge bileşiminden uzak, aşırı doymun fazların varlığı nedeniyle nispeten yüksek dayanım ve sertliğe sahip olabileceği öne sürülmüştür. Yaşlandırma sırasındaki sıcaklık ile birlikte artan difüzyon sonucunda, daha az kafes deformasyonuna sahip, dengeye yakın bileşimlere sahip fazlardan oluşan yapının meydana geldiği ve bu nedenle yapının dayanımının daha düşük olabileceği belirtilmiştir (Pola ve ark, 2015). Bu çalışmada üzerinde çalışılmış olan % 4 Al içeren Zn alaşımlarında, yaşlandırma işlemine bağlı olarak meydana gelen dayanım ve sertlik düşüşünün, benzer şekilde açıklanması mümkündür.



Şekil 5.4. Zamak 5, zamak 3, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşımlarının döküm sonrası ve 80°C, 105°C, 130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası üç nokta eğme dayanım değerleri

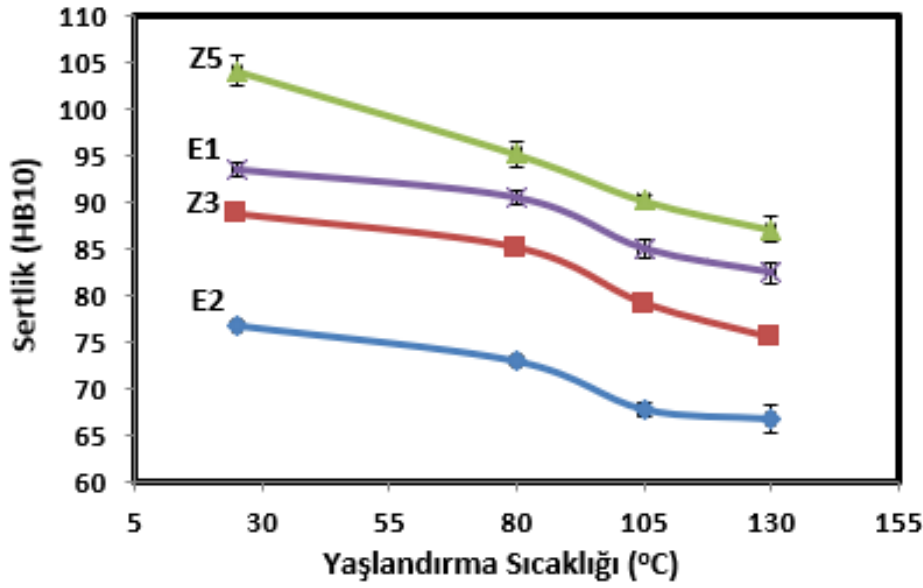
5.3. Sertlik Ölçümleri Sonuçları

Tüm alaşımların döküm sonrası ve 80 °C, 105 °C ve 130 °C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası belirlenmiş olan sertlik değerleri Çizelge 5.1 ve Şekil 5.5’te sunulmaktadır. Döküm sonrası ve farklı sıcaklıklardaki tüm yaşlandırma işlemleri sonrasında sertliği en yüksek olan alaşım, kompozisyonunda %0,90 bakır içeren zamak 5; sertliği en düşük olan alaşım ise, kompozisyonunda %0,0063 bakır içeren E2 olmuştur. E2 alaşımında diğer alaşımlara kıyasla kompozisyonunda yeterince magnezyum ve alüminyumun da olmaması sertliğinin en düşük alaşım olmasında ekstra etken olarak görülmektedir. E1 alaşımında %0,54 bakır oranıyla sertlik değeri en yüksek ikinci alaşım olurken, zamak 3 alaşımı kompozisyonunda %0,080 bakır bulundurduğundan, sertlik değeri en yüksek üçüncü alaşım olmuştur. Artan bakır oranına bağlı olarak sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir. Zamak 3 alaşımı döküm sonrası sertlik değeri 88,73 HB10, 130 °C’de 24 saat yaşlandırma sonrası sertlik değeri 75,38 HB10, zamak 5 alaşımı döküm sonrası sertlik değeri 104,13 HB10, 130 °C’de 24 saat yaşlandırma sonrası sertlik değeri 87,08 HB10 ölçülmüştür. İkincil eritme-1 alaşımı yaşlanma işlemi öncesi sertlik değeri 93,59 HB10, 130 °C’de 24 saat yaşlandırma sonrası sertlik değeri 82,40 HB10, ikincil eritme-2 alaşımı döküm sonrası sertlik değeri 76,80 HB10, 130 °C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değeri 66,53 HB10 olarak ölçülmüştür.

