



**DÖKÜM VE EKSTRÜZYON SONRASI
YAŞLANDIRILMIŞ CA, SR, SN VE ZN KATKILI
MG-Y-ND (WE43) ALAŞIMLARININ TRİBOLOJİK
VE KOROZİF ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Esmâ KESKİN

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Yunus TÜREN**

**DÖKÜM VE EKSTRÜZYON SONRASI YAŞLANDIRILMIŞ CA, SR, SN VE
ZN KATKILI MG-Y-ND (WE43) ALAŞIMLARININ TRİBOLOJİK VE
KOROZİF ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Esmâ KESKİN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Yunus TÜREN**

**KARABÜK
Haziran 2022**

Esmâ KESKİN tarafından hazırlanan “DÖKÜM VE EKSTRÜZYON SONRASI YAŞLANDIRILMIŞ CA, SR, SN VE ZN KATKILI MG-Y-ND (WE43) ALAŞIMLARININ TRİBOLOJİK VE KOROZİF ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Yunus TÜREN

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/06/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Yunus TÜREN (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Esmâ KESKİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DÖKÜM VE EKSTRÜZYON SONRASI YAŞLANDIRILMIŞ CA, SR, SN VE ZN KATKILI MG-Y-ND (WE43) ALAŞIMLARININ TRİBOLOJİK VE KOROZİF ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Esmâ KESKİN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Yunus TÜREN

Haziran 2022, 112 sayfa

Bu çalışmada, düşük basınçlı döküm yöntemi ile üretilen Mg- Y- Nd sistemli (WE43) magnezyum alaşımlarına %0.5 ve %1 oranlarında Ca, Sr, Sn ve Zn alaşım elementleri katılmıştır. Üretilen bu alaşımlara döküm ve ekstrüzyon sonrası yaşlandırma işlemi uygulanmıştır ve karşılaştırmalı olarak faz morfolojisi, sertlik, aşınma ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Alaşımlar, SF₆+CO₂ koruyucu gaz kullanılarak 775°C pota sıcaklığında düşük basınçlı bir döküm ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Alaşımlama işlemi tamamlandıktan sonra eriyikler 2 bar basınç altında metal döküm kalıbına dökülerek numuneler elde edilmiştir. Magnezyum alaşımlarının üretimi esnasında oluşabilecek segregasyonları en aza indirmek ve alaşım elemanlarının homojen dağılımı sağlamak için ekstrüzyon işleminden önce homojenizasyon işlemi (525 °C, 8 saat) yapılır. Ekstrüzyon işlemi 350°C sıcaklığında, 30 mm yüksekliğinde ve 32 mm

apındaki numunelerin 16:1 ekstrüzyon oranı ve 0,3 mm/sn. zımba hızında preslenmesi ile yapılmıştır. Döküm ve ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilen magnezyum numuneleri çözeltiliye alma (525°C, 8 saat) ve suni yaşlandırma (250°C, 32 saat) olmak üzere iki aşamadan meydana gelen yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra döküm ve ekstrüzyon sonrası yaşlandırılmış numunelere mikroyapı, aşınma ve korozyon deneyleri yapılmıştır.

Döküm sonrası yaşlandırılmış katkısız WE43'te yapılar α -Mg tanelerinden oluşmuştur ve çökelme sertleşmesi sonucu tane yapıları büyük ve çökeltilerinin tane içi ve tane sınırlarındadır. Alaşım elementleri katkısı ile sırasıyla mikroyapı; kalsiyum ile tane inceltici bir şekilde kendini göstermiştir ve stronsiyum ile tanelerde büyüme ve tane yüzeylerinde dentritik yapılar gözlemlenmiştir. Kalay katkısı ile Sn_3Y_5 intermetalikliği tane içleri ve tane yüzeylerinde dentritik yapı formunda görülmektedir. Artan çinko katkısı ile tanelerdeki büyüme daha düzenli ve sıkı bir faz morfolojisini almıştır. %1 Zn katkısı ile Mg-Zn-Y intermetalikleri α - Mg fazlarını tane sınırları boyunca kuşatmıştır. Ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi uygulanması durumunda tüm alaşımlarda ekstrüzyon yönünde tane yapıları daha küçük, eş eksenlidir ve intermetalikler tane sınırlarında birikmiştir. Sertlikteki artış hem alaşım elementleri hem de çökelme sertleşmesi ile olmuştur. Korozyon sonuçlarına göre ekstrüzyon ardından uygulanan çökelme sertleşmesi durumunda ağırlık kayıpları döküm sonrası çökelme işlemine kıyasla daha azdır. Bununla birlikte, en iyi korozyon davranışını çinkolu alaşım, en kötüsünü kalsiyumlu alaşım göstermiştir. Aşınma sonuçlarına göre ekstrüzyon ardından uygulanan çökelme sertleşmesi durumunda ağırlık kayıpları döküm sonrası çökelme işlemi durumuna göre daha azdır ve aşınma sonuçları sertlik sonuçlarına paralel olarak gittiği saptanılmıştır ve çinko katkılı alaşımın diğer alaşım elementlerine kıyasla aşınma direncinin daha iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Magnezyum, nadir toprak elementleri, döküm, ekstrüzyon, yaşlandırma, mikroyapı, aşınma, korozyon.

Bilim Kodu : 91518

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE TRIBOLOGIC AND CORROSIVE PROPERTIES OF CA, SR, SN AND ZN ADDITIVED MG-Y-ND (WE43) ALLOYS AGED AFTER CASTING AND EXTRUSION

Esmâ KESKİN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Yunus TÜREN

June 2022, 112 pages

In this study, 0.5% and 1% Ca, Sr, Sn and Zn alloying elements were added to magnesium alloys with Mg-Y-Nd system (WE43) produced by low pressure casting method. The aging process after casting and extrusion was applied to these produced alloys and their phase morphology, hardness, wear and corrosive properties were examined comparatively. The alloys were made in a low pressure casting unit at a crucible temperature of 775°C using SF₆+CO₂ shielding gas. After the alloying process was completed, the samples were obtained by pouring the melts into the metal casting mold under 2 bar pressure. In order to minimize the segregations that may occur during the production of magnesium alloys and to ensure a homogeneous distribution of alloy elements, homogenization process (525 °C, 8 hours) is performed before the extrusion process. The extrusion process is performed at 350°C, by pressing the 30 mm high and 32 mm diameter samples with 16:1 extrusion ratio and 0.3 mm/sec punch speed. The

precipitation hardening heat treatment, which consists of two stages, namely solution (525°C, 8 hours) and artificial aging (250°C, 32 hours), is applied to the as cast and extruded magnesium samples.

Then, microstructure, wear and corrosion tests were performed on the aged specimens after casting and extrusion. In undoped WE43 aged after casting, the structures are composed of α -Mg grains and as a result of precipitation hardening, the grain structures are large and within the grain and grain boundaries of the precipitates. With the contribution of alloying elements, respectively, the microstructure: It showed itself as a grain refiner with calcium and grain growth and dendritic structures on grain surfaces were observed with strontium. With the addition of tin, Sn_3Y_5 intermetallic is seen in the form of dendritic structure in grain interiors and grain surfaces. With the increasing zinc contribution, the growth of the grains took a more regular and tight phase morphology. With 1% Zn addition, Mg-Zn-Y intermetallics surrounded the α -Mg phases along grain boundaries. In the case of aged after extrusion, the grain structures in all alloys in the direction of extrusion were smaller, equiaxed, and intermetallics accumulated at grain boundaries. The increase in hardness was with both alloying elements and aging process. According to the corrosion results, in the case of aging applied after extrusion, the weight losses are less compared to the aging after casting. However, zinc alloy showed the best corrosion behavior and calcium alloy showed the worst. According to the wear results, in the case of aged applied after extrusion, the weight losses are less than in the case of aged after casting, and it has been determined that the wear results go in parallel with the hardness results, and it has been observed that the wear resistance of the zinc added alloy is better than the other alloying elements.

Key Word : Magnesium, rare earth elements, casting, extrusion, aging, microstructure, wear, corrosion.

Science Code : 91518

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Yunus TÜREN'e; tezin deneysel çalışmalarında tüm laboratuvar imkanlarını kullanımına sunan, bildiklerini aktarmaktan hiçbir zaman kaçınmayan ve deney sonuçlarının yorumlanmasında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya; her zaman teknik desteğini sunan Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Müdürü Prof. Dr. Yavuz SUN'a; çalışmam sırasında benimle ilgilenen, bilgilerini paylaşan, yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. İsmail ESEN'e; deneysel çalışmalarımın yürütülmesinde ban yardımcı olan Dr. Levent ELEN'e ve malzemelerimin dökümü, laboratuvar testlerinde büyük emeği olan TÜBİTAK Bilimsel Programlar Uzmanı Dr. Yasin SUBAŞI'na ve ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca, maddi ve manevi desteklerini bir an olsun esirgemeyen ve en zor zamanlarda yanımda olan anneme, babama, ablama ve kardeşime tüm kalbimle sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisansım boyunca gerek deneysel konularda gerekse manevi olarak her zaman yanımda olan arkadaşlarım Yük. Müh. Bengü AKIN, Yük. Müh. Ece DURAN, Yük. Müh. Antar ALALIALKHALIL, Yük. Müh. Hasan DURMAZ, Uzm. Berke SARIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu tez çalışmasını KBUBAP-21-YL-030 nolu proje kapsamında destekleyen Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
MAGNEZYUM VE MAGNEZYUM ALAŞIMLARI.....	4
2.1. MAGNEZYUM.....	4
2.2. MAGNEZYUM ALAŞIMLARI.....	8
2.3. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ TASARIMI	9
2.3.1. Magnezyumun Katı Çözelti Alaşımı	9
2.3.2. Magnezyumun Çökelti Sertleşmesi	10
2.3.3. Magnezyum Bazlı Alaşım Sistemleri	14
2.3.3.1. Magnezyum- Alüminyum Bazlı Alaşımalar.....	14
2.3.3.2. Magnezyum- Çinko Bazlı Alaşımalar	15
2.3.3.3. Magnezyum- Kalay Bazlı Alaşımalar	17
2.3.3.4. Magnezyum- Zirkonyum Bazlı Alaşımalar	19
2.3.3.5. Magnezyum- Kalsiyum Bazlı Alaşımalar	20
2.3.3.6. Magnezyum- Stronsiyum Bazlı Alaşımalar.....	22
2.3.3.7. Magnezyum- RE Bazlı Alaşımalar.....	22
2.4. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜM YÖNTEMLERİ.....	26

	<u>Sayfa</u>
2.4.1. Yüksek Basıncılı Döküm	27
2.4.2. Gravite Döküm	29
2.4.3. Düşük Basıncılı Döküm.....	29
2.5. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ EKSTRÜZYON İŞLEMLERİ	30
2.5.1. Ekstrüzyon Hızı	31
2.5.2. Ekstrüzyon Sıcaklığı.....	32
2.5.3. Ekstrüzyon Oranı	32
BÖLÜM 3	33
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
3.1. ALAŞIMLARIN ÜRETİMİ.....	33
3.1.1. Döküm Yöntemi	33
3.1.2. Homojenleştirme Isıl İşlemi	34
3.1.3. Ekstrüzyon İşlemi	34
3.1.4. Çökelme Sertleşmesi Isıl İşlemi	35
3.2. ALAŞIMLARIN KARAKTERİZASYONU	36
3.2.1. Metalografik İşlemler ve Mikroyapısal Karakterizasyonu	36
3.2.2. XRD Analizi	37
3.2.3. XRF Analizi.....	37
3.3. SERTLİK TESTİ.....	37
3.4. KOROZYON TESTİ.....	37
3.4.1. Daldırma Korozyonu Testi	37
3.4.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Korozyon Testi.....	38
3.5. AŞINMA TESTİ	39
BÖLÜM 4	40
DENEYSEL SONUÇLAR	40
4.1. ALAŞIMLARIN KARAKTERİZASYON SONUÇLARI	40
4.1.1. XRF Analizi (Kimyasal Kompozisyon) Sonuçları	40
4.1.2. XRD Analizi Sonuçları.....	40
4.1.3. Mikroyapısal Karakterizasyonların Sonuçları	43

Sayfa

4.1.3.1. Döküm Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımın OM Analizleri	43
4.1.3.2. Ekstrüzyon Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımın OM Analizleri.....	47
4.1.3.3. Döküm Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımın SEM ve EDX Analizleri	51
4.1.3.4. Ekstrüzyon Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımın SEM ve EDX Analizleri.....	56
4.2. SERTLİK TESTİ SONUÇLARI.....	61
4.3. KOROZYON TESTİ SONUÇLARI.....	64
4.3.1. Daldırma Korozyonu Testi Sonuçları.....	64
4.3.1.1. Döküm ve Ekstrüzyon Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımın Daldırma Korozyonu Testi Makro Yüzey Görüntüleri.....	68
4.3.1.2. Döküm Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımın Daldırma Korozyonu Testi SEM ve EDX Yüzey Analizleri.....	72
4.3.1.3. Ekstrüzyon Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımın Daldırma Korozyonu Testi SEM ve EDX Yüzey Analizleri.....	76
4.3.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Korozyonu Testi Sonuçları	80
4.4. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI	86
4.4.1. Döküm ve Ekstrüzyon Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımın Aşınma Testi Makro Yüzey Görüntüleri	89
4.4.2. Döküm Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımın Aşınma Testi SEM ve EDX Yüzey Analizleri.....	93
4.4.3. Ekstrüzyon Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımın Aşınma Testi SEM ve EDX Yüzey Analizleri	96
BÖLÜM 5	100
GENEL SONUÇLAR.....	100
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	112

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Altıgen sıkı paketlenmiş (HCP) kristal kafesin ve ana magnezyum düzlemlerinin şematik açıklaması.....	6
Şekil 2.2. (a) Çeşitli mühendislik malzemeleri için ρ - E (b) Ashby diyagramına göre σ_y - E mukayesesi.....	7
Şekil 2.3. Elementlerin 298,15 K'de optimum çözünürlükleri.....	9
Şekil 2.4. Magnezyumun alaşımlamaya yönelik davranışı.....	10
Şekil 2.5. (a) Sürekli çökeltme ve (b) aşırı doymuş katı çözültiden süresiz çökeltme sırasında çökeltme ürününü çevreleyen konsantrasyon profillerinin şematik gösterimi	11
Şekil 2.6. Çökeltilerin hacim fraksiyonunda partikül boyutundaki artış için güçlendirme artışının şematik bir gösterimi.	12
Şekil 2.7. Çeşitli yönelimlere sahip çökeltiler için belirli bir hacim fraksiyonu için çökeltilerin sayı yoğunluğunun değiştirilmesinin etkisi.	13
Şekil 2.8. Mg- Al sistemli faz diyagramı.....	14
Şekil 2.9. AZ91'in 200 °C 16 saat izotermal yaşlanma ile Mg ₁₇ Al ₁₂ bazal çökeltilerinin mikroyapısı (a) < 1120 >'a paralel ve (b) < 0001 > magnezyum yönlerine paralel.	15
Şekil 2.10. Mg- Zn sistemli faz diyagramı.....	16
Şekil 2.11. Mg-%1,8 Zn alaşımının 25–185°C sıcaklık aralığında çökeltme sertleşmesi davranışı.	16
Şekil 2.12. Mg-%2,4 Zn alaşımının 160°C'de 120 saat boyunca izotermal çökeltme sertleşmesi.....	17
Şekil 2.13. Mg- Sn sistemli faz diyagramı.....	18
Şekil 2.14. (a) Zn ilaveli Mg- %2,2 Sn alaşımının 200 °C'deki çökeltme sertleşmesi davranışı, (b, d) Mg- %2,2 Sn'nin çökelti mikroyapıları, (c, e) Mg- %2,2 Sn- %0,5 Zn alaşımının pik sertliğe kadar yaşlandırılmış hali.	19
Şekil 2.15. Mg- Zr sistemli faz diyagramı.	20
Şekil 2.16. Mg- Ca sistemli faz diyagramı.....	21
Şekil 2.17. Zn ilaveli Mg–Ca alaşımının 200 °C'deki çökeltme sertleşmesi mikroyapısı (a) Mg–0,3Ca ve (b) Mg–0,3Ca–0,6Zn.	21
Şekil 2.18. Mg- Sr sistemli faz diyagramı.....	22
Şekil 2.19. Mg-Nd-Y sistemli alaşımların 500°C'deki faz diyagramının izotermal kesiti.....	24

Şekil 2.20. Yüksek basınçlı döküm yöntemleri (a) soğuk kamara tipi ve (b) sıcak kamara tipi.	28
Şekil 2.21. (a) Gravite döküm yöntemleri ve (b) döküm ağırlığı- hız değişimi.....	29
Şekil 2.22. Düşük basınçlı döküm yöntemi.	30
Şekil 2.23. Direkt ekstrüzyon yöntemi.....	30
Şekil 2.24. Direkt ekstrüzyon yönteminin sınırları.	31
Şekil 3.1. Ekstrüzyon işleminin yapıldığı hidrolik pres.....	35
Şekil 3.2. Çökeltme sertleştirme ısıl işlemi uygulama kademeleri.	36
Şekil 3.3. Potansiyodinamik polarizasyon korozyon testinin sistemi.....	38
Şekil 3.4. (a) Block on ring aşınma cihazı ve (b) çalışma prensibi.....	39
Şekil 4.1. WE43, WE43%0.5 Ca ve WE43%1 Ca alaşımlarının XRD sonuçları....	41
Şekil 4.2. WE43, WE43%0.5 Sr ve WE43%1 Sr alaşımlarının XRD sonuçları.	42
Şekil 4.3. WE43, WE43%0.5 Sn ve WE43%1 Sn alaşımlarının XRD sonuçları. ...	42
Şekil 4.4. WE43, WE43%0.5 Zn ve WE43%1 Zn alaşımlarının XRD sonuçları....	43
Şekil 4.5. WE43, WE43%0.5 Ca ve WE43%1 Ca alaşımlarının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda OM analizleri.....	44
Şekil 4.6. WE43, WE43%0.5 Sr ve WE43%1 Sr alaşımlarının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda OM analizleri.....	45
Şekil 4.7. WE43, WE43%0.5 Sn ve WE43%1 Sn alaşımlarının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda OM analizleri.....	46
Şekil 4.8. WE43, WE43%0.5 Zn ve WE43%1 Zn alaşımlarının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda OM analizleri.....	47
Şekil 4.9. WE43, WE43%0.5 Ca ve WE43%1 Ca alaşımlarının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda OM analizleri.....	48
Şekil 4.10. WE43, WE43%0.5 Sr ve WE43%1 Sr alaşımlarının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda OM analizleri.....	49
Şekil 4.11. WE43, WE43%0.5 Sn ve WE43%1 Sn alaşımlarının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda OM analizleri.....	50
Şekil 4.12. WE43, WE43%0.5 Zn ve WE43%1 Zn alaşımlarının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda OM analizleri.....	51
Şekil 4.13. Takviyesiz WE43 alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.	52
Şekil 4.14. WE43%1 Ca alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.	53
Şekil 4.15. WE43 %1 Sr alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.	54

Şekil 4.16. WE43% 1 Sn alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.	55
Şekil 4.17. WE43%1 Zn alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.	56
Şekil 4.18. Takviyesiz WE43 alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.	57
Şekil 4.19. WE43 %1 Ca alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.	58
Şekil 4.20. WE43 %1 Sr alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.	59
Şekil 4.21. WE43 %1 Sn alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.	60
Şekil 4.22. WE43 %1 Zn alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.	61
Şekil 4.23. WE43, WE43% 0.5 Ca ve WE43% 1 Ca alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda sertlik sonuçları. ...	62
Şekil 4.24. WE43, WE43% 0.5 Sr ve WE43% 1 Sr alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda sertlik sonuçları. ...	62
Şekil 4.25. WE43, WE43% 0.5 Sn ve WE43% 1 Sn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda sertlik sonuçları. ...	63
Şekil 4.26. WE43, WE43% 0.5 Zn ve WE43% 1 Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda sertlik sonuçları. ...	63
Şekil 4.27. WE43 ve WE43 %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumundaki sertlik sonuçları.	64
Şekil 4.28. WE43, WE43% 0.5 Ca ve WE43% 1 Ca alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda daldırma korozyonu sonuçları.	65
Şekil 4. 29. WE43, WE43% 0.5 Sr ve WE43% 1 Sr alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda daldırma korozyonu sonuçları.	66
Şekil 4.30. WE43, WE43% 0.5 Sn ve WE43% 1 Sn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda daldırma korozyonu sonuçları.	66
Şekil 4.31. WE43, WE43% 0.5 Zn ve WE43% 1 Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda daldırma korozyonu sonuçları.	67
Şekil 4.32. WE43 ve WE43 %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda 24 saat sonunda daldırma korozyonu sonuçları.	68

Şekil 4.33. WE43, WE43% 0.5 Ca ve WE43% 1 Ca döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon makro yüzey görüntüleri.	69
Şekil 4.34. WE43, WE43% 0.5 Sr ve WE43% 1 Sr döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon makro yüzey görüntüleri.	70
Şekil 4.35. WE43, WE43% 0.5 Sn ve WE43% 1 Sn döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon makro yüzey görüntüleri.	71
Şekil 4.36. WE43, WE43% 0.5 Zn ve WE43% 1 Zn döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon makro yüzey görüntüleri.	72
Şekil 4.37. Takviyesiz WE43 alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.	73
Şekil 4.38. WE43 %1 Ca alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.	74
Şekil 4.39. WE43 %1 Sr alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.	74
Şekil 4.40. WE43 %1 Sn alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.	75
Şekil 4.41. WE43 %1 Zn alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.	76
Şekil 4.42. Takviyesiz WE43 alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.	77
Şekil 4.43. WE43 %1 Ca alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.	78
Şekil 4.44. WE43 %1 Sr alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.	78
Şekil 4.45. WE43 %1 Sn alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.	79
Şekil 4.46. WE43 %1 Zn alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.	80
Şekil 4.47. WE43, WE43 %0.5 Ca ve WE43 %1 Ca alaşımının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda Tafel eğrileri.	81
Şekil 4.48. WE43, WE43 %0.5 Sr ve WE43 %1 Sr alaşımının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda Tafel eğrileri.	81
Şekil 4.49. WE43, WE43 %0.5 Sn ve WE43 %1 Sn alaşımının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda Tafel eğrileri.	82
Şekil 4.50. WE43, WE43 %0.5 Zn ve WE43 %1 Zn alaşımının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda Tafel eğrileri.	82
Şekil 4.51. WE43, WE43 %0.5 Ca ve WE43 %1 Ca alaşımının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda I_{corr} ve E_{corr} değerleri.	83