Tüm alaşımlarda artan yaşlanma sıcaklığına bağlı olarak üç nokta eğme dayanım değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Yaşlandırmaya bağlı üç nokta eğme dayanım değerlerindeki azalma ile ilgili belirtilen nedenlerin, sertlik değerlerindeki düşüş için de geçerli olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 5.1. Zamak 5, zamak 3, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşımlarının döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası ortalama sertlik değerleri

Numune No	Ortalama sertlik değerleri (HB10)				Sertlik düşüş oranı (%)
	İlk döküm yaşlanma öncesi	80 °C 24 Saat yaşlanma	105 °C 24 Saat yaşlanma	130 °C 24 Saat yaşlanma	
Z3	88,73	85,10	79,10	75,38	15,00
Z5	104,13	95,18	90,18	87,08	16,3
E1	93,59	90,54	85,00	82,40	11,9
E2	76,80	72,94	67,75	66,53	13,1



Şekil 5.5. Zamak 5, zamak 3, ikincil eritme-1, ikincil eritme-2 alaşımlarının döküm sonrası ve 80°C-105°C-130°C’de 24 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değerleri

Genel anlamda standart zamak 5 ve zamak 3 alaşım numunelerin iş parçası olarak kullanımı durumunda daha düşük emniyet katsayısı ile kullanılabileceği ön görülebilirken, ikincil eritme alaşım kullanımlarında emniyet katsayısının daha yüksek olması gerektiği sonucuna varılabilir. Ayrıca zamak alaşımların olumsuz yönlerinden birisinin, zamana bağlı olarak mekanik özelliklerindeki zayıflama olduğu görülmüştür. Özellikle 100 °C gibi sıcaklıkların bu durumu hızlandırdığı anlaşılmaktadır. İkincil eritme alaşımdan üretilmiş iş parçasının yüksek sıcaklıklara maruz kalacak proseslerden ve kullanım yerlerinden uzak tutulmasında fayda olacağı önerilebilir. Örneğin zamak alaşımlardan üretilen menteşeler, 165°C sıcaklıkta bir saatte elektrostatik toz boya yöntemiyle boyanabilmekte ve hatta bazen elektrik kesintilerinde konveyörün duruşuna bağlı olarak yüksek sıcaklığa daha uzun süre maruz kalabilmektedir. Bu tür durumlarda prodesteki ürünler ikincil eritme alaşım olması durumunda ve emniyet katsayısının standart zamak alaşım seviyesinde tutulması durumlarında iş parçasının belirli bir süre kullanım sonrası yani doğal yaşlanma ile dayanım düşüşüne bağlı hasara uğraması mümkün olabilecektir. Bu sebeple ikincil eritme alaşım seri üretimde kullanırken lotların kimyasal analizleri yapıp uygunsuzluğa neden olan elementlerin riskleri değerlendirildikten sonra uygun iş parçası üretiminde kontrollü olarak, standart alaşım bulunduran potalara, alaşım elementlerinin değerlerini standardın limit değerlerinin altına düşürmeyecek miktarda beslenmesi tavsiye edilebilir. İş parçası tasarımında ikincil eritme zamak alaşımının da kullanılabileceği var sayılarak, ilave emniyet katsayısı ile tasarım yapılmasının gerektiği sonucuna varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Apelian, D., Paliwal, M., Herrschaft, D.C. 1981. Casting with zinc alloys. *Jom*, 33 (11): 12-20.
- ASTM Handbook, Vol 2. 1992. ASM International, The Materials Society, pp. 527, 540.
- Ataç, A., Özyürek, D., ve Gural, A. 2014. Mekanik alaşımlama ile üretilmiş çinko-alüminyum (ZA) alaşımlarının kuru sürtünmeli aşınma davranışlarının incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 2(4), 309-313.
- Ayık, O., Ghosh, M., Sahoo, M. and Smith, R.W. 1987. Solidification and foundry studies of Zn-Al alloys for use in cast to shape applications. Third International Conference of Solidification Processing. Ramour House, Sheffield, U.K. pp. 285-287.
- Aydiner, A. 2002. Silisyum katkısının monotektoid çinko-alüminyum alaşımlarının tribolojik özelliklerine etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 64s.
- Barnhurst, R. J. 1992. Zinc and Zinc Alloys, Vol. 2, ASM International, Ohio.
- Barnhurst, R. J., Gervais, E., ve Bayles, F.D. 1983. Gravity Casting of Zinc--Aluminum Alloys--Solidification Behavior of ZA-8, ZA-12 and ZA-27. (Retroactive Coverage). *Transactions of the American Foundrymen's Society.*, 91, 569-584.
- Baker, H. 1992. Alloys Phase Diagrams, ASM International, Vol. 3, London.
- Buccioli, A. 2012. Aging behaviour of zinc die casting alloy ZP0810 Master thesis, University of Padova, 134s.
- Calayag, T. S. 1984. ZA Casting Alloys Hold Promise for Metalcasting Industry. *Mod. Cast.*, 74(8), 19-22.
- Calayag, T. S. 1986. The Practicality of Using Zinc- Aluminum Alloys for Friction-Type Bearings, 25th. CIM. Conf. of metallurgists, Intl. Symp. On Zinc-Aluminum (ZA) Casting Alloys, Toronto, 305-312.
- Calayag, T., ve Ferres, D. 1982. High-performance, high-aluminum zinc alloys for low-speed bearings and bushings. *SAE transactions*, 2241-2251.
- Dominguez, C., Moreno, Lopez, M.V. and Rios-Jara, D. 2002. The influence of manganese on the microstructure and the strength of a ZA-27 alloy. *Journal of Materials Science*, 37: 5123-5127.
- Gervais, E. 1980. Development of a Family of Zinc Based Foundry Alloys. In: *84th Casting Congress & Exhibition*. American Foundrymen's Society.
- Gervais, E., Loong, C.A. 1984. New ZA alloys in die casting. In: *11th International Pressure Die Casting Conference*. 1-25.
- Goodwin, F. E., Leis, W. and Kallien, L. 2011. Ageing Properties of Zinc Alloys. In *NADCA Congress, Columbus, OH*.