Şekil 4.52. WE43, WE43 %0.5 Sr ve WE43 %1 Sr alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda I_{corr} ve E_{corr} değerleri.	84
Şekil 4.53. WE43, WE43 %0.5 Sn ve WE43 %1 Sn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda I_{corr} ve E_{corr} değerleri.	84
Şekil 4.54. WE43, WE43 %0.5 Zn ve WE43 %1 Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda I_{corr} ve E_{corr} değerleri.....	85
Şekil 4.55. WE43, WE43 %0.5 Ca ve WE43 %1 Ca alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma ağırlık kayıpları sonuçları.....	87
Şekil 4.56. WE43, WE43 %0.5 Sr ve WE43 %1 Sr alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma ağırlık kayıpları sonuçları.....	87
Şekil 4.57. WE43, WE43 %0.5 Sn ve WE43 %1 Sn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma ağırlık kayıpları sonuçları.....	88
Şekil 4.58. WE43, WE43 %0.5 Zn ve WE43 %1 Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma ağırlık kayıpları sonuçları.....	88
Şekil 4.59. WE43 ve WE43 %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma hızları sonuçları.	89
Şekil 4.60. WE43, WE43 %0.5 Ca ve WE43 %1 Ca alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma yüzey görüntüleri.....	90
Şekil 4.61. WE43, WE43 %0.5 Sr ve WE43 %1 Sr alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma yüzey görüntüleri.....	91
Şekil 4.62. WE43, WE43 %0.5 Sn ve WE43 %1 Sn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma yüzey görüntüleri.....	92
Şekil 4.63. WE43, WE43 %0.5 Zn ve WE43 %1 Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma yüzey görüntüleri.....	93
Şekil 4.64. Takviyesiz WE43 alaşımının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.	94
Şekil 4.65. WE43 %1 Ca alaşımının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.	94
Şekil 4.66. WE43 %1 Sr alaşımının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.	95

Sayfa

Şekil 4.67. WE43 %1 Sn alaşımının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.	95
Şekil 4.68. WE43 %1 Zn alaşımının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.	96
Şekil 4.69. Takviyesiz WE43 alaşımının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.....	97
Şekil 4.70. WE43 %1 Ca alaşımının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.	98
Şekil 4.71. WE43 %1 Sr alaşımının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.	98
Şekil 4.72. WE43 %1 Sn alaşımının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.	99
Şekil 4.73. WE43 %1 Zn alaşımının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.	99

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Saf magnezyumun temel olarak en mühim özellikleri.	5
Çizelge 2.2. Magnezyum alaşım elementlerinin ASTM kodları.....	8
Çizelge 2.3. Magnezyumda maksimum ve minimum katı çözünürlüğe sahip Mg–RE sisteminin katı çözünürlükleri.	23
Çizelge 4.1. Üretilen alaşımların XRF analizi.	40

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Mg	: Magnezyum
Y	: İtiryum
Nd	: Neodimyum
Ca	: Kalsiyum
Sr	: Stronsiyum
Sn	: Kalay
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkonyum
Å	: Ångström
K	: Kelvin
C	: Celsius
E_{oc}	: Açık Devre Potansiyeli
I_{corr}	: Korozyon Akım Potansiyeli
E_{corr}	: Korozyon Potansiyeli

KISALTMALAR

CST	: Casting (Döküm)
EXT	: Extrusion (Ekstrüzyon)
PH	: Precipitation Hardening (Çökeltme Sertleşmesi)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
FCC	: Face Centered Cubic (Yüzey Merkezli Kübik)
BCC	: Body Centered Cubic (Hacim Merkezli Kübik)
HCP	: Hexagonal Close-Packed (Hegzagonal Sıkı Paket)
EDX	: Energy Dispersive X-Ray (Enerji Yayılımlı X-Işını)

XRD : X-Ray Diffractometer (X-Işını Difraktometresi)

OM : Optical Microscope (Optik Mikroskop)

SEM : Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)

XRF : X-Ray Fluorescence (X-Işını Floresans)

ağ.% : Ağrılıkça Yüzde

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bilimin günbegün gelişimi ile teknolojiye artışı vasıtasıyla doğan olanaklar uygulama alanlarında bir yükseliş oluşturarak evren tekamülünü oluşturur. Gelişim gösteren bir evren yükselen popülasyonun gereksinimlerine paralel koşullarda olmalıdır. Bundan ötürü doğan bu gereksinimleri yerine getirebilecek daha randımanlı, daha seri ve daha çok alıcı isteğine bağlı donanımlara (opsiyonel) sahip teknolojik materyallere ihtiyaç vardır ve tüm bunların yanı sıra bütün bunları gerçekleştirirken ekolojik dengede bir aksatma ve kalıcı bir deformasyon meydana getirmeden bu gereksinimlerin karşılanması gerekmektedir. Hafif malzemelerden meydana getirilen materyaller gerek görüntü olarak etkileyici gerekse enerji sarfiyatının indirgenmesiyle kullanıldıkları ortam ve koşullarda optimum başarı meydana getirmeleri bakımından daha çok ilgiyi üzerlerine toplamıştır. Randımanın öncelik olduğu ve ağırlığı bin kiloda olan gemi, tren, uçak ve otomobillerde yakıt tasarrufunun yanında güneş, hidrojen ve elektrik gibi enerji kaynaklarında yararlanılan hafif malzemelerin ekolojik ortamı ve ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyebilecek gazların salınımını indirgemesinden ötürü işletmelerde daha alternatif hafif malzemelere gidilmiştir [1–3]

Yapısal malzeme olarak düşük yoğunluğu (1.74 g/cm^3) nedeniyle magnezyum (Mg) ve alaşımları günümüzde giderek daha popüler hale gelmiştir. Magnezyum, diğer avantajlı özelliklerinin yanı sıra yüksek özgül mukavemeti, olağanüstü sönümleme kabiliyeti ve mükemmel dökülebilirliği nedeniyle çeşitli mühendislik uygulamaları için güçlü bir rakip haline gelmiştir [4,5]. Hafiflik avantajları nedeniyle magnezyum alaşımları, otomotiv, havacılık ve elektronik ürün imalat sektörlerinde çelik, alüminyum alaşımları ve mühendislik plastiklerinin yerini almaya başlamıştır. Magnezyum gibi düşük ağırlıklı metaller, özellikle verimli yakıt tüketiminin ve emisyonların azaltılmasının araç tasarımında en önemli öncelikler olduğu otomotiv endüstrisinde son 20 yılda kullanımda önemli bir artış görmektedir [6].

Magnezyum ve alaşımlarının geliştirilmesi adına yapılan çalışmaların neticesinde nadir toprak elementleri (RE) eklenmesinin hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda yapı ve özellikler üzerinde dikkat çeken etkileri ile bilimsel ve endüstriyel ilgi uyandırmıştır [7–9]. Bu etkiler nadir toprak elementlerinin eklenmesi ile alışımda oluşan saflaşma, tanelerin rafine edilmesi, yapıyı etkileyen çökeltilerin yönelimi ve yeni oluşan intermetaliklerle oluşmuştur [10,11]. Buna ek olarak magnezyuma ilave edilen nadir toprak elementleri sonucunda sert ötektik faz meydana gelerek alaşım mukavemetinde bir artış oluşturarak magnezyumun deforme edilebilirliğinde de gelişim meydana getirir [12–15]. Mg- Y- Nd sistemine sahip WE43 şekillendirilebilen dizisi döküm yöntemiyle üretimi sağlanan ve içerisinde bulunan alaşım elementlerinin varlığının dayanım ve sünekliği artırması ile ticari uygulamaların yanı sıra uçak motorları, helikopter vites kutuları ve yüksek performans gerektiren araçların kullanımında ümit verici olmuştur [16–20]. α - Mg matrisli WE43 alaşımının içeriğinde bulunan itriyum (W) ve nadir toprak elementleri (E) ile sürünme mukavemetinin 300°C'ye çıkmasının yanı sıra nadir toprak elementlerinin varlığının kristallografik dokuyu (tekstür) azalttığı ve alaşımı deformasyon karşıtı yaparak WE43 alaşımını daha inovatif ve dayanıklı hale getirmektedirler [13–15,21].

Şekillendirilebilir Mg- Y- Nd sistemli WE43 magnezyum alaşımında var olan α - Mg matrisinin mekanik ve tribolojik özelliklerinin daha iyi bir hale getirmede katı çözümleri sertleşmesi ve çökelti sertleşmesi (yaşlandırma) etkili olmaktadır [22]. Bu mekanizmaların gerçekleşmesinde WE43 içeriğinde bulunan itriyum ve magnezyumun atomik çap benzeşmesinin olanak sağlarken [23] magnezyum dayanımını nadir toprak elementleri ihtiva eder [24]. Magnezyum içerisinde nadir toprak elementlerinin katı çözünürlüğü yüksek olmasının yanı sıra düşük sıcaklık koşullarında çözünürlük düşer ve bu şekilde yükselen düzeylerde aşırı derece doyma görülür. Bununla beraber çökelti sertleşmesinde serpinik sertleşme ile çökelti fazının termal dengesinin yüksek olmasının yanında α - Mg'de bulunan nadir toprak elementinin yayınma hızında bir düşüş meydana gelir. Böylece Mg- RE sıcaklığın artış gösterdiği koşullara dirençli ve kusursuz bir sürünme başarımına sahip olur [25]. WE serisini oluşturan bileşimde zirkonyum kullanılabilen bir element olup magnezyum içerisinde %0,6 oranında bir çözünürlük gösterdiği gibi tane boyutunda meydana

getirdiği küçülme ve eşeksenel/ küre biçimdeki tane yapıları ile hem mekanik hem de işlenebilme özelliklerine olumlu yönde yön verir [4,26,27].

Bu çalışmada, Mg- Y- Nd sistemli alaşımlara ağ. %0.5 ve %1 oranlarda toprak alkali, geçiş ve zayıf metaller grubundan alaşım elementleri katılarak döküm ve ekstrüzyon sonrasında uygulanan yaşlandırma işlemleri ile daha mukavemetli ve daha sünek bir yapı alması amaçlanmıştır. Döküm sonrası yaşlandırma ve ekstrüzyon sonrası yaşlandırma olarak gruplandırılan ve her grupta takviyesiz, ağ. %0.5 ve %1 Ca, Sr, Sn ve Zn takviyeli alaşımların sırasıyla mikroyapısal karakterizasyon, sertlik, tribolojik ve korozyon özelliklerinin etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Böylece ilerleyen yıllarda ticari olarak yaygınlaşması daha çok önem arz edeceği öngörülen Mg- Y- Nd sistemli (WE43) alaşımların özellikleri daha da geliştirilerek bilimsel literatürdeki konuyla ilgili eksiklikler kapatılacaktır.

BÖLÜM 2

MAGNEZYUM VE MAGNEZYUM ALAŞIMLARI

2.1. MAGNEZYUM

Konstrüksiyon metalleri içerisinde düşük özkütlesi ($1,738 \text{ g/cm}^3$) ile popülerite kazanan magnezyum, 1755 yılında Joseph Black tarafından bulunmuş olmak ile beraber adını Yunanistan şehri olan Magnesia'dan almıştır [21,28]. Toprak alkali grubuna mensup gümüş beyazlığında bir renge sahip olan magnezyum hidrosferde ($3,1 \times 10^{15}$ ton) beşinci ve litosferde (%2,1) ise sekizinci en bol bulunan element olarak kabul edilmektedir. Hidrosferde magnezyum bir tek okyanustan ekstrakte edilebilir ve okyanus ortalama derinliği 3,8 km'dir. Dolayısıyla magnezyum üçüncü en fazla bulunan ve hidrosfer veya litosferden çıkarılabilen benzersiz bir yapısal metal element konumundadır [29,30]. Magnezyum çoğunlukla tabiatta kesinlikle elementel formda değil, kendileri ile ilgili oksitlerden ya da oksit bileşiklerinden çıkarılır veya indirgenir. Magnezyumun ekstrakte edildiği litosferik bileşikler; dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), manyezit (MgCO_3), periklaz (MgO), hidro-manyezit ($3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg(OH)}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), brusit ($\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$), magnezyum silikatları (olivin(Mg, Fe) $_2\text{SiO}_4$, serpantin $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ile magnezyumun kısmi demir ikamesi, fosfatit, biyotit mikalar, vb.), epsomit ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), kieserit ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), langbeinit ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$) ve kainit ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)'tir. Hidrosferik kökenliler ise bischofite ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ve karnalit ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) bileşikleridir [4,29].

Humphry Davy'nin damıtılmış cıva ile magnezyum amalgamı üretmesinin üzerinden yaklaşık 200 yıl geçmiştir. 1833'te Faraday, magnezyum metali elde etmek için erimiş halde saf olmayan magnezyum klorürünü elektrolize etmiştir; ancak Robert Bunsen'in erimiş susuz magnezyum klorür kullanarak küçük bir laboratuvar hücresinde ticari bir miktar üretmesi yirmi yıldan fazla sürmüştür. Magnezyumun daha büyük ölçekte ticari

üretimi ise 1886'da, alüminyum için Hall-Heroult hücresinin başlangıcıyla yaklaşık olarak aynı zamanda başlatılmıştır [31].

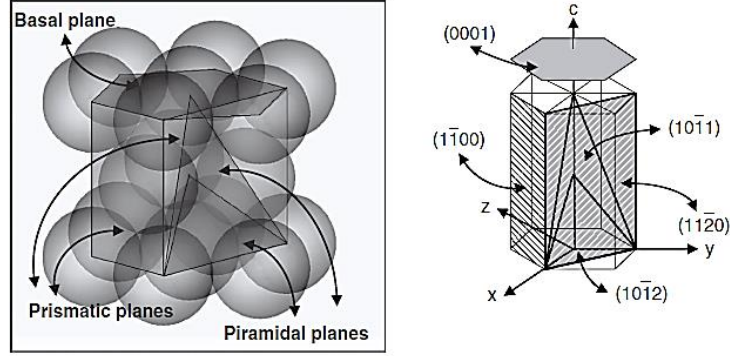
Saf magnezyumun temel olarak en mühim özellikleri Çizelge 2.1'de gösterilmektedir. Plastik malzeme misali bir hafifliğe sahip olan magnezyum, düşük özkütlesinin özgül dayanımın ile birleştiğinde bilhassa hafif komponent varlığının ön planda tutulduğu parçalarda randıman sağlamaktadır [32].

Çizelge 2.1. Saf magnezyumun temel olarak en mühim özellikleri [4,33].

Özellik	Değer
Kristal yapı	HCP
Yoğunluk	1,738 g/cm ³
Young modülü	45 GPa
Nihai çekme dayanımı	80- 180 MPa
Kırılma uzaması	% 1- 12
Erime noktası	650 °C
Kaynama noktası	1090 °C
Özgül ısı kapasitesi	1,05 kJ/ (kgK)
Füzyon ısısı	195 kJ/kg
Isı iletkenliği	156 W/ ((mK)(RT))
Doğrusal genişleme katsayısı	26x10 ⁻⁶ K ⁻¹ (RT)
Büzülme (katı- sıvı)	%4,2
Büzülme (t _s - rt)	ca.%5
Özgül elektrik iletkenliği	22,4 m/ ((Ω mm ⁻²)(RT))
Normal potansiyel	-2,37 V

Magnezyum altıgen en yakın dolgulu yapıda kristalleşir ve bu nedenle soğuk şekillendirmeye uygun değildir. 225 °C'nin altında, piramidal {1012} <1011> ikizleme ile birlikte yalnızca {0001} <1120> bazal düzlem kayması mümkündür. Saf magnezyum ve geleneksel olarak dökülen alaşımlar, ikiz bölgelerde veya büyük taneli {0001} bazal düzlemlerde kristaller arası bozulma ve yerel transkristal kırılma nedeniyle kırılma eğilimi gösterir. 225 °C'nin üzerinde, yeni {1011} bazal düzlemler oluşur ve magnezyum aniden iyi deformasyon davranışı gösterir, bu da

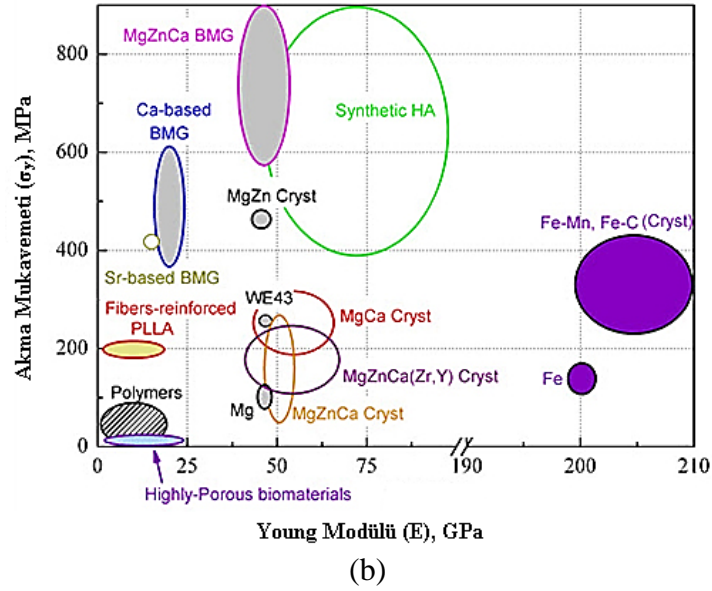
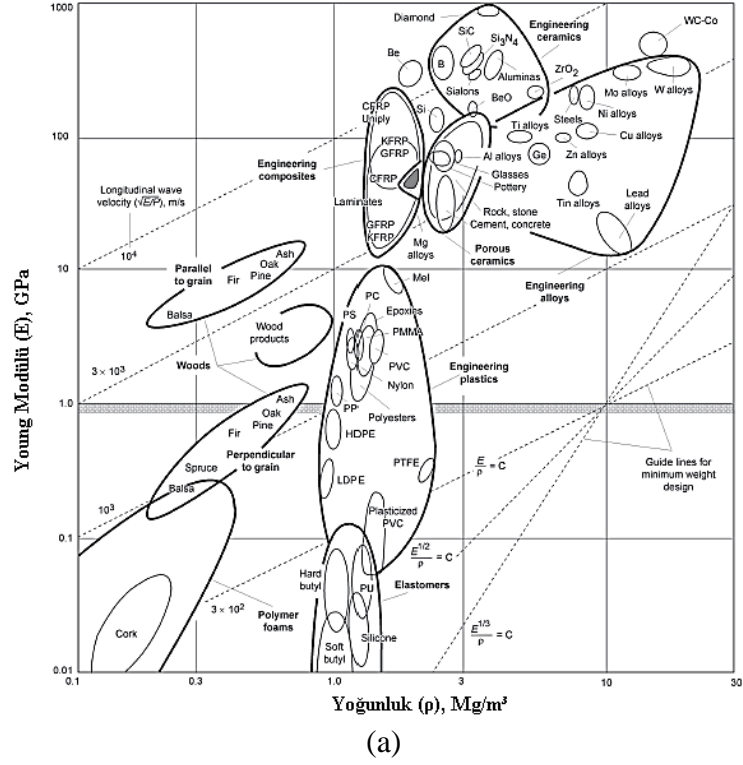
kapsamlı deformasyonun yalnızca bu sıcaklığın üzerinde gerçekleştiğini gösterir. HCP kristal kafesi ve magnezyumun ana düzlemleri Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Kafes parametreleri $a = 3.18 \text{ \AA}$ ve $c = 5.19 \text{ \AA}$, Mg kristalinin 1.62354 (25 °C'de) ideal c/a oranından biraz daha az olması, metalin bazı temel özelliklerini açıklamada önemli görünmektedir [34,35].



Şekil 2.1. Altıgen sıkı paketlenmiş (HCP) kristal kafesinin ve ana magnezyum düzlemlerinin şematik açıklaması [36].

Magnezyumun çok iyi işlenebilmeye elverişli olması en karmaşık parçaların bile üretimini kolay kılmaktadır ve alaşımdan imal edilen hem döküm hem de dövme parçalar soygazlar ile kaynaklanabilir; bununla beraber iyi sönümleme niteliği ile magnezyum makine ve ekipmanlarının kullanım ömrünü daha inovatif hale getirir ve sonik emisyonun azaltılmasını sağlamaktadır. Bu özelliklerine karşın soğuk çalışma yetenekleri çok zayıf olan magnezyumun oksijen ile afinitesine bağlı olarak korozyon direncide bir o kadar düşüktür. Ayrıca reaktif bir element olan magnezyum döküldüğünde katılaştıkça yaklaşık %4 ve soğutma sırasında yaklaşık %5'lik yüksek bir kalıp büzülmesine sahiptir. Bu yüksek derecede büzülme, mikro gözenekliliğe, düşük tokluğa ve göz ardı edilemeyecek yüksek çentik hassasiyetine yol açar. Ayrıca yüksek termal genişleme katsayısı (alüminyum için karşılık gelen değerin yaklaşık %10 üzerinde), genellikle magnezyum alaşımlarının kullanımına karşı bir argüman olarak öne sürülür. Bu nedenle, daha iyi çökeltme ve katı çözelti sertleşmesi elde etmek için farklı alaşım elementleri kullanarak magnezyum alaşımlarının karakteristik profilini iyileştirmeye yönelik girişimlerde bulunulmuştur. Magnezyum alaşımlarının benzersizliği, mühendislik malzemeleri arasında yoğunluğa karşı young modülünün mukayesesi Şekil 2.2.(a)'da ve Şekil 2.2.(b)'de akma mukavemetinin young

modülünün mukayesesi bir Ashby diyagramında gösterilmektedir (Cameron, Lewis ve Drumm 1996; Celik vd. 1996; Moosbrugger 2017; Total Materia Article 2015).



Şekil 2.2. (a) Çeşitli mühendislik malzemeleri için ρ - E (b) Ashby diyagramına göre σ_y - E mukayesesi [20,39].

2.2. MAGNEZYUM ALAŞIMLARI

Magnezyum alaşımlarının tanımlanması ASTM normunda dünya çapında standardize edilmiştir; her alaşım, ana alaşım elementlerini gösteren harflerle, ardından yüzde cinsinden her (genellikle iki) ağırlığın yuvarlak rakamlarıyla işaretlenmiştir. Çizelge 2.2’de mevcut her alaşım elementi için anahtar harfleri göstermektedir. Her kimlik numarasındaki son harf, alaşımın gelişim aşamasını gösterir (A, B, C,...). Çoğu durumda, bu harfler saflık derecesini gösterir. Örneğin WE43 alaşımının nominal içeriği %4 itriyum (W) ve %3 nadir toprak (E) olarak belirtilmektedir.

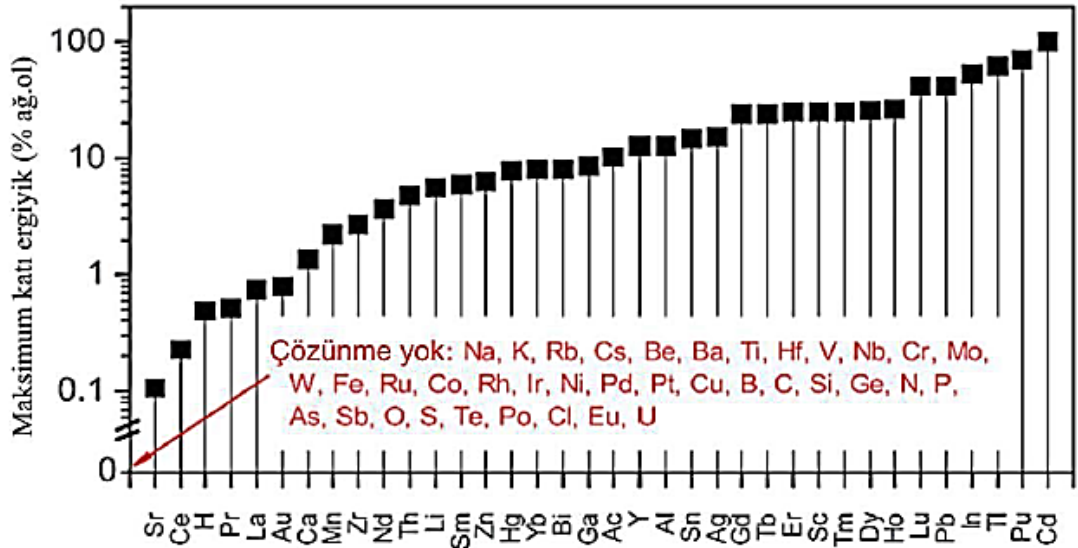
Çizelge 2.2. Magnezyum alaşım elementlerinin ASTM kodları [40].

Kısaltma Harfi	Alaşım Elementi
A	Alüminyum
B	Bizmut
C	Bakır
D	Kadmiyum
E	Nadir Toprak
F	Demir
H	Toryum
K	Zirkonyum
L	Lityum
M	Manganez
N	Nikel
P	Kurşun
Q	Gümüş
R	Krom
S	Silisyum
T	Kalay
W	İtriyum
Y	Antimon
Z	Çinko

2.3. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ TASARIMI

2.3.1. Magnezyumun Katı Çözelti Alaşımı

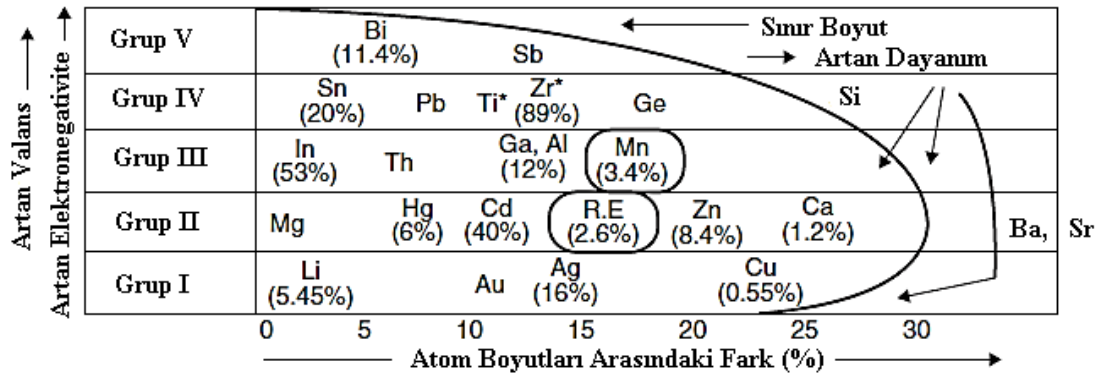
Alaşım elementi olmaksızın saf formda metaller yapısal uygulamalarda nadiren kullanılmaktadır ve istenilen nicelikte takviye edilen elementlerin çözünürlüklerine (Şekil 2.3) dikkat edilmesi önem arz etmektedir. Ferritik paslanmaz çelikler, içeriğindeki alaşım elementlerinin özellikle karbonun miktarına bağlı olarak % 16-30 Cr içerirler, manyetikler, soğuk veya sıcak olarak haddelenebilirler [1].



Şekil 2.3. Elementlerin 298,15 K'de optimum çözünürlükleri [41].

Katı çözelti güçlendirmesi, çökeltme sertleşmesi ve dispersiyon güçlendirmesi (bir metalin bir veya daha fazla element ile birleştirilmesiyle meydana gelen) gibi mekanizmalarla güçlendirilen alaşımlar, yapısal metalik malzemelerin temelini oluşturur. Ayrıca, bir alaşımın özellikleri, mikroyapısal tasarım ve modifikasyon yoluyla değiştirilebilir ve geliştirilebilir. Bir katı çözelti alaşımı, baz metalin (çözücünün) kafesinde alaşım elementinin (çözünen) tamamen çözünmesiyle, ya ikame olarak ya da ara yer bölgelerinde tamamen çözünmesiyle karakterize edilir. Magnezyumun büyük arayer alaşımları yoktur. Hume- Rothery kurallarına göre, çözücü ve çözünenin atom boyutları arasında %15'ten fazla farklılık varsa kapsamlı

katı çözeltiler oluşturulamaz. Magnezyumun alaşımlama davranışını (Şekil 2.4) uygun boyut, bağıl değerlik ve elektronegatif değerlik etkilemektedir. Atom çapı 3,2 Å olan Mg durumunda, bu uygun boyut aralığına giren elementler Li, Al, Ti, Cr, Zn, Ge, Yt, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Nd, Hf, W, Re, Os, Pt, Au, Hg, Tl, Pb ve Bi'dir. Ek olarak, bir metal, benzer elektronegatifliğe ve kristal yapıya sahip metallere kapsamlı katı çözeltiler oluşturur. Değerlik de bir rol oynar; düşük değerlikli bir metalin tersinden daha yüksek değerlikli birini çözmesi daha olasıdır (göreceli değerlik etkisi), çünkü bir metale fazladan elektron eklenmesi bağ oluşturma kapasitesini ve dolayısıyla metal yapının kararlılığını artırır. Bu kurala göre, uygun boyut faktörlerine sahip elementlerden iki değerlikli Mg, iki değerlikli olanlara ek olarak üç değerlikli ve daha yüksek değerlikli elementleri çözecektir. Bununla birlikte, çözünen değerliği arttıkça (grup IV-VII), çözünenin elektrokimyasal özellikleri ile yüksek düzeyde elektropozitif olan Mg arasındaki fark da artar. Bu durumlarda Mg, katı çözeltiler yerine ikinci fazları veya kararlı bileşikler (metaller arası bileşikler) oluşturur. Bu kriterler karşılanmazsa, sınırlı katı çözümler için hala olasılıklar vardır.

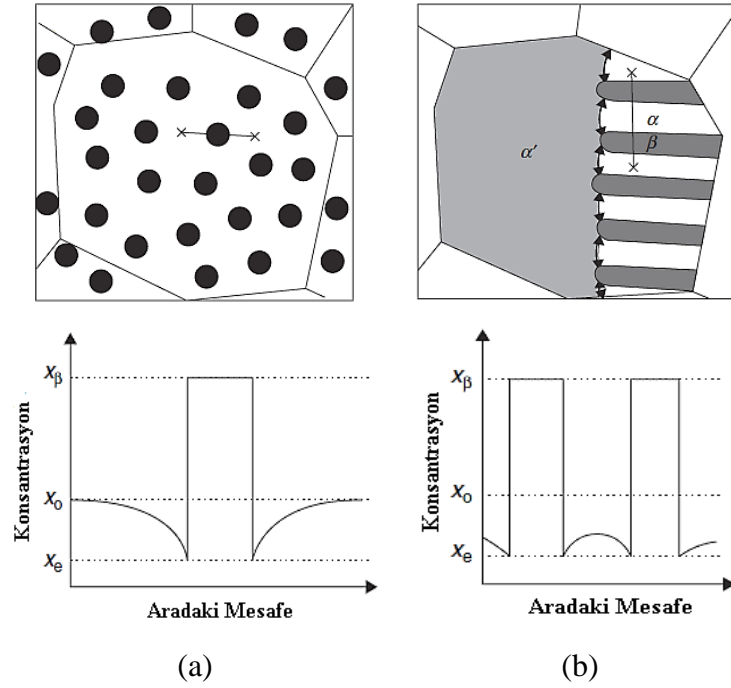


Şekil 2.4. Magnezyumun alaşımlamaya yönelik davranışı [42].

2.3.2. Magnezyumun Çökelti Sertleşmesi

Aşırı doymuş katı çözeltilerden farklı bir kimyasal bileşime sahip ikinci bir fazın oluşumunu içeren difüzyonlu bir faz dönüşümü olan çökeltme reaksiyonunda sürekli ve süreksiz olarak iki türlü çökeltme hakimdir [43,44]. Sürekli çökeltme, ikincil faz parçacıklarının aşırı doymuş bir katı çözeltilerden, çekirdeklenme ve büyüme mekanizması veya spinodal ayrışma mekanizması yoluyla nispeten tek biçimli

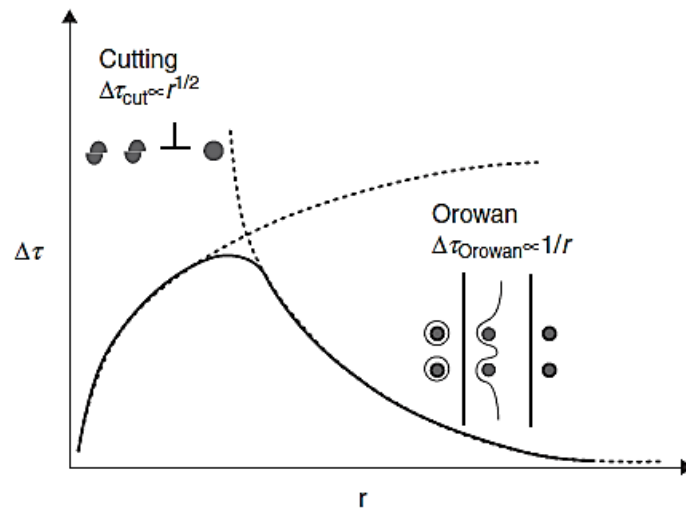
çökeltmesiyle meydana gelir; matris fazının bileşimi, Şekil 2.5 (a)'de gösterildiği gibi, bu işlem sırasında sürekli olarak değişir. Çökelti partiküllerinin büyüme hızı, matris fazında çözünen maddenin hacim difüzyonu ile kontrol edilir; partiküllerin genel olarak küresele yakın olduğu varsayılır ve büyüme periyodu sırasında $r = kt^{1/2}$ enerji kanununu takip eder. Burada k sıcaklığa bağlı sabittir, $k \propto \exp(Q/RT)$ ve Q hacim difüzyonu için aktivasyon enerjisidir. Öte yandan, Şekil 2.5 (b)'de gösterildiği gibi, iki fazlı katmanlı bir koloni ile matris arasındaki ara yüzün göçüyle süreksiz çökeltme meydana gelir. Difüzyon, matris ve koloni arayüzü boyunca meydana gelir, ancak reaksiyona girmemiş matris bölgesindeki kimyada herhangi bir değişiklik olmaz ve süreksiz çökeltme tane sınırlarında katmanlı yapıların oluşumuna neden olur. Dolayısıyla yaşlandırılmış alaşımlarda süreksiz çökelmelerden kaçınılmalıdır. Süreksiz çökeltme genellikle, çökeltme için büyük bir itici güç varken hacim difüzyonu kinetiğinin çok ağır olduğu nispeten düşük sıcaklıkta meydana gelir.



Şekil 2.5. (a) Sürekli çökeltme ve (b) aşırı doymuş katı çözültiden süreksiz çökeltme sırasında çökeltme ürününü çevreleyen konsantrasyon profillerinin şematik gösterimi [44].

İkincil bir fazın sabit bir hacim fraksiyonu verildiğinde, Orowan mekanizması yönettiği sürece (yani, çökelti yarı uyumlu veya uyumlu değildir) daha ince bir

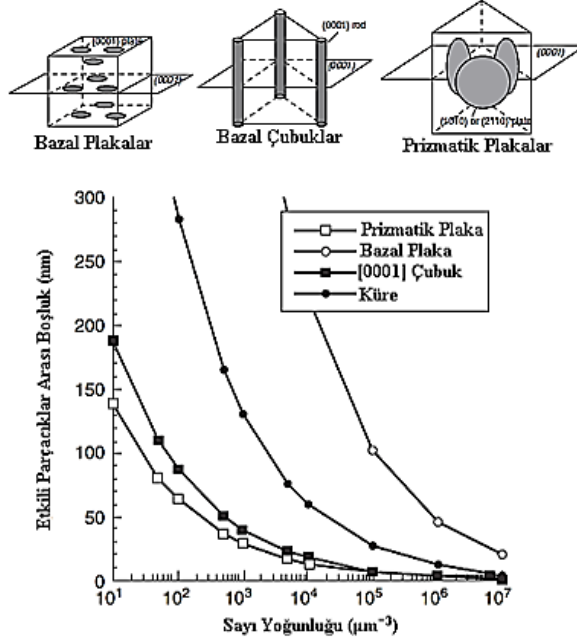
parçacık boyutu ve daha büyük bir sayı yoğunluğu ile daha yüksek derecede bir çökelme sertleşmesi elde edilir ve kayma geriliminin artışı çökeltilerin yarıçapına $\Delta\tau_{Orowan} \propto r^{-1}$ şeklinde bağlı olmalıdır. Çökelti tutarlı olduğunda, boyutun çok küçük olmaması koşuluyla çökeltiler dislokasyonlar ile kesilir ve optimum bir boyuta, yani $\Delta\tau_{Cut} \propto r^{1/2}$ olana kadar kesme geriliminin artışı $r^{1/2}$ ile orantılı olarak değişir. Buna göre, çökelti sertleşmesinin artışı, çökeltilerin aynı hacim fraksiyonu için Şekil 2.6'da gösterildiği gibi çökelti yarıçapının bir fonksiyonu olarak değişecektir. Pik artışı için kritik yarıçap, çökelti tipine bağlı olarak değişir [45,46].



Şekil 2.6. Çökeltilerin hacim fraksiyonunda partikül boyutundaki artış için güçlendirme artışının şematik bir gösterimi [45,46].

Isıl işlem görebilen magnezyum alaşımlarındaki çökelti boyutu, maksimum yaş sertleştirme tepkisini elde etmek için ~ 5 nm mertebesinde olmalıdır. Böylesine ince bir mikro yapı elde etmek için, çekirdeklenme hızının hızlı olabilmesi için, çökelme reaksiyonu, büyük bir itici güçle sürekli çökelme modu ile gerçekleşmelidir. Magnezyum alaşımlarında çıtalar, çubuklar ve levha benzeri çökeltiler yaygın olarak gözlenir. Birçok plaka benzeri çökelti (0001) bazal düzlemde büyür; bununla birlikte, prizmatik düzlemlerde bazı çökeltiler, örneğin $Mg_{12}Nd$, $Mg-Nd-RE$ bazlı WE43 alaşımında çökeler ve aynı hacim fraksiyonu için bazal düzlemler yerine prizmatik düzlemlerde plaka benzeri çökeltiler oluştuğunda dislokasyon-çökelti etkileşimi daha etkili bir şekilde meydana gelir. Şekil 2.7'de, farklı alışkanlık düzlemlerine sahip küre, çubuk ve plaka benzeri çökeltilerin Mg alaşımlarının sertleşmesine nasıl katkıda

bulunduğu gösterilmektedir. Güçlendirmede en etkili olan prizmatik veya piramidal plakalardır, bunu büyüme yönü [0001] Mg'ye paralel olan çubuklar ve küresel çökeltiler takip eder. En az etkili morfoloji, magnezyum alaşımlarında en sık gözlenen çökeltiler olan bazal plakalardır.



Şekil 2.7. Çeşitli yönelimlere sahip çökeltiler için belirli bir hacim fraksiyonu için çökeltilerin sayı yoğunluğunun değiştirilmesinin etkisi [47].

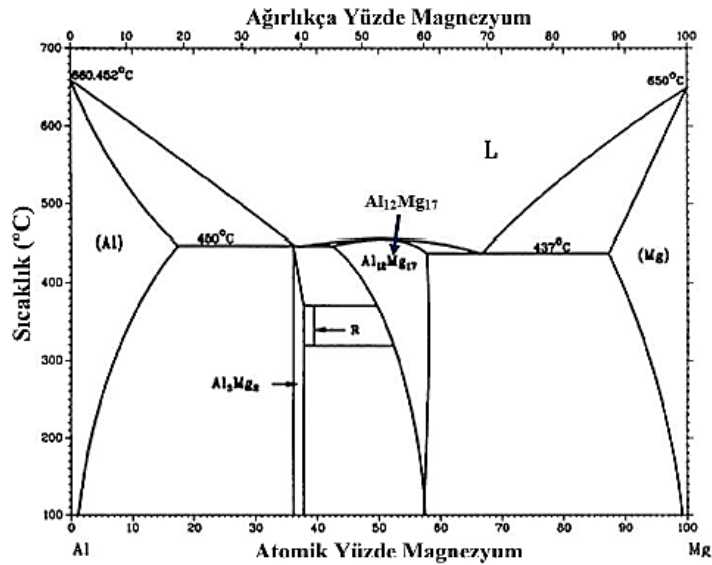
Magnezyum alaşımlarında kaymanın büyük bir kısmı taban düzlemlerinde yer değiştirme kayması yoluyla meydana gelir, bu nedenle çıkıkların çapraz kayma yoluyla taban düzlemi plakalarını atlaması daha kolaydır. Bununla birlikte, bazal düzlemde kayan çıkıkların karşılaştığı geniş yüzey alanı nedeniyle prizmatik plakalarla çapraz kayma zordur, bu nedenle çıkık bir Orowan döngüsü oluşturur veya çökelti boyunca kesilir. Güçlendirme artışı, belirli bir çökelti hacmi fraksiyonu için partiküller arası mesafe ile ters orantılıdır. Artan sayı yoğunluğu güçlendirmeyi arttırdığından, partiküller arası mesafeler, çökeltilerin sayı yoğunluğu değiştirilerek azaltılabilir. Belirli bir çökelti yoğunluğu için, prizmatik plakalar kayma düzleminde en küçük parçacıklar arası mesafeye sahiptir, bu da mukavemette en yüksek artışa neden olurken, en büyük parçacıklar arası mesafe bazal çökeltiler içindir.

Çökeltme sertleştirmesinde magnezyum esaslı alaşım sistemleri AZ91 (Mg-9Al-1Zn (% ağırlık)), WE54 (Mg-5Y-4RE), WE43 (Mg-4Y-3RE), QE22 (Mg-2Ag-2RE), ZE41 (Mg-4Zn-1RE) ve ZC63 (Mg-6Zn-3Cu) yaşlandırma ile sertleştirilebilir. WE43 ve AZ91 havacılık ve uzay alaşımları olmak ile beraber RE ilaveleriyle ilişkili yüksek maliyet nedeniyle özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmazlar.

2.3.3. Magnezyum Bazlı Alaşım Sistemleri

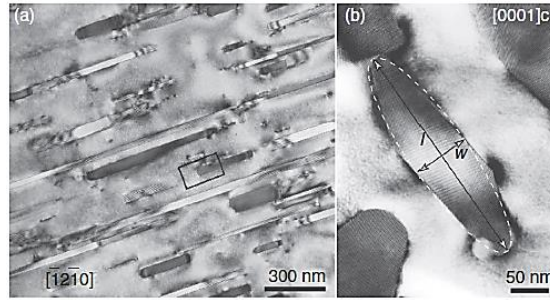
2.3.3.1. Magnezyum- Alüminyum Bazlı Alaşımlar

Magnezyum alaşımlarında alüminyum elementi döküm kabiliyeti ve mekanik özellikleri daha inovatif bir duruma getirmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Mg-Al sisteminin faz diyagramı (Şekil 2.8), 710,15 K'de yaklaşık %12,7'lik bir maksimum katı çözünürlüğü gösterir ve bu, 373,15 K'de yaklaşık %1'e düşer [48]. Alüminyum, $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazını oluşturarak magnezyum alaşımlarının çekme akma dayanımını arttırmak için en önemli alaşım elementlerinden biridir. Mekanik özelliklerdeki gelişmelere ek olarak, daha yüksek miktarda Al, dökülebilirliği de önemli ölçüde artırır. Çoğu teknik alaşımın, özellikle döküm alaşımlarının Al içermesinin ana nedeni budur. Ancak dezavantajı, alüminyum içeriği arttıkça daha yüksek bir mikro gözeneklilik eğiliminin gözlenmesidir [49].



Şekil 2.8. Mg- Al sistemli faz diyagramı [48].