- Goodwin, E. F. and Ponikvar, A. L. 1989. *Engineering Properties of Zinc Alloys*, Third Edition – Revised. U.S.A.
- Gervais, E., Barnhurst, R. J. and Loong, C. A. 1988. An Analysis of Selected Properties of ZA Alloys, *Journals of Metals*, Vol. 37, pp. 43-47.
- Goldak, G. R. and Parr, J. G. 1964. High- Temperature x- ray- diffractometer study of zinc- aluminium system in region 40-75 wt-per cent zinc. *Journal of the Institute of Metals*, 92(8), 230.
- Hekimoğlu, A. 2002. Bakır katkısının çinko -alüminyum alaşımlarının sürtünme ve aşınma özelliklerine etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 66s.
- Handbook, A. S. M. 1992. Volume 3- Alloy phase diagrams. ASM International, Materials Park, p 556 and 1107.
- Houghton, M.E. ve Murray, M.T. 1984. An introduction to Zinc alloys, *Metals Forum*, 6(4):211-255.
- Iwai, Y., Hou, W., Honda, T., ve Yoneda, H. 1996. Wear behaviour of high tensile strength aluminium alloys under dry and lubricated conditions. *Wear*, 196(1-2), 46-53.
- Kallien, L. H. and Leis, W. 2011. Ageing of zinc alloys. *Giessereiforschung including CD ROM*, 63(1), 2.
- Kurnaz, S. C. 2003. Production of saffil fibre reinforced Zn-Al (ZA 12) based metal matrix composites using infiltration technique and study of their properties. *Materials Science and Engineering: A*, 346(1-2), 108-115.
- Kubel, E. J. 1987. Expanding horizons for ZA alloys. *Advanced materials & processes*, 132(1), 51-57.
- Leis, W. and Kallien, L. 2013. Ageing and creep of Zinc-Diecast alloys, Int. Zinc Diecasting Conference, Tradition & Innovation, Praha.
- Marczak, R. J. and Ciach, R. 1973. Tribological properties of the concentrated Al-Zn alloys. In: *Proceedings of the 1st Europe Tribology Congress, London*. p. 223-227.
- Marder, A. R. 2000. The metallurgy of zinc-coated steel. *Progress in materials science*, 45(3), 191-271.
- Men, H. 2013. Çinko- alüminyum alaşımının mikro yapısının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 70s.
- Mihaichuk, W. and Bess, M. L. 1986. The ZA Die Casting Alloys, *Society of Automotive Engineers*, China, paper no 860556, 560-568.
- Montesano, L., Pola, A., Gelfi, M., and La Vecchia, G. M. 2015. Wear Behavior of Zn-15Al-1Cu-Mg Alloy after Aging. *Procedia Engineering*, 109, 228-233.
- Olesinski, R. W. and Abbaschian, G. J. 1985. The Si-Zn (silicon-zinc) system. *Journal of Phase Equilibria*, 6(6), 545-548.