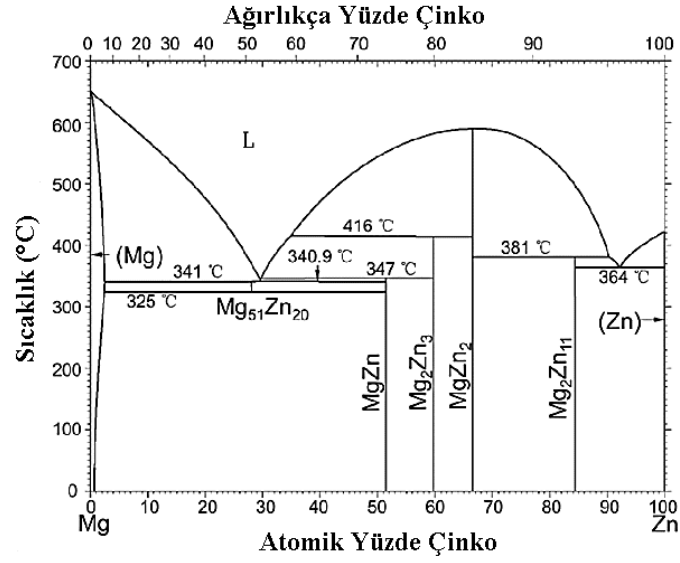
Mg- Al sistemli kum dökümünü takiben çöktürme ile sertleşen AZ91, ticari alaşımın temelidir ve çökelme sürecini anlamak için Mg-9Al ve Mg-9Al-0.5Zn alaşımlarının çökelme sertleşmesi üzerine geniş bir çalışma koleksiyonu yapılmıştır [50–54]. Mg- Al sisteminden beklenen denge fazı, Şekil 2.9’da gösterildiği gibi genellikle Mg'nin bazal düzlemi üzerinde kaba latalar olarak oluşan BCC kristal yapısına ($a = 1.057$ nm ve bir uzay grubu $I43m$) sahip $Mg_{17}Al_{12}$ 'dir. $Mg_{17}Al_{12}$ ve Mg arasındaki planlayıcı ara yüzü, bu tür çöktürmelerin çekirdeklenmesini zorlaştıracak şekilde yarı uyumlu ile tutarsız olarak tanımlanmıştır. Fazın çekirdeklenmesinin doğasında var olan zorluklar nedeniyle, bu alaşımın çökmesi ağırlıklı olarak $Mg_{17}Al_{12} + \alpha$ fazlarının yüksek açılı tane sınırlarından süresiz çöktürülmesiyle meydana gelir.



Şekil 2.9. AZ91'in 200 °C 16 saat izotermal yaşlanma ile $Mg_{17}Al_{12}$ bazal çöktürmelerinin mikroyapısı (a) $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 'a paralel ve (b) $\langle 0001 \rangle$ magnezyum yönlerine paralel [55].

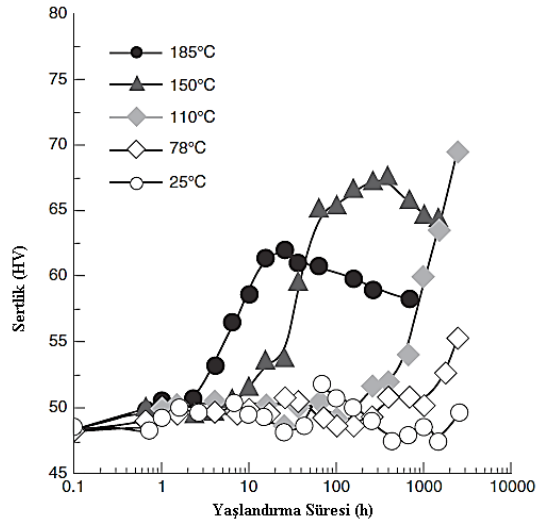
2.3.3.2. Magnezyum- Çinko Bazlı Alaşımlar

Alüminyumdan hemen sonra en çok kullanılan alaşım elementi olan çinko çok iyi bir tane inceltici olmasının yanında 319,15 K'de %~2,4'lük bir maksimum denge çözünürlüğüne sahiptir ve bu çözünürlük 298,15 K'de %~0,3'e düşmektedir (Şekil 10) [27]. Çinko, magnezyum için bir diğer önemli alaşım elementidir. Bu element, güçlendirme ve dökülebilirlik açısından Al'a benzer şekilde davranır. Magnezyuma ağırlıkça %3'e kadar Zn eklenerek büzülme azaltılabilir ve çekme akma dayanımı artırılabilir [56].



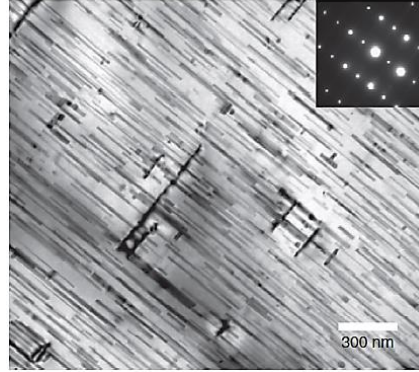
Şekil 2.10. Mg- Zn sistemli faz diyagramı [27].

Şekil 2.11’de Mg-Zn sistemli alaşımlarının çökelme sertleşmesi sonrası davranışı görülmektedir. Mg-Zn ikili alaşımı için 150 °C’de ~200 saat süren yaşlandırmanın akabinde sertlikte 15 VH’lik bir artış görülmüştür. Yaşlandırma sıcaklığındaki azalma ile daha yüksek bir sertleşme artışı meydana gelmesine karşın 100 °C’nin altındaki sıcaklıklarda 1000 saatin üzerinde pik sertliğe ulaşma süresi önemli ölçüde artmıştır.



Şekil 2.11. Mg-%1,8 Zn alaşımının 25–185°C sıcaklık aralığında çökelme sertleşmesi davranışı[57].

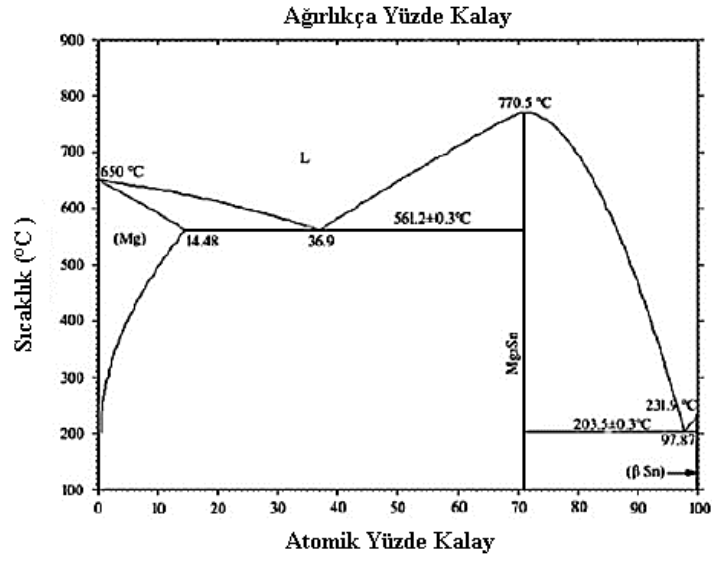
Mg- Zn sistemli alaşımlarda beklenen denge intermetalik fazı, bir rombohedral kristal yapıya ve $a = 2.55$ nm ve $c = 1.81$ nm'lik bir kafes parametresine sahip MgZn fazıdır [55]. Bununla birlikte, yapay yaşlandırma sırasında ve en yüksek sertlik koşulunda gözlemlenen çökeltiler, β'_1 ve β'_2 fazları olarak bilinen yarı kararlı MgZn₂ fazlarıdır. Mg–Zn ikilisinin çökeltme dizisi 80°C'nin altına izin verir. β'_1 çökeltileri, yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak ya MgZn₂ ($a = 0.521$ nm ve $c = 0.86$ nm ile hegzagonal faz [55]) ya da Mg₄Zn₇ ($c = 2.596$ nm, $b = 1.428$ nm, $c = 0.524$ nm, $\gamma = 102.5^\circ$ ile monoklinik faz [55])'dir. β'_2 partikülleri MgZn₂'dir ($a = 0,521$ nm ve $c = 0,86$ nm ile hegzagonal faz [55]). β'_2 , β'_1 'den sonra çökmesine rağmen, her iki çökeltilerde de aşırı yaşlandırma koşulları ve pik yaşlandırma bir arada bulunmaktadır. MgZn₂ fazı, [0001] Mg yönüne dik olan matris fazı ile uyumlu ve yarı uyumlu arayüzler oluşturur, bu nedenle ~150 veya 200°C'de yaşlandırıldığında yüksek yoğunluklu olmayan nispeten uzun çubuklar (Şekil 2.12) oluşturur. Bu nedenle, ticari olarak en çok kullanılan dövme magnezyum alaşımı olan ZK60, nadiren çökeltme ile sertleştirilir.



Şekil 2.12. Mg-%2.4 Zn alaşımının 160°C'de 120 saat boyunca izotermal çökeltme sertleşmesi [57–59].

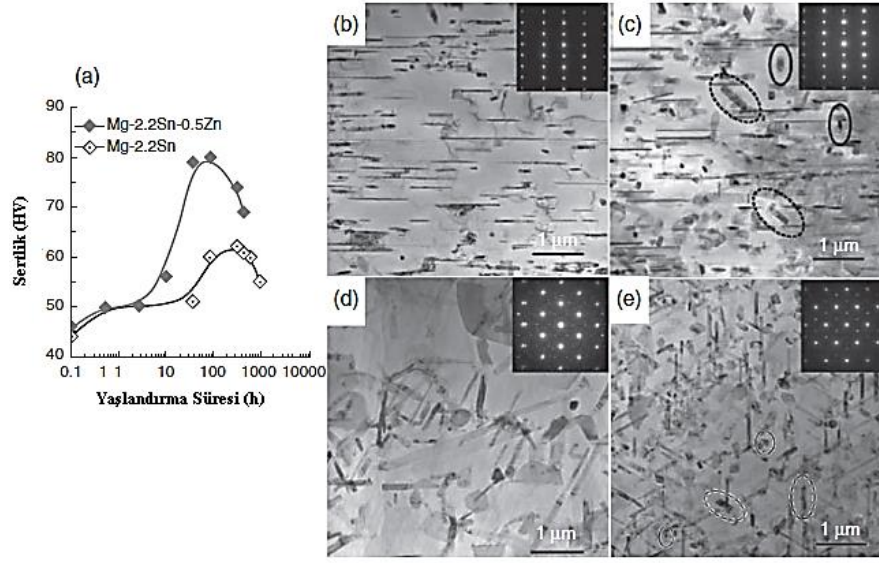
2.3.3.3. Magnezyum- Kalay Bazlı Alaşımlar

Magnezyum içerisinde kalay 834,15 K ötektik sıcaklıkta ~%14,85 değerinde yüksek bir katı çözünlüğü gösterirken 473,15 K'nin altındaki sıcaklıklarda %0,45'e indirgenir ve oda sıcaklığında çözünlük yok denecek kadar azalır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Mg- Sn sistemli faz diyagramı [48].

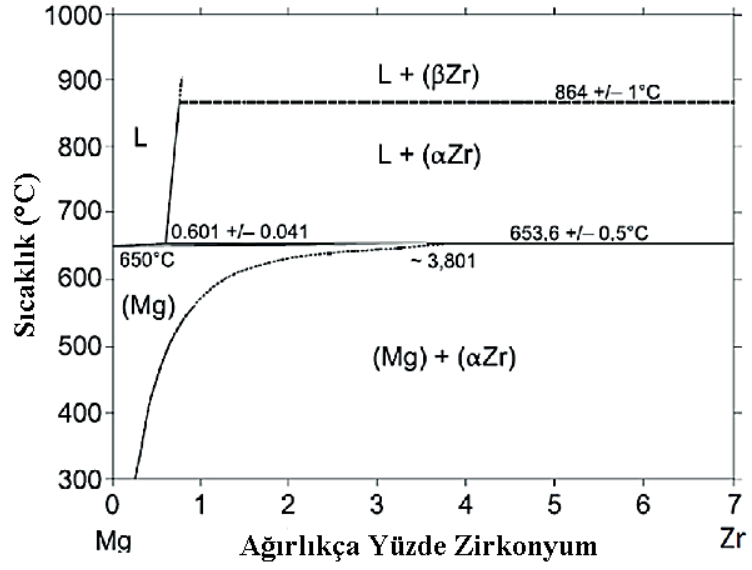
Mg- Sn sistemli alaşımlarda 1043,15 K'lik yüksek bir erime sıcaklığına sahip olan çökelti fazı Mg₂Sn ($a = 0.677$ nm ile kübik faz [55]) intermetalik faz oluşumu soğuma hızına bağlıdır ve soğuma hızının yüksek olması takdirinde çubuk tipi Mg₂Sn partüküllerinin gözlemlenmesi Mg matrisi ile beraber olur. Termal kararlılığa sahip olan Mg₂Sn intermetalikliği sürünme direncini, uzamayı ve çekme mukavemeti gibi mekanik özellikleri yükseltme potansiyelini taşımaktadır [60–63]. Buna karşın Mg₂Sn fazının Şekil 2.14'te gösterildiği gibi aşırı doymuş katı çökeltiden çökmesi bazal lataların kaba dağılımına neden olur ve dolayısıyla yüksek sertleşme etkisi göstermeyebilir. Fakat mükemmel ekstrüde edilebilirliği göz önüne alındığında büyük bir potansiyeli vardır [64].



Şekil 2.14. (a) Zn ilaveli Mg- %2.2 Sn alaşımasının 200 °C'deki çökeltme sertleşmesi davranışı, (b, d) Mg- %2.2 Sn'nin çökelti mikroyapıları, (c, e) Mg- %2.2 Sn- %0.5 Zn alaşımasının pik sertliğe kadar yaşlandırılmış hali [65].

2.3.3.4. Magnezyum- Zirkonyum Bazlı Alaşımlar

Magnezyum içerisinde 923,15 K'de çözünürlüğü %3,8 (Şekil 2.15) olan zirkonyum, süneklik kaybı olmaksızın mukavemeti modifiye eder. Mg- Zr sistemli alaşımlarda zirkonyumun tane inceltici olması magnezyum ile benzer bir kafes yapılarında olması ($a = 0,323$ nm ve $c = 0,520$ nm ile HCP faz [55]), katılaşmaya yakın konumda peritektik dönüşümün varlığı ve magnezyumun zirkonyumca doymuş olması nedenlerine bağlı olmak ile beraber zirkonyum ısıtma işlemler sırasında tane büyümesini engeller [66]. Normalde Zr alaşımları, tuz çözeltilerinde iyi korozyon direncine sahiptir ve Fe ve Ni'ye nispeten duyarsızdır. Mg alaşımlarındaki zirkonyum ilaveleri, çözünmeyen partiküller oluşturur [67]. Zirkonyumun tane inceltici olarak kullanıldığı alaşımlarda, ergiyikte intermetalikler oluşturdukları için Fe ve Ni içerikleri azalır [68].

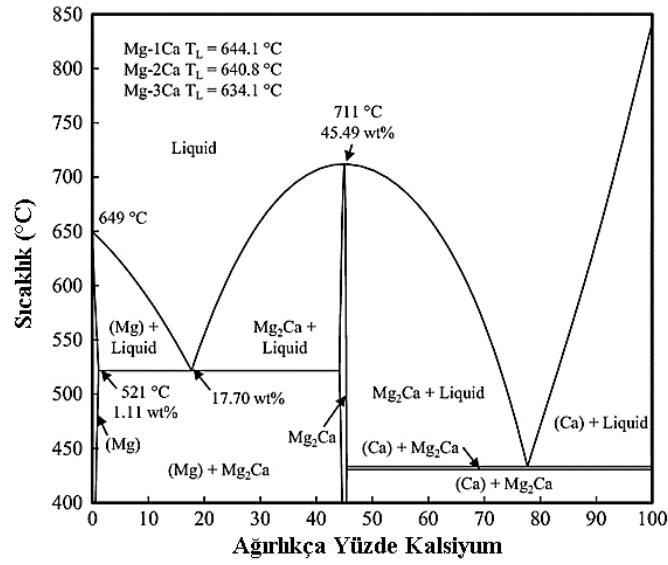


Şekil 2.15. Mg- Zr sistemli faz diyagramı [27].

2.3.3.5. Magnezyum- Kalsiyum Bazlı Alaşımlar

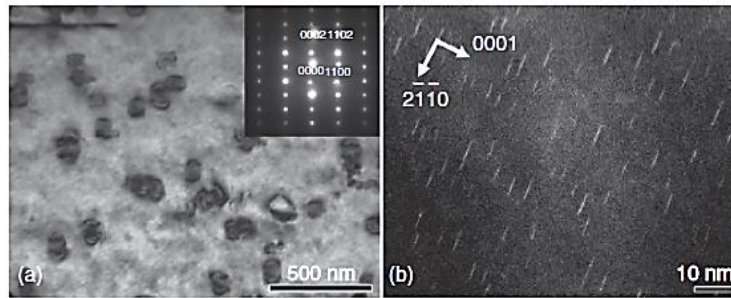
Magnezyuma kalsiyum ilave edilmesinin yegâne özellikleri arasında tane inceltici olmasının yanı sıra mukavemet ve sürünme direncinde pozitif yönde bir rol alması vardır. Bununla beraber Şekil 2.16'da görülmekte olan Mg- Ca sistemli faz diyagramından da anlaşılacağı üzere kalsiyumun maksimum katı çözünürlüğü 986,15 K'ye kadar sıcaklıklarda kararlı denge Mg_2Ca fazı ile 789,15 K'de ise %0.5 Ca ile sınırlıdır [48].

Mg-Ca sistemli alaşımlarda Mg_2Ca ($a = 0.605$ nm, $c = 981$ nm ile hegzagonal faz [55]) düşük aşırı doygunluğu ve fazın tutarsız olmasından dolayı Mg_2Ca çökeltilerinin yoğunluğu az olarak saptanır ve ikili alaşımlarda sadece ihmal edilebilir bir sertleşme tepkisi gözlemlenir [69–71].



Şekil 2. 16. Mg- Ca sistemli faz diyagramı [48].

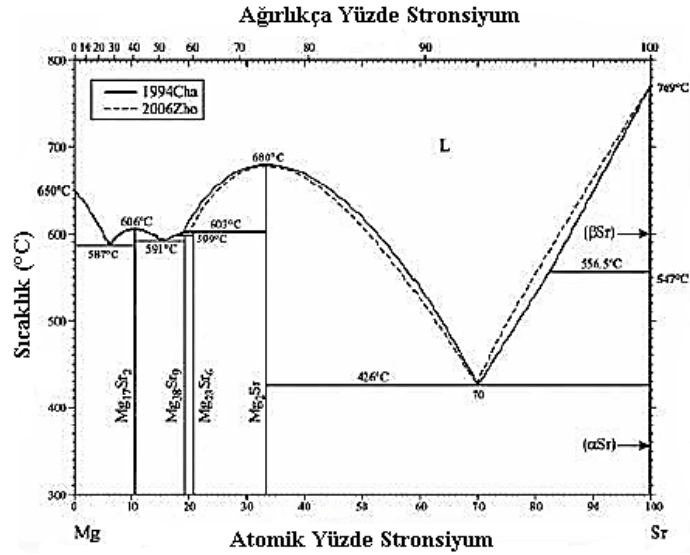
Ca'nın atom yarıçapı Mg'ninkinden %20 daha büyüktür, bu nedenle yalnızca bu elementlerle çözünen kümeler oluşursa, bu büyük uyumsuz gerilime neden olur. Bununla birlikte, Ca ile negatif karışma entalpisine sahip Zn ve Al gibi küçük boyutlu atomların eklenmesi, gerinim enerjisini azaltmak için büyük boyutlu atomların yanındaki alanı işgal etme eğilimindedir, böylece Ca ve Zn(Al) içeren kümelerin bazal düzlemde (Şekil 2.17) çökmesini kolaylaştırır. Sadece düşük bir sayı yoğunluğu iken Mg- %0.3 Ca alaşımında iri Mg_2Ca çökeltileri gözlenir ve <10 nm'lik çok sayıda ince çökelti yoğunluğu, Mg- %0.3 Ca- %0.6 Zn alaşımında bazal düzlemde düzgün bir şekilde dağılır.



Şekil 2.17. Zn ilaveli Mg-Ca alaşımının 200 °C'deki çökeltme sertleşmesi mikroyapısı (a) Mg-0.3Ca ve (b) Mg-0.3Ca-0.6Zn [71].

2.3.3.6. Magnezyum- Stronsiyum Bazlı Alaşımlar

Stronsiyum magnezyum ile meydana getirdiği yüksek termal stabiliteye sahip intermetalikler vesilesi ile sıcaklığın yüksek olduğu koşullarda mekanik özellikleri muhafaza ederek öne çıkmaktadır. Şekil 2.18’de gösterilmekte olan Mg-Sr sistemli faz diyagramından da anlaşılacağı 858,155 K sıcaklıkta %0,11 ve 473,15 K sıcaklıkta ise yok denecek kadar az çözünürlüğe sahiptir. Bu sistemde magnezyum ve stronsiyumun meydana getirdiği 879,15 K’de $Mg_{17}Sr_2$, 865,15 K’de $Mg_{38}Sr_9$, 872,15 K’de $Mg_{23}Sr_6$ ve 953,15 K’de ise Mg_2Sr olmak üzere dört kararlı intermetalik bileşen mevcuttur [27,72].



Şekil 2.18. Mg- Sr sistemli faz diyagramı [27].

Mg- Sr sisteminde Mg bakımından en zengin olan $Mg_{17}Sr_2$ ($a = 1,06$ nm, $c = 1,03$ nm ile hegzagonal faz [55,73]) kararlı bileşik bulunmaktadır ve bununla birlikte stronsiyum miktarındaki artış yeni intermetalik fazlar meydana getirerek tane ebatlarında bir küçülmeye sebebiyet verir [74].

2.3.3.7. Magnezyum- RE Bazlı Alaşımlar

Nadir toprak elementleri, gadolinyum, seryum, neodimyum, lantan ve itriyum, magnezyuma ayrı ayrı veya mishmetaller şeklinde eklenmiştir. Yapı ve özelliklerdeki

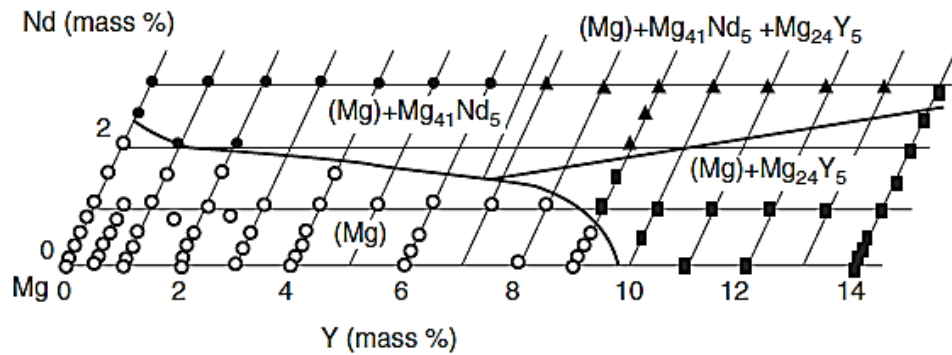
önemli farklılıklara rağmen, nadir toprak katkılı magnezyum alaşımları benzer özellikler gösterir [75]. Tüm nadir toprak metalleri, magnezyum ile oluşturdukları alaşım sistemlerinde mukavemette gelişmelere yol açar. Küçük RE ilavelerinde bile tane inceliği ve artan süneklik gözlemlenir. Bu alaşımlar, esas olarak dar donma aralığı nedeniyle iyi döküm özellikleri ve düşük kaynak çatlama gösterir (bu, gözenekliliği bastırma eğilimindedir). Mukavemet, özellikle yüksek sıcaklık sürünme direnci ve termal stabilite [56] , onları ticari uygulamalar için çekici kılmaktadır. Nadir toprak elementlerinin magnezyum alaşımlarının yüksek sıcaklık özellikleri üzerindeki faydalı etkileri elli yılı aşkın bir süredir bilinmektedir [76]. Mg-RE sistemine sahip olan bazı alaşımların, oda sıcaklığında maksimum çözünürlüğü, ötektik sıcaklıkları ve çözünürlüğü Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Magnezyumda maksimum ve minimum katı çözünürlüğe sahip Mg-RE sisteminin katı çözünürlükleri [48].

Alaşım Sistemi	Maksimum Çözünürlük (ağ.%)	Sıcaklık T_e (°C)	Minimum Çözünürlük (ağ.%)
Mg- Ce	0,09	592	0
Mg- Dy	4,83	561	2
Mg- Er	6,9	584	2
Mg- Gd	4,53	548	~0
Mg- Ho	5,44	565	~2
Mg- La	0,54	613	0
Mg- Lu	8,8	616	~2
Mg- Nd	0,1	548	0
Mg- Pr	0,09	575	0
Mg- Sm	0,97	542	0
Mg- Tb	4,6	559	~1
Mg- Th	0,5	520	0
Mg- Tm	6,3	571	2
Mg- Y	3,75	566	0,5

Mg- RE sistemli alaşımlar çoğunlukla güçlendirme aşamasının esası olarak prizmatik plakalar meydana getirir. Magnezyumda RE ilavesinin ana motivasyonu, üçlü noktalarda yüksek sıcaklıkta intermetalik parçacıkların oluşumuyla tane sınırlarını sabitlemektir; bu nedenle, Mg-RE alaşımlarının çökeltme sertleşmesi tepkileri tam olarak araştırılmamıştır. Mg-RE sistemindeki umut verici yaşlandırma alaşımlarından biri, yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan yüksek mukavemetli magnezyum alaşımlarının temelini oluşturan ticari alaşım Mg-4Y-3RE (Y bakımından zengin) (% ağırlık) alaşımıdır. Mg-Ce ve Mg-Nd gibi ikili alaşımlar, sınırlı çözünürlük nedeniyle yüksek yaş sertleşme tepkisi göstermezler [77].

Mg-Nd sistemine Y'nin eklenmesi, prizmatik plakaların yüksek yoğunluğu nedeniyle nispeten yüksek bir sertleşme tepkisi gösteren yüksek mukavemetli Mg-Y-Nd sistemli alaşımın (WE43) geliştirilmesiyle sonuçlandı [69,78]. Mg-Y-Nd sistemli alaşımında çökeltilerin çekirdeklenmesinin zorluklarını doğrulayan streç yaşlanma nedeniyle artan çökeltme gösterir. $Mg_{12}Nd$ prizmatik düzlemlerde çöker. Mg-Y-Nd sistemli alaşımlardan olan WE43 ve WE54 gibi alaşımlarda (Şekil 2.19) $Mg_{41}Nd_5$, $Mg_{24}Y_5$, β ($Mg_{14}Nd_2Y$) gibi intermetalik fazlar bulunmaktadır. β_1 WE43'te ve β WE54'te görülmektedir.



Şekil 2.19. Mg-Nd-Y sistemli alaşımların 500°C'deki faz diyagramının izotermal kesiti [79].

WE alaşımlarında, yaşlanma süreci β' ($Mg_{12}NdY$), β'_1 çökeltileri ve son denge fazı β' ($Mg_{14}Nd_2Y$) çökelmeleri ile bağlantılıdır. Yarı kararlı β' fazı, $a = 0.640$ nm, $b = 2.223$ nm ve $c = 0.521$ nm'lik kafes parametreleriyle, taban merkezli bir ortorombik Bravais kafesine ve denge fazı β' bir FCC kristal yapıya sahiptir. (uzay grubu $F\bar{4}3m$, $a=2.2$

nm)[80]. Mg–RE alaşımlarına, örneğin Mg–Gd ve Mg–Y gibi Zn'nin eklenmesi, yaşlanma sertleşmesi tepkisinde önemli bir artışa neden olur. Geliştirme, kaba prizmatik plakaların ya bazal plakalar ya da uzun periyotlu (LPO) yapılarla değiştirilmesiyle çökelti dağılımının iyileştirilmesine bağlanmıştır. Mg - 2.5Gd - 1Zn (% 'de) alaşımında, ekstrüzyon ve ısıl işlemin ardından mikro yapı, magnezyumun bazal düzlemlerine paralel bir 14 H istifleme oluşturan ince bazal plakalardan oluşuyordu [81]. Zn'nin Mg-Y sistemine [82] ve Mg - Nd - Zn sistemine [83] eklenmesi için benzer gözlemler rapor edilmiştir. Mg-RE alaşımlarını kullanarak ekstrüzyon ve çökeltme sertleştirmesi yoluyla yüksek mukavemetli magnezyum alaşımları geliştirme potansiyeli gösterilmiştir.

Literatür incelemelerine bakıldığında biyobozunur WE43 hakkında referans olarak gösterilen Mg- 4Y- 3,2RE alaşımının [84] değerleri önderliğinde tetkikler yapılmış olup çözeltili sertleştirmesinin alaşımının sahip olduğu direncin artışında çokça mühim olduğu görölmüştür [85]. Su ve arkadaşları, Mg–4Y–2.4Nd–0.2Zn–0.4Zr alaşımının 200, 225 ve 250°C sıcaklıklarda sırasıyla 70,20 ve 5 saat sürelerle yaşlandırma işlemine tabi tutularak çökelti güçlendirmesi, maksimum çekme ve akma gerilmesi, düşük uzama değerleri ile 200°C pik yaşlandırma olduğu gözlemlenmiş olup 250°C'de yapılan yaşlandırma işleminde yaşlandırma süresini çok kısa tutarak uzatmayı düşünmemek ile beraber o derece de yapılmış olan çalışmayı göz ardı etmişlerdir[86]. Mukai ve arkadaşları, WE43'ün 525°C'de 5 saat normalizasyonu, 200°C'de 100:1 oranında ekstrüzyon işlemi uygulanmış ve 200°C'de yaşlandırma işlemi uygulanmış koşullardaki alaşım özellikleri incelenmesi sonucunda; ekstrüzyon işlemi sonrası faz morfolojisinde tane incelmesi ile taneler arası geçiş ile oluşan kırılmanın minimuma indirgenerek daha fazla dayanım ve süneklik kazandığını savunmuştur [87]. Panigrahi ve arkadaşları, Çökelti sertleşmesi ile dövme işlemlerinin uygulandığı WE43'ün tane boyutunda oluşan incelme, pekleşme ve yaşlandırma işlemlerinin totalinin etmiş olduğu tesir önderliğinde dayanımda oluşan yükselme mekanik özellikleri olumlu yönde etkilemiştir [88]. Kang ve arkadaşları Mg- 4.2Y- 2.5Nd- 1Gd- 0.6Zr (WE43) alaşımına %0,2 oranında çinko ihtiva edilmesiyle 525°C sıcaklık 8 saat süre ile homojenleştirme işlemi sonrası 250°C'de 16 saat yaşlandırma işlemi yaparak faz morfolojisinde ve mekanik özelliklerinde meydana gelen etki incelenmiş olup, hızlandırılmış bir çökeltme sertleşmesi kinetiğine, nihai gerilme mukavemetinde ve

süneklikte artış gözlemiş olmalarına rağmen yüzdece eklenen alaşım elementinin artan yüzdelere ile kıyaslama yöntemine gidilmemek ile beraber malzemeyi daha dayanıklı hale getirebilecek ekstrüzyon işlemi uygulanmamıştır[89]. Babacan ve arkadaşları, 525°C'de 8 saat homojenleştirme işlemi sonrası izotermal olamayan koşullarda yaşlandırma işlemine tabii tutulan WE43'ün mikro sertlik ölçümleri, TEM ve çekme testleri ile mikroyapısal ve mekanik özellikleri incelenerek NIA işlemlerinin çökeltilerin sağlamış olduğu etkiler vasıtasıyla daha kısa sürede daha yüksek mekanik özellikler gösterdiği görülmüştür [90]. Bhattacharyya ve arkadaşları, WE43 alaşımına T5, T6 ve T8 yaşlandırma işlemleri uygulanarak çökeltilerin sayı yoğunluğunun arttırmak adına araştırmalar yapılmış ve T5 yaşlandırma işleminin mukavemet, süneklik ve enerji tüketimi açısından optimum olduğunu belirtmelerine karşın çinko, kalsiyum, kalay ve stronsiyum gibi veya daha farklı bir alaşım elementi ilave edilerek alaşımın özelliklerinin incelenmesi yapılmamıştır [91]. Ghorbanpour ve arkadaşları, WE43 alaşımının monotonik ve döngüsel davranışını plakalara uygulanan T5 ve T6 işlemleri ile inceleyerek T5 durumundaki P2 plakasının, hem yuvarlanma yönü (RD) hem de enine yön (TD) boyunca gerilimde kırılmaya kadar en yüksek mukavemete ve uzamaya sahip olmasının yanı sıra P2'nin üstün düşük döngüsel yorulma (LCF) ve yüksek döngüsel yorulma (HCF) davranışı sergilediğini gözlemlemiştir [92]. Knapik ve arkadaşları, WE43 magnezyum alaşımı, 525°C'de 16 saat homojenleştirme işlemi sonrası 210 ve 250 °C'de 196 saate kadar izotermal yaşlanma Young modülünde %0,4 – 2,5 oranında bir artışa neden olurken, 450 °C'ye değin ısıtmada mekanik spektroskopik ölçümleri, yarı uyumlu ve tutarsız çökeltiler ve matris arasındaki arayüzlerde gevşemenin neden olduğu ~350 °C'de bir dahili sürtünme zirvesi tanımlanmıştır[93]. Kang ve arkadaşları, önceden deforme olmuş bir WE43 magnezyum alaşımının izotermal olarak 250 ve 300 °C'de yaşlandırıldığında mekanik özellikler, ön deformasyonun, sırasıyla 250 ve 300 °C'de tepe yaşlandırılmalı alaşım için akma mukavemetini 19MPa ve 54MPa artırabileceğini ve çekme uzamalarını açıkça bozmayacağını belirtmiştir [94].

2.4. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜM YÖNTEMLERİ

Magnezyum alaşımının düşük viskoziteleri nedeni ile akışkanlık özellikleri kusursuz buna karşın hidrojen porozitesine karşı olan duyarlılığı bir o kadar azdır ve

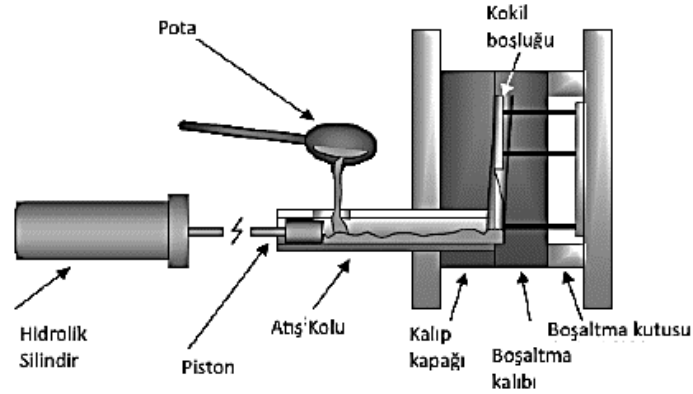
bu niteliklerinin kazandırdığı harikulade katılma karakteristikleri ile alüminyum ve bakır gibi metallere kıyasla dökülebilirlik özellikleri çok daha iyidir [95]. Döküm işlemi, magnezyum bileşenlerinin yapısal uygulamalarında yaklaşık olarak %98'ini temsil eden domine bir üretim süreci olmuştur [21].

Ergime esnasında magnezyumun oksijen ile afinitesi göz önünde bulundurulduğunda ergiyik formundaki metal yüzeyin oksidasyona karşı muhafaza edilmemesi koşulunda yanma ve oksitlenme meydana gelmektedir. Magnezyumda alüminyuma kıyasla ergiyik metal yüzeyinde devamlı ve geçirimli olmayan oksit tabakasına rastlanılmadığı için oksijen bu zayıf olan tabakadan sızar ve yanmaya sebebiyet verir. Dolayısıyla, magnezyumun dökümü esnasında argon (Ar), korbondiyoksit (CO_2) ve kükürt hekzaflorür (SF_6) gibi koruyucu gazlardan veya flakstan yararlanılarak oksijenin geçiriminin önüne geçilmelidir [21,95]. Magnezyum ve alaşımlarının döküm proseslerinde oksitlenme problemlerine karşı yüzey korumasını sağlayan $CO_2 + 0,8 SF_6$ koruyucu gaz karışımı ile ilgili 1960'ların sonlarından beri yapılan çalışmaların göstermiş olduğu sonuçların neticesinde SF_6 'nın önemli bir dönüşüm ya da tahribata karşı koruduğu [96] ve tercih edilen inhibitör, hava veya karbon dioksit ile bir karışımda düşük seviyelerde SF_6 kullanımı, SO_2 'ye göre daha iyi eriyik koruması sağlarken aynı anda SO_2 depolama ve kullanımıyla ilgili toksisite ve tahriş edici sorunların meydana gelmediği gözlemlenmiştir [97].

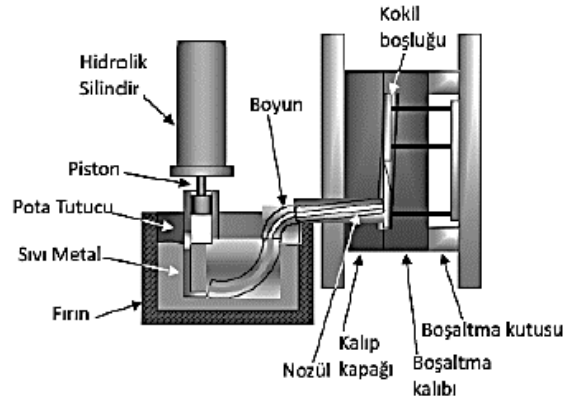
2.4.1. Yüksek Basıncılı Döküm

Magnezyum gibi hafif alaşımların döküm işlemlerinde yaygın olarak kullanılan yüksek basınçlı döküm yöntemi dizayn ve imalde geniş bir yelpaze sunmaktadır. Döküm işlemlerinde etkileyici bir kalıp doldurma karakteristiğine sahip olan magnezyumun büyük hacimli, ince cidarlı ve kompleks parçaların dökümünün ekonomik bir şekilde imaline olanak verir [98]. Magnezyumun yüksek basınçlı döküm prosesinde genel olarak soğuk kamaralı ve sıcak kamaralı olmak üzere kullanılan bu iki yöntem Şekil 2.20'de gösterilmektedir. Soğuk kamara tipi dökümde (Şekil 2.20 (a)), döküm ağzı ya da döküm deliği yardımıyla ergiyen metal soğuk hazne silindirine aktarımı sağlanır ve hidrolik piston ile yüksek basınç altında enjekte edilir. Bu döküm tipinde kalıp boşluğunu doldurması gerekenden daha fazla ergimiş formdaki metal

silindir içerisinde bulunarak kalıp boşluğundaki alaşımı katılaştırma süresi boyunca basınç altında tutulmasına yardımcı olur ve döküm parçasından fazlalık olan bu kısım kesilerek atılır [99]. Sıcak kamara tipi dökümde de (Şekil 2.20 (b)), makine ile bağlantılı bir fırın içinde daldırılmış konumdaki enjeksiyon mekanizması mevcuttur. Yükselen hidrolik piston vasıtası ile ergiyük formdaki metal silindire akarak yüksek basınç altında kalıbı doldurur ve katılaştıran metal döküm parçası olarak çıkarılır [100]. İnce duvarlı parçaların (0,8- 1,0 mm) imalinde sıcak kamara tipi soğuk kamara tipi döküme göre daha elverişli ve ekonomik olarak daha avantajlı olurken soğuk kamara tipi döküm birçok ticari magnezyum alaşımlarının dökümünde kullanılmaktadır [101].



(a)

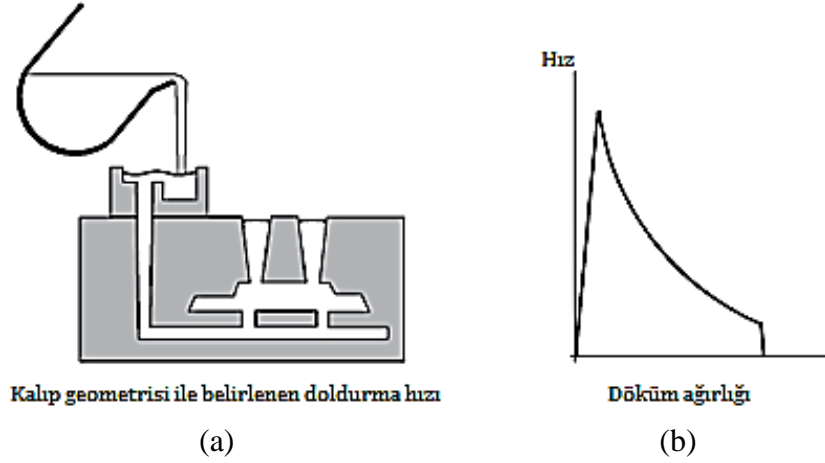


(b)

Şekil 2.20. Yüksek basınçlı döküm yöntemleri (a) soğuk kamara tipi ve (b) sıcak kamara tipi [95].

2.4.2. Gravite Döküm

Magnezyumun yüksek üretkenliği ve üstün dökülebilirlik nedenleri ile hâlihazırdaki imalinde yüksek basınçlı döküm prosesi baskın olsa da bilhassa az nicelikte parça üretiminin arzu edildiği koşullarda gravite döküm (Şekil 2.21) oldukça yaygın kullanılan bir döküm tekniği olmuştur. Bu döküm yönteminde ergiyik durumdaki metal havadan doğrudan boşaltma havuzuna dökülerek kalıbı doldurur ve kalıp içinde ani yön değiştirmeler oksit inklüzyonlarının veya gaz oluşumunun artışına sebebiyet verir [21,95,102].

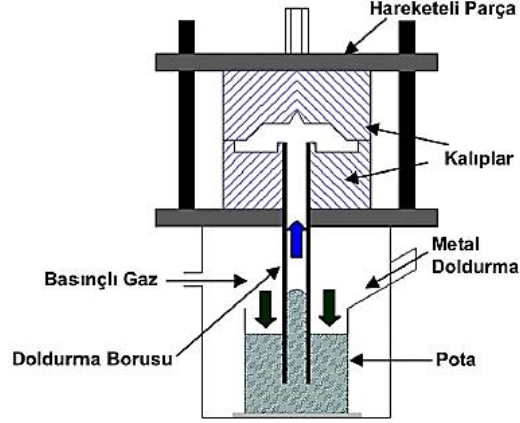


Şekil 2.21. (a) Gravite döküm yöntemleri ve (b) döküm ağırlığı- hız değişimi [102].

2.4.3. Düşük Basınçlı Döküm

Ergiyik durumdaki metalin aşağı konumda olduğu kalıbın ise yukarı konumda bulunduğu düşük basınçlı döküm prosesinde (Şekil 2.22) erimiş metal basınç ile kalıba enjekte edilir. Düşük basınçlı pota, kalıp ve potadaki erimiş metalin yüzeyi arasındaki farkın üstesinden gelmek ve erimiş metali besleme borusu, besleyici ve geçit sisteminden kalıp boşluğuna yükselmeye zorlamak için yeterlidir. Kalıp boşluğu doldurulduğunda, katılaşma sırasında dökümün büzülmesini telafi etmek için metali yükselticilere beslemeye devam etmek için uygulanan basınç artırılır. Döküm tamamen katılaştıktan sonra dış basınç serbest bırakılır. Besleme sisteminin uygun tasarımı ile besleme tüpündeki metal hala erimiş haldedir ve potaya geri akar. Gözenek

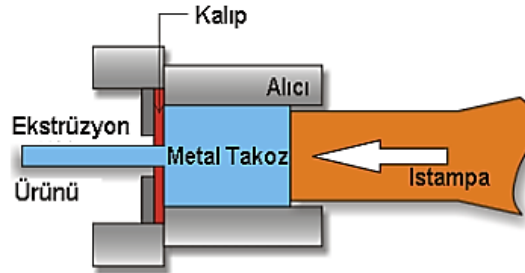
oranının düşük olduğu bu döküm tekniğinde optimum döküm kalitesi ve verimliliğin yüksek olduğu magnezyum alaşımlarının imali gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.22. Düşük basınçlı döküm yöntemi [95].