- Polat, B.D. 2011a. Zamak Alaşımı Nedir, Zamaktan Nasıl Para kazanılır. Metalurjisi Dergisi, 159: 34-45.
- Polat, B.D. 2011b. Zamak Dökümde Sıkça Karşılaşılan Hatalar, Metalurjisi Dergisi, 159: 46-54
- Pola, A., Roberti, R., ve Montesano, L. 2010. New zinc alloys for SEMisolid applications. *International Journal of Material Forming*, 3(1), 743-746.
- Pola, A., Gelfi, M., La Vecchia, G. M., and Montesano, L. 2015. On the aging of a hyper-eutectic Zn-Al alloy. *La Metallurgia Italiana*, 4, 37-41.
- Pürçek, G. 2000. Çinko-Alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların statik ve dinamik yük altındaki tribolojik özelliklerin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 81s.
- Pürçek, G. 1994. Çinko-Alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların tribolojik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 48 s.
- Rachev, P., Terziev, L., Lecomte-Beckers, J. and Wegria, J. 1991. Elektron microscopical investigations of hexagonal phase precipitation in Zn 12 wt % Al wt % Cu and Zn27 wt% Cu alloys,. *Acta Metallurgica et Materialia*, 39 (9): 2177-2182.
- Sahar, F. 2007. *Çelik tel takviyeli zamak 5 alaşımının mekanik özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, 89s.
- Savaskan, T. and Murphy, S. 1987. Mechanical properties and lubricated wear of Zn-25Al-based alloys. *Wear*, 116(2), 211-224.
- Savaskan, T. ve Pürçek, G. 2000. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların ve Bu Alaşımlardan Üretilen Kaymalı Yatakların Aşınma Özellikleri, *Environ Sci*, 24: 25-34.
- Türk, A. 1996. Çinko-alüminyum esaslı ZA-8 alaşımında alaşım elementlerinin mekanik özelliklere ve mikro yapıya etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 169s.
- Uğur, A. 2009. Basınçlı döküm yöntemiyle üretilen Zn-AL esaslı alaşımlarının mikro yapı ile mekanik özelliklerine alaşım elementlerinin etkisi. Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 120 s.
- Uhlig, H.H. and Revie, R.W. 1985. Magnesium and magnesium alloys, Corrosion and Corrosion Control, an Introduction to Corrosion Science and Engineering, 4th Ed., *Wiley-Interscience*, pp. 399-405.
- Wu, Z., Sandlöbes, S., Wu, L., Hu, W., Gottstein, G., Korte-Kerzel, S. 2016. Mechanical behaviour of Zn–Al–Cu–Mg alloys: Deformation mechanisms of as-cast microstructures. *Materials Science and Engineering: A*, 651, 675-687.
- Anonim 1: <http://www.nyrstarturkiye.com/zamak-kullanım-alanlari.html> [son erişim tarihi 23.2.2019].

Anonymous 1: <https://www.nyrstar.com/~media/Files/N/Nyrstar/commercial/zinc-and-lead-metal/zinc/technicaldatasheet-zamak-overpelt-2017.pdf> [Son erişim tarihi 23.2.2019].



ÖZGEÇMİŞ

İSMAİL AKTUNA

ismailaktuna07@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2015-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans 2009-2013	Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Kalite Kontrol Şefi 2014-Devam Ediyor	Ado Grup, Accado Kilit Sistemleri A.Ş.
--	---