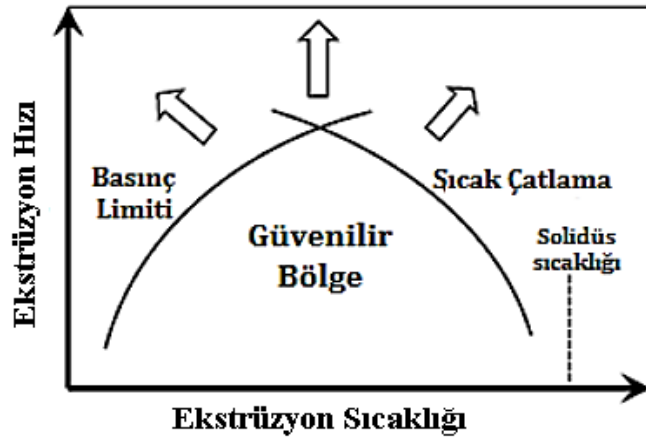
2.5. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ EKSTRÜZYON İŞLEMLERİ

Magnezyum alaşımlarının katı formdayken akma dayanımlarını aşan gerilmelere maruz bırakılarak meydana gelen kalıcı olarak şekil değiştirme işlemlerinde sıcak ekstrüzyon, dövme ve sıcak haddeleme gibi yöntemler kullanılmak ile beraber bu yöntemler arasında ekstrüzyon homojen ve dar kesitli uzun profillerin imaline olanak sağlayan majör bir prosestir. Ekstrüzyon, bir malzemenin bir delik veya kalıptan akmasına neden olan bir kuvvetin uygulanmasıyla plastik deformasyona uğradığı bir işlemdir [56,103]. Şekil 2.23’de görüleceği gibi direkt ekstrüzyon prosesinde metal takoz alıcı kovan içine konulur ve ıstampa yardımı ile aşağı doğru hareket uygulanarak matris içerisinden geçirilen ekstrüze edilen nihai ürün elde edilir [4,103,104].



Şekil 2.23. Direkt ekstrüzyon yöntemi [4].

Magnezyum alaşımlarında çoğunlukla kullanılan direkt ekstrüzyon yönteminin sınırları mevcuttur. Bu sınırların gösterilmiş olduğu Şekil 2.24’de deformasyon limiti, stabil ekstrüzyon makinesinin sahip olduğu basınç yetisi ile orantılı özgül ekstrüzyon limitindeki varyasyon iken sıcaklık limiti ise sıcak çatlamanın ortaya çıktığı konumu belirtmektedir. Sıcak yırtılma riski biyetin sahip olduğu sıcaklığın magnezyumun katılma sıcaklığına yaklaşması ile artmaktadır. Deformasyon ve sıcaklık limitleri arasında ekstrüzyon için optimum güvenli bölge meydana gelmektedir.



Şekil 2.24. Direkt ekstrüzyon yönteminin sınırları [105].

Karmaşık bir proses olan ekstrüzyon yöntemi, proses değişkenleri (ekstrüzyon hızı, ekstrüzyon sıcaklığı ve ekstrüzyon oranı) ve malzemenin yüksek sıcaklıklarda sahip oldukları nitelikler ile arasında bağlantı barındırmaktadır [103].

2.5.1. Ekstrüzyon Hızı

Ekstrüzyon hızı ticari alaşımların imalinde verimliliğe ve maliyetine direkt tesiri olan majör bir parametredir. Ekstrüzyon hızı ekonomik sebepler yüzünden yüksek arzu edilmektedir lakin sıcak gevrekliğe olan yatkınlık ve mekanik niteliklerde indirgenme meydana gelmesinden ötürü kısıtlamalar mevcuttur. Ekstrüzyon edilebilme eğilimi sadece ekstrüzyon hızına değil beraberinde mekanik nitelikler ve şekillerin yüzey kalitesine de bağlıdır. Kalıntı gerilme, ilk tekstür ve mikroyapısal karakterizasyon ile

bağlantılı olan ekstrüzyon hızı malzemenin ekstrüze edilebilme eğilimini belirtmektedir [106].

2.5.2. Ekstrüzyon Sıcaklığı

Magnezyumun şekillendirilebilirlik özellikleri sıcaklığı düşük olduğu koşullarda verimsiz olmalarına bağlı olarak yüksek sıcaklıkta ekstrüzyon işlemine maruz bırakılır ve böylece daha düşük ekstrüzyon basıncı uygulanarak işlem tamamlanılabilir. Çünkü sıcaklığın yüksek olması nedeni ile deformasyon kolaylıkla meydana gelirken rekristalizasyon ve toparlanma gibi işlemlerde senkronik olarak gerçekleşmektedir. Rekristalizasyon mekanizmasını şekillendiren ekstrüzyon sıcaklığı nihai malzemenin mekanik özelliklerinin saptanılmasını temin ederken aynı zamanda alaşımın kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak mikroyapısal karakterizasyonu ve tekstür oluşumunu şekillendirerek ekstrüzyon esnasında belirli sıcaklıktaki dinamik rekristalizasyonu meydana getirir [107].

2.5.3. Ekstrüzyon Oranı

Ekstrüzyon esnasında gerçekleştirilen mekanik iş niceliğini gösteren ekstrüzyon oranı, $R = \frac{A_0}{A_s}$ denklemi ile yani biyet kesit alanının ürün kesit alanına oranlanması ile bulunur ve ekstrüzyon oranının yüksek olması yüksek gerinmeye düşük olması ise düşük gerinmeye sebebiyet vermektedir. Tane boyutuna mühim bir tesiri olan ekstrüzyon oranının düşük gerinme oluşturduğu koşullarda iri taneli ve kırılğan bir yapı meydana getirir ve dolayısıyla arzu edilen mekanik ve fiziksel özelliklere rastlanılamaz [107].

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında, herbiri ağırlık %0,5 ve %1 oranları arasında değişken şekilde kalsiyum, stronsiyum, kalay ve çinko alaşım elementli Mg-Y-Nd sistemli magnezyum alaşımları (WE43) düşük basınçlı döküm tekniği ile yapılmıştır. Üretilen malzemelerin bir kısmı döküm sonrası çökeltme sertleşmesine tabii tutulurken diğer bir kısmı ise homojenleştirme sonrası ekstrüzyon işlemi ve bu işlem akabinde ise çökeltme sertleşmesine maruz bırakılmıştır. Üretimi tamamlanan malzemelerin döküm sonrası çökeltme sertleşmesi ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumlarındaki alaşım karakterizasyonu (metalografik işlemleri ve mikroyapısal karakterizasyonu (OM ve SEM), XRD, XRF), sertlik testi, korozyon ve aşınma özellikleri incelenmiştir.

3.1. ALAŞIMLARIN ÜRETİMİ

3.1.1. Döküm Yöntemi

Mg-Y-Nd sistemli (WE43) alaşımlarının ergitme ve dökümünde KBÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında bulunan dış gövdesi çelik malzeme ve iç kısmının refrakter tuğlayla kaplı atmosfer kontrollü eriyik bazlı düşük basınçlı döküm sistemi kullanılmıştır ve ergiyik silindir formdaki metal bir kalıba dökülmüştür. Döküm işleminde ilk etapta %99,9 saflıktaki magnezium külçeleri potaya yüklenmiş ve ergitme ocağının iç sıcaklığını ölçmek adına çift ısı ve sızdırma olmaması için ocağın üst kapağına O-ring yerleştirilmiştir. 780°C'ye gelen pota sıcaklığında önce master alaşımı olan Mg-30Zr dışındaki bütün alaşımlar küçük parçalar şeklinde pota içerisine atılarak 15 dakika boyunca harmanlama işlemi yapılmış olup daha sonra 200°C'de çok küçük parçalar şeklinde ısıtılan master Mg-30Zr alaşımı ergiyik içine ihtiva edilip karıştırılmıştır. Dolayısıyla üretim iki etapta tamamlanmıştır. Ergitme

sırasında potanın atmosfer ile olan ilişkisini kesme amacıyla ergitme ocağına CO₂+ 0,8 SF₆ koruyucu gaz verilmiştir. Farklı bir fırında 700°C'ye ısıtılan sıvı metal boru eriyik içerisine daldırılmış ve boru üstünde 300°C ısıtılan kalıp 2 bar basınçta doldurulmuştur.

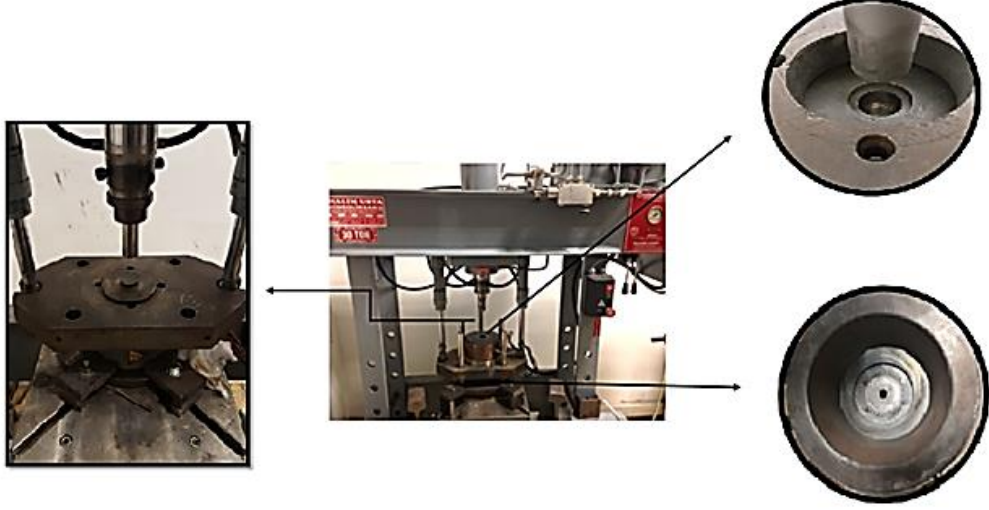
3.1.2. Homojenleştirme Isıl İşlemi

WE43 ve WE43 (ağ.%0,5 ve %1) Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının üretimi sırasında mikroyapısal karakterizasyonda meydana gelebilecek mikrosegregasyonların ortadan kaldırılması ve ekstrüzyon sırasına deformasyona direnç gösteren termal dengesinin düşük olduğu ikincil fazların matris faz içerisinde çözünebilmesine olanak sunmak nedeniyle ekstrüzyon öncesi alaşımlara homojenleştirme ısıl işlemi uygulanmıştır. İngot dökümlerin çevresi alüminyum folyo sarılarak SiO₂+Grafite kum karışımı içinde 525°C'de 8 saat boyunca tutulmuştur ve homojenleştirme süresi tamamlanan alaşımlar fırından çıkarılarak suya daldırılarak soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.1.3. Ekstrüzyon İşlemi

Homojenleştirme işlemi tamamlanan alaşımlara Şekil 3.1'de verilmiş olan ve KBÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında bulunan hidrolik pres ile ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon işlemi için gereken kalıpların ısıtılması kuşak rezistanlar ile yapılarak 350°C'de 0,3 mm/s hızında alaşım ekstrüze edilmiş olup prese bağlı olan ünite ile sıcaklık denetimi sağlanmıştır. Ekstrüzyon kalıp içi, zımba ve biyetler ısıya dayanıklı Molykote D-321R MoS₂ bazlı yağlayıcı kullanılarak ekstrüzyon öncesi yağlama yapılmıştır. Biyet boyunca homojen sıcaklık dağılımının olması adına alaşımlar ısıl işlem fırınında 1 saat ekstrüzyon işlemi için gereken sıcaklığa gelene denk bekletilmiş olmak ile beraber fırından çıkarılıp kalıp içine konulan biyetlerin fırından kalıp içine konulana kadar kaybedilen sıcaklık kaybını tekrar düzenlemek adına kalıp içerisinde bir süre beklemiştir. Biyet arzu edilen sıcaklıkta olunca prese takılmış zımba 0,3 mm/s hızla 32 mm çap ve 30 mm boya sahip olan biyete uyguladığı baskı ile 8mm çaptaki kalıp deliğinden alaşımın geçmesini sağlamıştır. Bu çalışma kapsamında ekstrüzyon işlemleri için $EO = A_0/A_s$

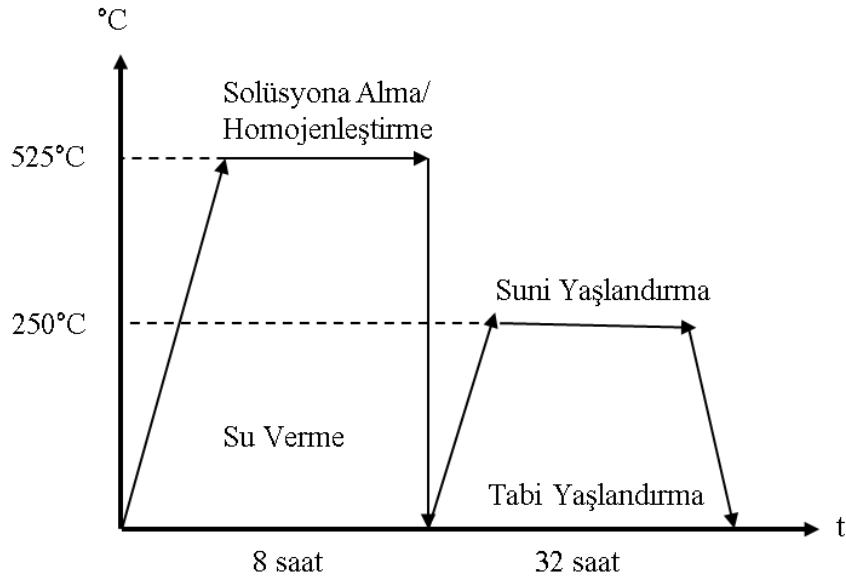
denkleminden yola çıkarak biyet çapı 32 mm ve ekstrüzyon çıkış çapı 8 mm olarak hesaplama işlemi yapıldığında ekstrüzyon oranı 16:1 olarak bulunmuştur.



Şekil 3.1. Ekstrüzyon işleminin yapıldığı hidrolik pres.

3.1.4. Çökelme Sertleşmesi Isıl İşlemi

Döküm işlemi ve ekstrüzyon işlemi tamamlanmış olan alaşımların çökelme sertleşmesi işleminde Şekil 3.2’de de gösterildiği gibi öncelikler tek fazlı bir yapı elde ederek tamamen çözünme sağlanması amacıyla 525°C’de 8 saat boyunca SiO₂+Grafit kum karışımı içerisinde tekrar homojenleştirme ısıl işlemine tabi tutulmuş olup homojenleşen malzemeler suda soğutulmuştur. Tamamen çözünmeyi sağlayan homojenleştirme işlemi sonrasında ise malzemeler 12500 CST silikon yağı içerisinde 250°C sıcaklık 32 saat süresince tutulmuş olup suni yaşlandırma işlemi görmüştür ve süre bitiminde tekrar suda soğutma işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.2.Çökeltme sertleştirme ısı işleme uygulama kademeleri.

3.2. ALAŞIMLARIN KARAKTERİZASYONU

3.2.1. Metalografik İşlemler ve Mikroyapısal Karakterizasyonu

İncelenmesi planlanan her bir numune 10 mm yüksekliğinde su soğutmalı şerit testerede kesilerek metalografi işlemleri öncesine hazır hale getirmek adına her bir numune epoksi reçine ve sertleştirici yardımıyla yapılan soğuk bakalit ile bakalite alınmıştır. Bakalite alma işlemi tamamlanan numuneler Mikrotest marka otomatik zımparalama ve parlatma cihazında ortalama tane boyutu 68, 46.2, 35, 25.8, 21.8, 18.3 ve 8.4 μm (320, 400, 600, 800, 1000, 2500 grid) olan SiC partikülleri ile kaplanmış zımpara kağıtları kullanılarak parlatma öncesi zımparalama işlemi gerçekleştirilmiş olup 3 μm 'luk Al_2O_3 sıvı solüsyonu ile parlatma işlemi tamamlanmıştır ve dağlama işlemi için 6 gr $\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7$, 5 ml CH_3COOH , 10ml saf su ve 100 ml $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ile oluşturulan pikral dağlayıcı kullanılmıştır. Mikroyapısal karakterizasyonlarının incelenmesi için Carl Zeiss Microscopy 3154000184 Primotech MAT 12 V DC 30 W optik mikroskop ve detaylı incelemeler için Carl Zeiss Ultra Plus Gemini marka SEM ve faz morfolojileri için ise SEM cihazı ile bağlantılı olan EDX'e bakılmıştır.

3.2.2. XRD Analizi

Düşük basınçlı döküm tekniği ile imali tamamlanan tüm numunelerin X-Işını Difraktometresi yöntemi ile tarama açısı 10-90°, tarama hızı 3°/dakika yapılan ve KBÜ MARGEM’de bulunan Rigaku Ultima IV marka XRD cihazı kullanılmıştır.

3.2.3. XRF Analizi

Döküm sonrası KBÜ MARGEM’de bulunan Rigaku ZSX Primus II marka X- Işınları Floresans prosedürü (XRF) ile elementler ve yüzde ağırlık miktarları her elementin x ışını karakterizasyonundan faydalanılarak elementel kompozisyonu saptanılmıştır.

3.3. SERTLİK TESTİ

Metalografik prosedürlere uygun olarak hazırlanmış olan numunelerin sertlik testleri KBÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Brinell sertlik test cihazı ile belirlenmiş olup HB-3000B Brinell sertlik ölçme cihazında kuvvet ve çap olarak 187,5 N 2,5 mm çelik bilya kullanılmıştır.

3.4. KOROZYON TESTİ

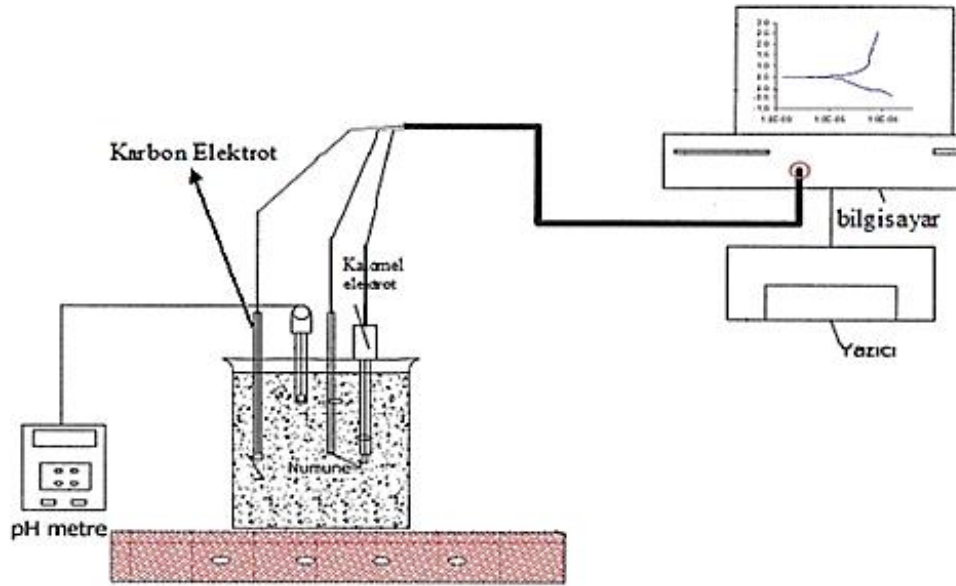
3.4.1. Daldırma Korozyonu Testi

Daldırma korozyon testi için çapları 8 mm olan numunelerin boyları 15 mm olarak ayarlanan silindir şeklindeki numuneler ultrasonik temizleyici içerisinde yüzey temizlenmesine tabi tutulmuştur ve her numunenin tek tek yüzey alan hesaplanması yapılmış olup ağırlık ölçümleri Precisa marka hassas terazi ile gerçekleştirilmiştir. Kavanoz yardımı ile yapılan deneyde her bir numune file içinde kavanoz içerisine konulan %3,5 NaCl solüsyonuna daldırılmıştır ve korozyon testi 2, 4, 6, 8, 10, 12 ve 24 saatleri içinde yapılmıştır. Her saat aralığında numune yüzeyinde oluşan korozyon kalıntıları ultrasonik içerisinde önce 182 gr CrO₃ ve 1L saf su ile elde edilen kromik temizleyici ile daha sonra numunede olan kromik asidin temizlenmesi için saf su kullanılmıştır ve en son olarak C₂H₅OH ile temizlenen numune kurutulmuştur.

Kurulama işlemi yapıldıktan sonra numunenin ağırlık ölçümü yapıp tekrar daldırma korozyona tabi tutulmuştur. Daldırma korozyon işlemi neticesinde her saatte numunede meydana gelen ağırlıktaki azalmalar ve totalde olan korozyon hızları hesaplanmıştır.

3.4.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Korozyon Testi

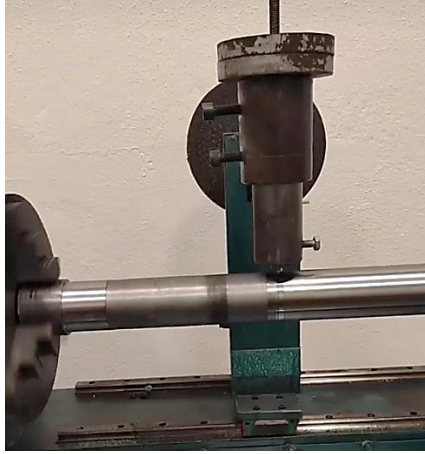
Potansiyodinamik polarizasyon testi bilgisayar denetiminde DC105 Gamry model PC4/ 300 mA potansiyostat/ galvanostat cihazında yapılmış olup, zıt elektrot grafit çubuk(CE), referans doymuş kalemel elektrot (SCE) ve 0,19 yüzey alanına sahip çalışma elektrotu (numune) olarak Şekil 3.3'te verilen üç elektrot sistemi kullanılarak %3,5 NaCl solüsyonu içerisinde gerçekleştirilmiştir. Korozyon potansiyeli dengelendiğinde $\pm 0,25$ mV aralığında ve 1 mVs-1 hızında tarama yapılarak tafel eğrileri oluşmuştur. Korozyon testi için 8 mm çapa ve 10 mm boyutunda kesilen silindir numunelerin etrafı bakır tel ile çevrelenerek soğuk bakalite alınmıştır ve test için 2500 μm zımparaya kadar zımparalanmış numunelerin yüzeylerine yüzey alanı 0,19 cm^2 olan bantlar yapıştırılarak, numuneler potansiyodinamik polarizasyon korozyon testine bırakılmıştır.



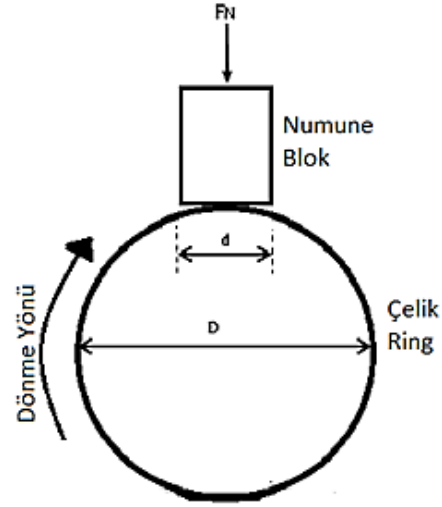
Şekil 3.3. Potansiyodinamik polarizasyon korozyon testinin sistemi.

3.5. AŞINMA TESTİ

Aşınma testi için kullanılan block on ring aşınma testi Şekil 3.4 (a) ve çalışma prensibi Şekil 3.4 (b)'de verilmiştir. Bu aşınma testinde malzemenin aşınan yüzeyinin maruz kaldığı aşındırıcı yüzey 1.2379 soğuk iş takım çeliğinden yapılmıştır. Aşınma testi için hazırlanan numunenin yerleştirileceği apart için 8 mm çapa sahip olan numuneler 21,10 mm boyunda diskaton yardımı ile kesilmiş ve aşınma işleminin gerçekleştirileceği yüzey 1000 µm zımparaya kadar zımparalama işlemi yapılarak, C₂H₅OH ile temizlenmiştir. Block on ring aşınma işlemi stabil 3m/s kayma hızında ve 20 N yük altında kayma mesafesi 6000 m olacak şekilde yapılmıştır. Teste başlamadan önce ve her 2000 metrede bir Precisa marka hassas terazi ile ağırlık ölçümü alınmıştır ve block on ring aşınma işlemi sonunda mesafeye bağlı ağırlık kaybı grafiği (g/m) ve aşınma hız grafiği (g*N/m) çizilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.4. (a) Block on ring aşınma cihazı ve (b) çalışma prensibi.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. ALAŞIMLARIN KARAKTERİZASYON SONUÇLARI

4.1.1. XRF Analizi (Kimyasal Kompozisyon) Sonuçları

Dökümleri tamamlanan alaşımların kimyasal kompozisyonlarını belirlemek amacı ile yapılan XRF analizi Çizelge 4.1’de verilmiştir. Nominal bileşim olan Mg-Y-Nd sistemi olan WE43 alaşımı ve bu alaşıma (ağ. %0.5 ve %1) Ca, Sr, Sn ve Zn gibi toprak alkali, geçiş ve zayıf metaller grubundan olan alaşım elementlerinin takviyesi ile arzu edilen hedefler elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Üretilen alaşımların XRF analizi.

Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)								
Alaşımlar	Y	Nd	Zr	Ca	Sr	Zn	Sn	Mg
WE43	3,785	2,608	0,661				-	Kal.
WE43%0.5 Ca	3,789	2,679	0,437	0,531	-	-	-	Kal.
WE43%1 Ca	3,737	2,809	0,414	0,964	-	-	-	Kal.
WE43%0.5 Sr	3,836	2,749	0,746	-	0,514	-	-	Kal.
WE43%1 Sr	3,775	2,669	0,737	-	0,936	-	-	Kal.
WE43%0.5 Zn	3,710	2,650	0,480	-	-	0,475	-	Kal.
WE43%1 Zn	3,720	2,854	0,774	-	-	0,968	-	Kal.
WE43%0.5 Sn	3,886	2,985	0,448	-	-	-	0,479	Kal.
WE43%1 Sn	3,817	2,786	0,754	-	-	-	0,916	Kal.

4.1.2. XRD Analizi Sonuçları

Mg-Y-Nd sistemi olan WE43 alaşımına ve bu alaşıma takviye edilen (ağ. %0.5 ve %1) Ca, Sr, Sn ve Zn alaşım elementlerinin yapıda meydana getirdiği fazları belirlemek

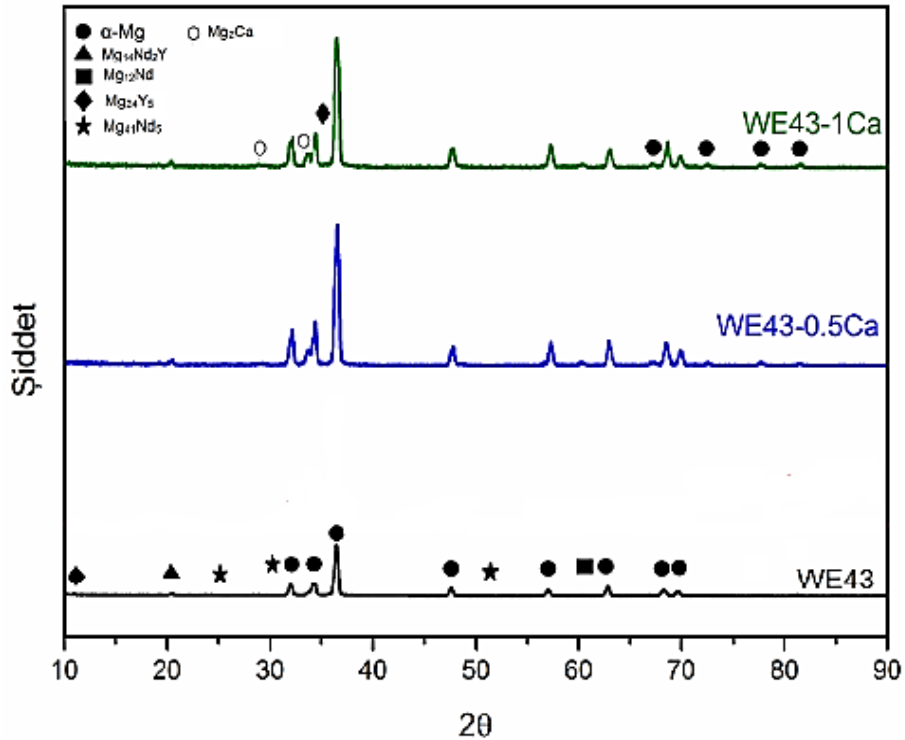
amacı ile yapılan XRD analiz sonuçları Şekil 4.1- 4.4 arasında verilmiştir ve bu sonuçlara göre, WE43 magnezyum alaşımına genel olarak bakıldığında magnezyum ile itriyum ve neodimyumun oluşturduğu ikili ve üçlü intermetalikler olarak $Mg_{14}Nd_2Y$, $Mg_{12}Nd$, $Mg_{24}Y_5$ ve $Mg_{41}Nd_5$ intermetaliklerinin varlığı belirlenmiştir.

Alaşıma takviye edilen Ca elementi etkisi ile Mg_2Ca intermetaliklerinin faz yoğunluğu artmaktadır (Şekil 4.1).

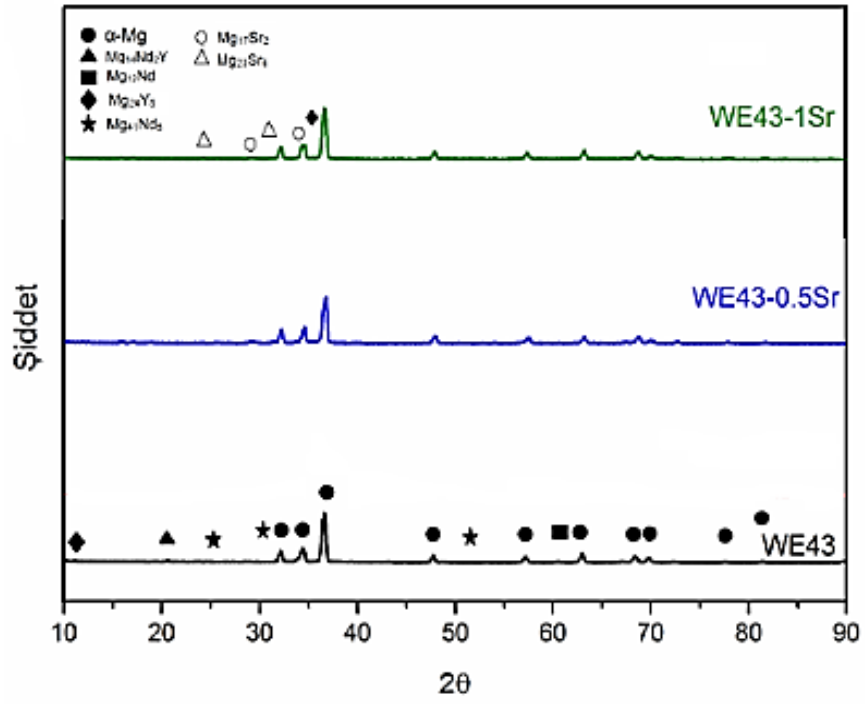
%0.5-1 oranlarında Sr takviyesi ile Şekil 4.2’de gösterildiği gibi Mg ve Sr’nin beraber oluşturduğu $Mg_{17}Sr_2$ ve $Mg_{23}Sr_6$ ikili intermetalik fazları tespit edilmiştir.

Sn ilavesi ile (Şekil 4.3) Y açısından zengin olan Sn_3Y_5 fazı meydana gelirken bu faz alaşımda kalay oranının artması ile giderek daha fazla kendini göstermektedir.

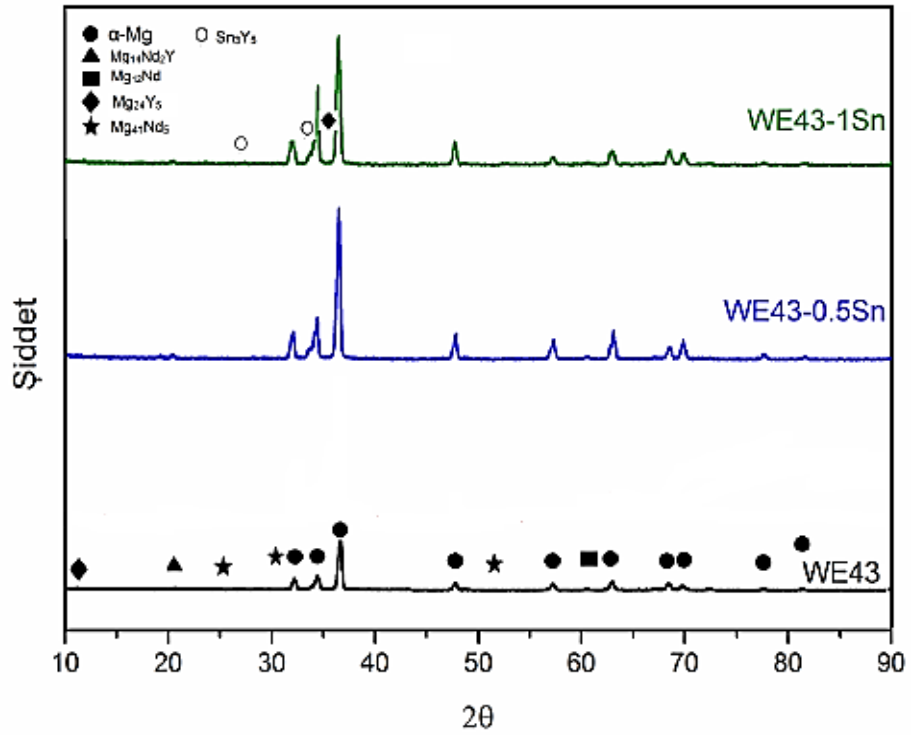
Alaşıma Zn takviye edilmesi ile ise (Şekil 4.4) $Mg-Zn-Nd$, $Mg_{12}YZn$, $Mg_3Zn_3Y_2$ ve Mg_3Zn_6Y üçlü intermetalik fazların oluşumu görülürken bu fazlar artan çinko takviyesi ile daha belirgin olarak kendini göstermiştir.



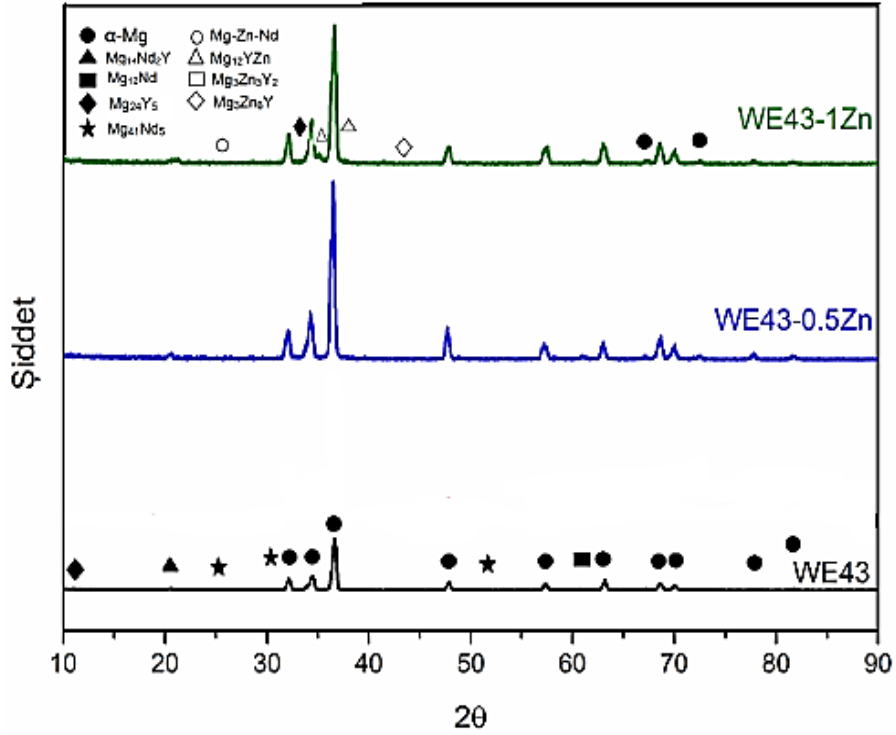
Şekil 4.1. WE43, WE43%0.5 Ca ve WE43%1 Ca alaşımlarının XRD sonuçları.



Şekil 4.2. WE43, WE43%0.5 Sr ve WE43%1 Sr alaşımlarının XRD sonuçları.



Şekil 4.3. WE43, WE43%0.5 Sn ve WE43%1 Sn alaşımlarının XRD sonuçları.



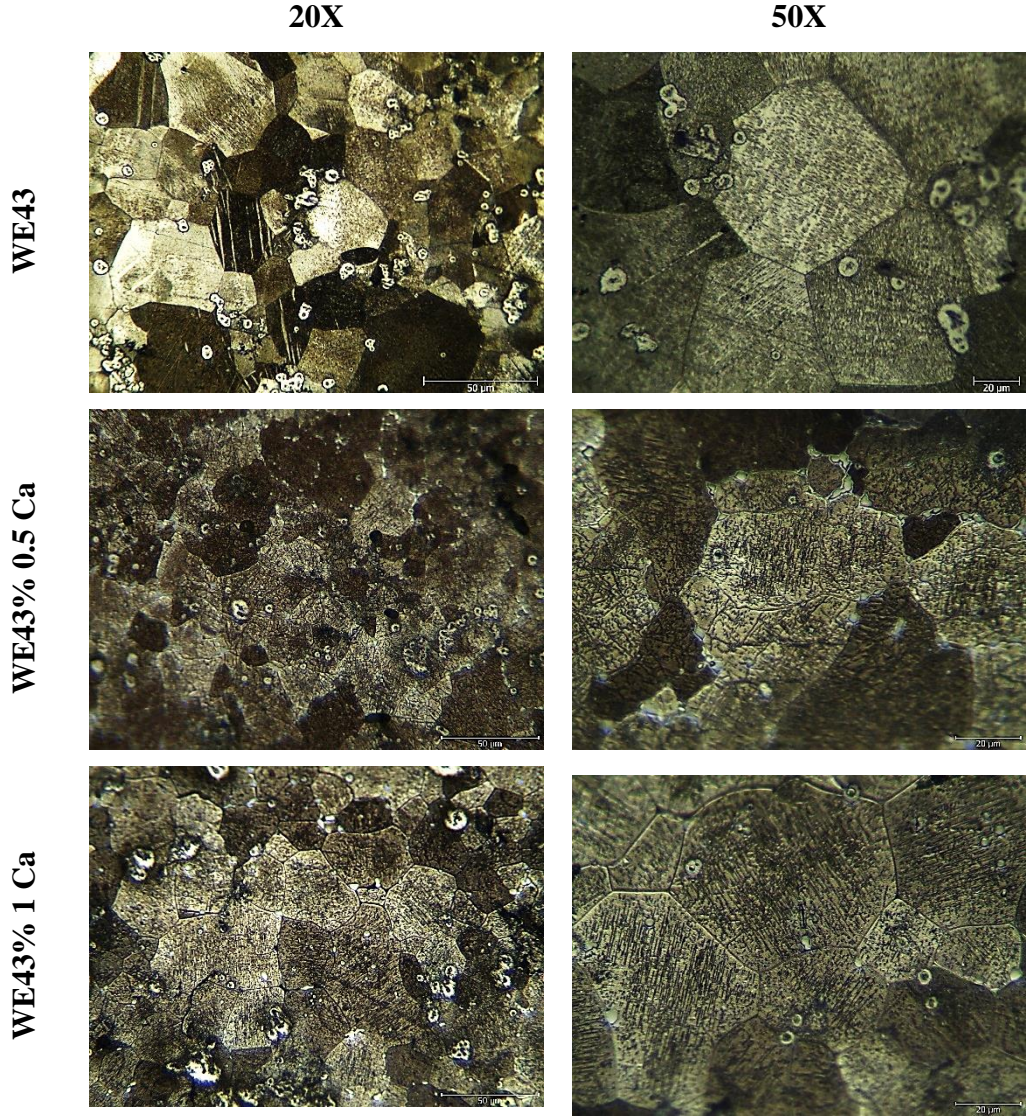
Şekil 4.4. WE43, WE43%0.5 Zn ve WE43%1 Zn alaşımlarının XRD sonuçları.

4.1.3. Mikroyasal Karakterizasyonların Sonuçları

4.1.3.1. Döküm Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımların OM Analizleri

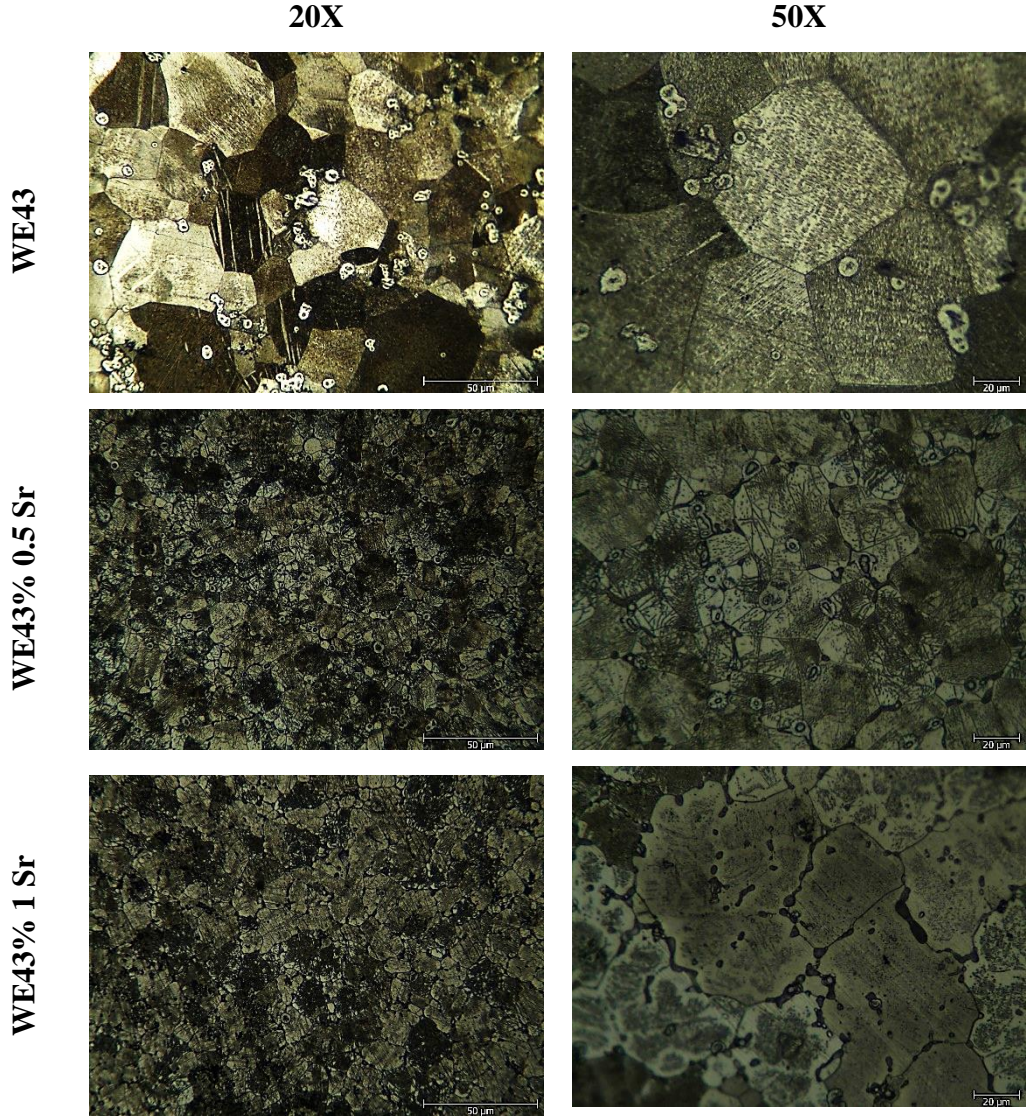
Dökümü tamamlanan WE43 ve WE43 %0.5 ve %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlara çökeltme sertleşmesi işlemi uygulanarak faz morfolojilerinde olan değişimler Şekil 4.5- 4.8 arasında verilmiş olup genel olarak gözlemlenen XRD sonuçlarında da belirtildiği gibi yapıların α -Mg tanelerinden oluştuğu ve ısıtılma işlemi çöktürmelerinin tane içi ve tane sınırlarında olduğudur.

Şekil 4.5'te görülmekte olan alaşıma takviye edilen kalsiyum tane inceltici bir şekilde kendini gösterirken aynı zamanda ileriki bölümlerde SEM görüntülerinde destekleyeceği şekilde artan kalsiyum içeriği ile Mg-Ca ikili faz diyagramlarında da [48] varlığına rastlanılan Mg_2Ca intermetalik fazının hacim fraksiyonu artmıştır. Ek olarak, görüntüler Mg_2Ca 'nın interdendritik alanlar arasında ve tane sınırları boyunca ötektik faz şeklinde dağılımını göstermektedir.



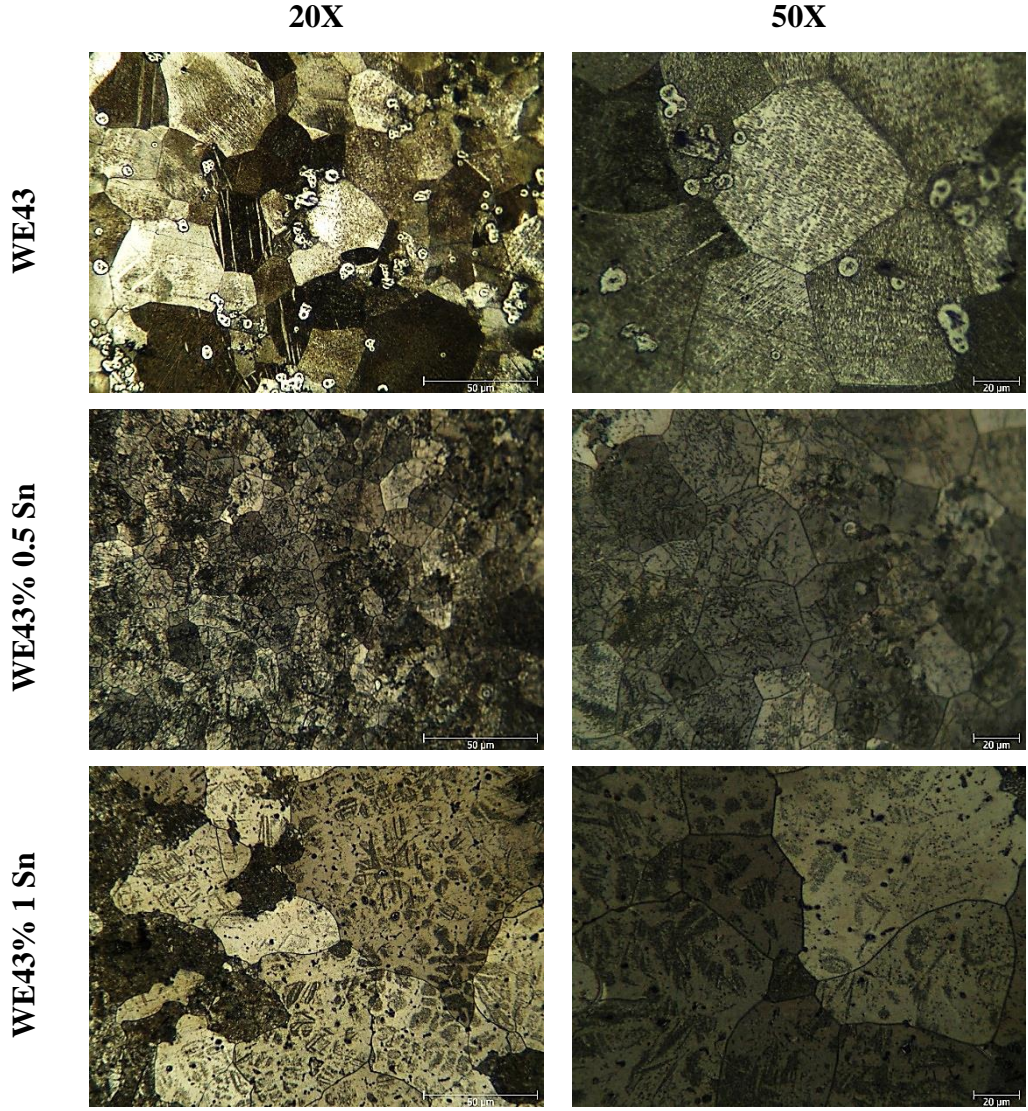
Şekil 4.5. WE43, WE43%0.5 Ca ve WE43%1 Ca alaşımlarının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumunda OM analizleri.

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi takviyesiz WE43 alaşımına kıyasla az fakat artan stronsiyum takviyeli WE43 alaşımlarına mukayese edildiğinde tanelerde bir miktar büyüme gözlemlenmek ile beraber tane yüzeylerinde dentritik yapılara rastlanılmıştır.



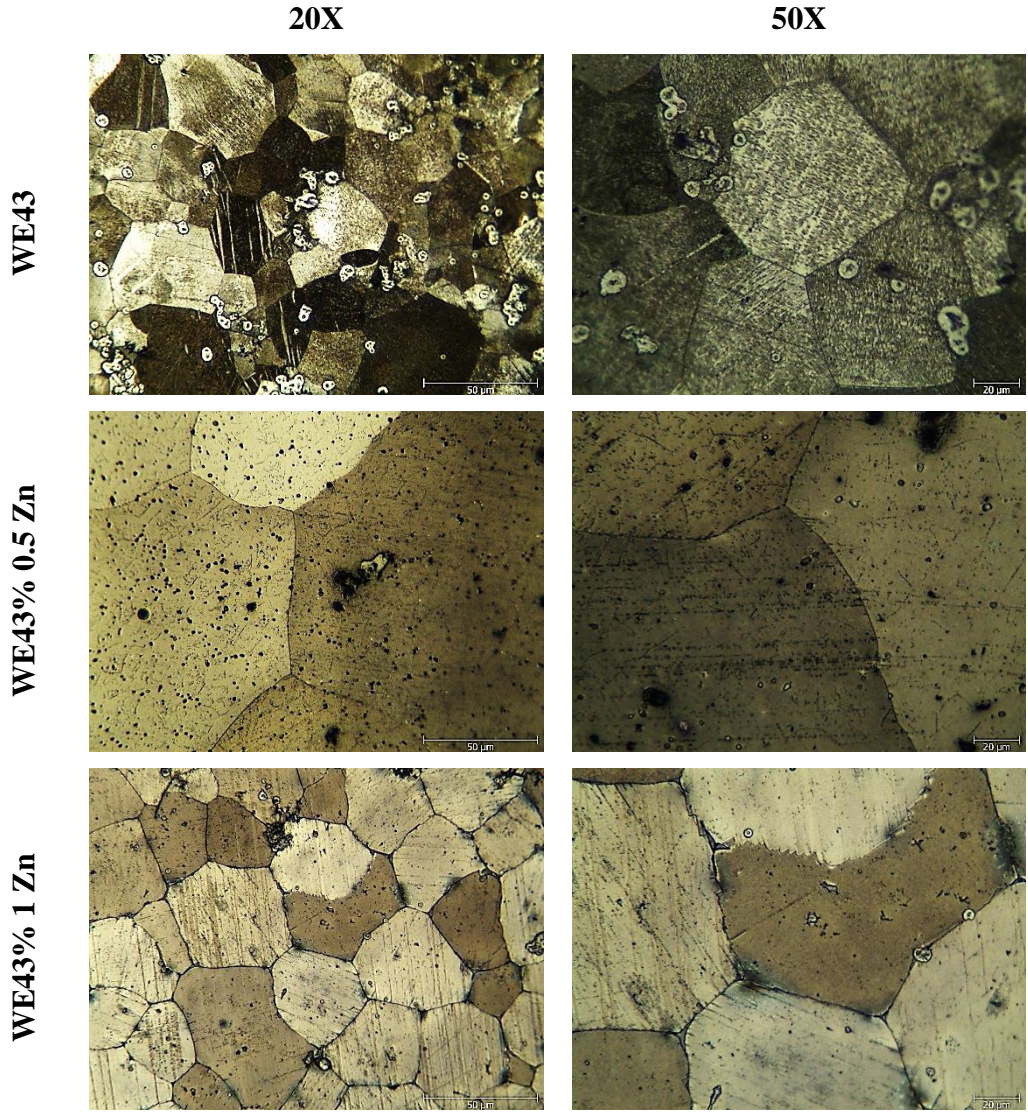
Şekil 4.6. WE43, WE43%0.5 Sr ve WE43%1 Sr alaşımlarının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda OM analizleri.

Şekil 4.7’de verilmiş olan kalay takviyeli alaşımlarda artan kalay ile XRD analiz sonuçlarındada kendini gösteren ve ileriki bölümlerde SEM görüntüleri ile desteklenecek olan Sn_3Y_5 intermetalığı tane içleri ve tane yüzeylerinde görülmektedir. Ayrıca bu intermetalik tane yüzeylerinde bariz bir dentritik yapı oluştururken çok sayıda ince tanelerde bu intermetalikte network şeklinde toplanır [108].



Şekil 4.7. WE43, WE43%0.5 Sn ve WE43%1 Sn alaşımlarının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda OM analizleri.

Şekil 4.8’de ise takviyesiz WE43 alaşımına kıyasla çinko takviyesi ile hacimsel olarak tanelerde bir fraksiyon gözlemlenirken %0.5 Zn takviyesinde meydana gelen düzensiz büyüme %1 Zn takviyesi ile daha düzenli ve sıkı bir faz morfolojisine yerini bırakmaktadır. Buna ek olarak XRD analizlerindedeki görülen ve özellikle %1 Zn takviyeli alaşımda belirgin olan Mg-Zn-Y tipi olan intermetalikler α - Mg fazlarının tane sınırları boyunca bir ağ formunda sardığı gözlemlenmiştir.



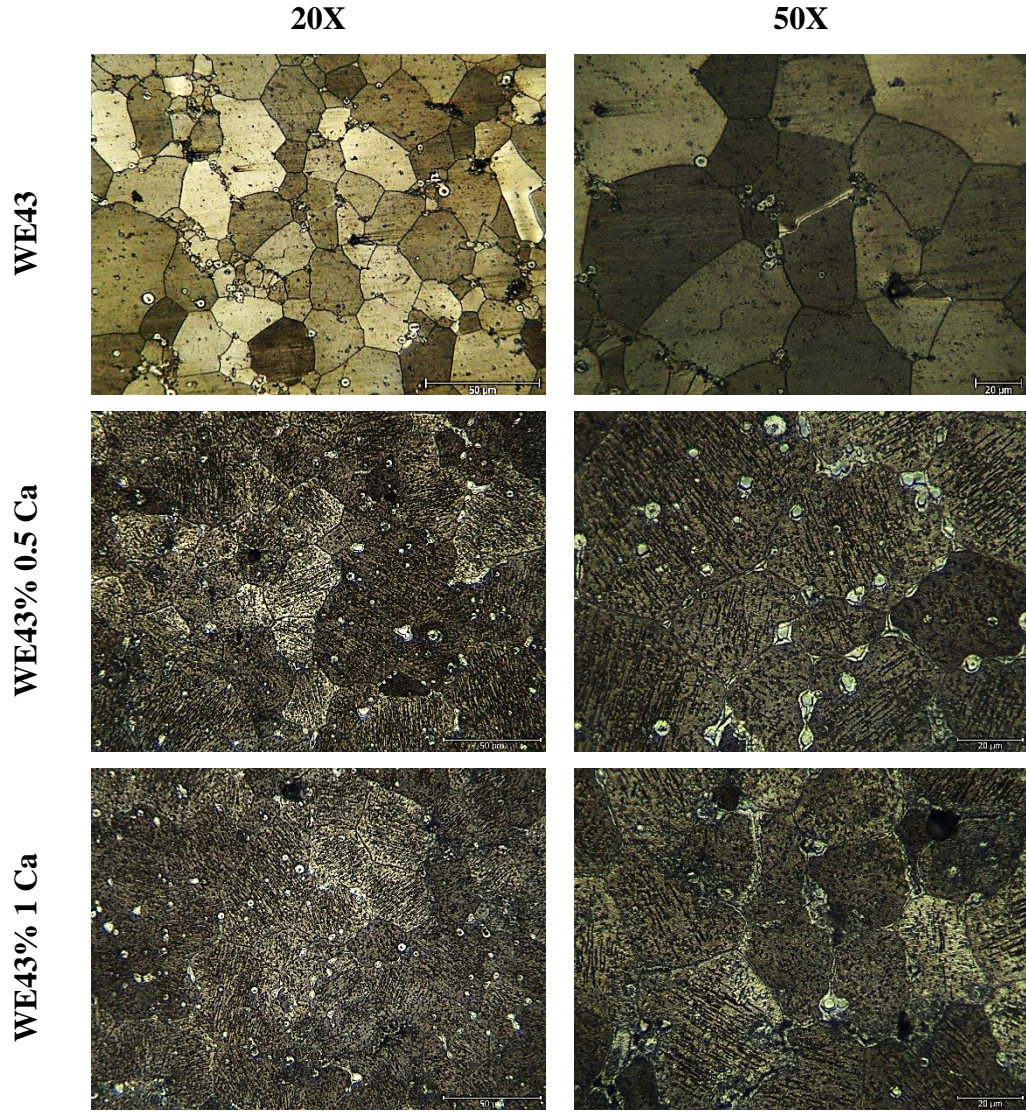
Şekil 4.8. WE43, WE43%0.5 Zn ve WE43%1 Zn alaşımlarının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumunda OM analizleri.

4.1.3.2. Ekstrüzyon Sonrası Çökelme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımların OM Analizleri

Ekstrüzyon işlemi sonrası WE43 ve WE43+ %0.5 ve %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlara çökelme sertleşmesi işlemi uygulanarak faz morfolojilerinde olan değişimler Şekil 4.9- 4.12 arasında verilmiş olup bir tek ekstrüzyon uygulanan alaşımlara kıyasla [106] daha büyük tane yapıları mevcutken ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi uygulanması durumu göz önüne alındığında genel olarak tüm alaşımlarda ekstrüzyon

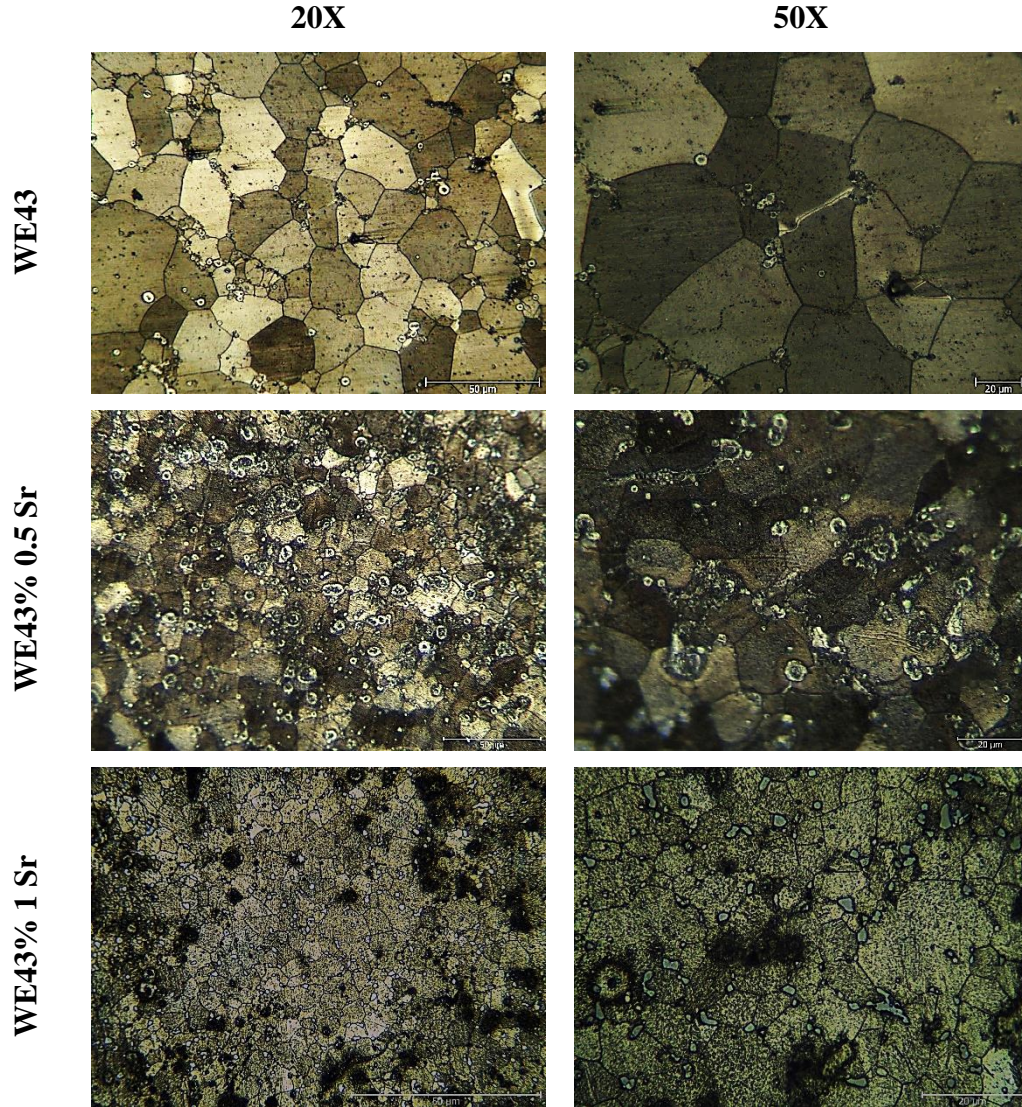
yönündeki tane yapıların daha küçük ve eş eksenli olduğu ve intermetaliklerin tane sınırlarında birikmiş olarak gözlediğini söylemek mümkündür.

Şekil 4.9’da verilen kalsiyum takviyeli WE43 alaşımlarının daha öncede belirtildiği gibi Mg_2Ca intermetalliği tane sınırlarında gri kontrast olarak kendini EDX analizlerinde göstermiş olup artan kalsiyum takviyesiyle de daha fazla yoğunlaşmıştır.



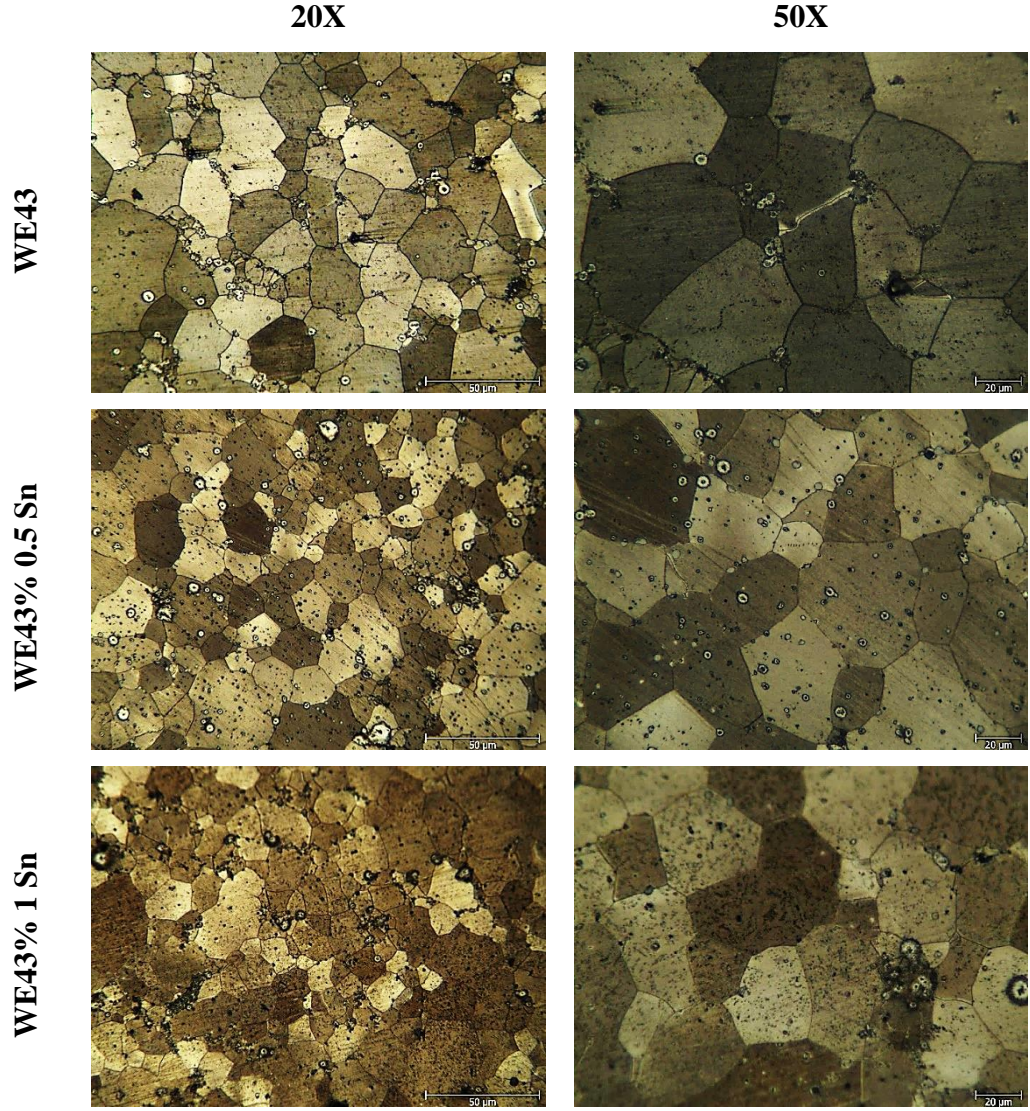
Şekil 4.9. WE43, WE43%0.5 Ca ve WE43%1 Ca alaşımlarının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda OM analizleri.

Şekil 4.10'da görülen artan stronsiyum takviyesi ile gri kontrast rengindeki intermetaliklerin taneyi kısmen sardığı kısmense tane sınırlarına çökeldeği görülmektedir.



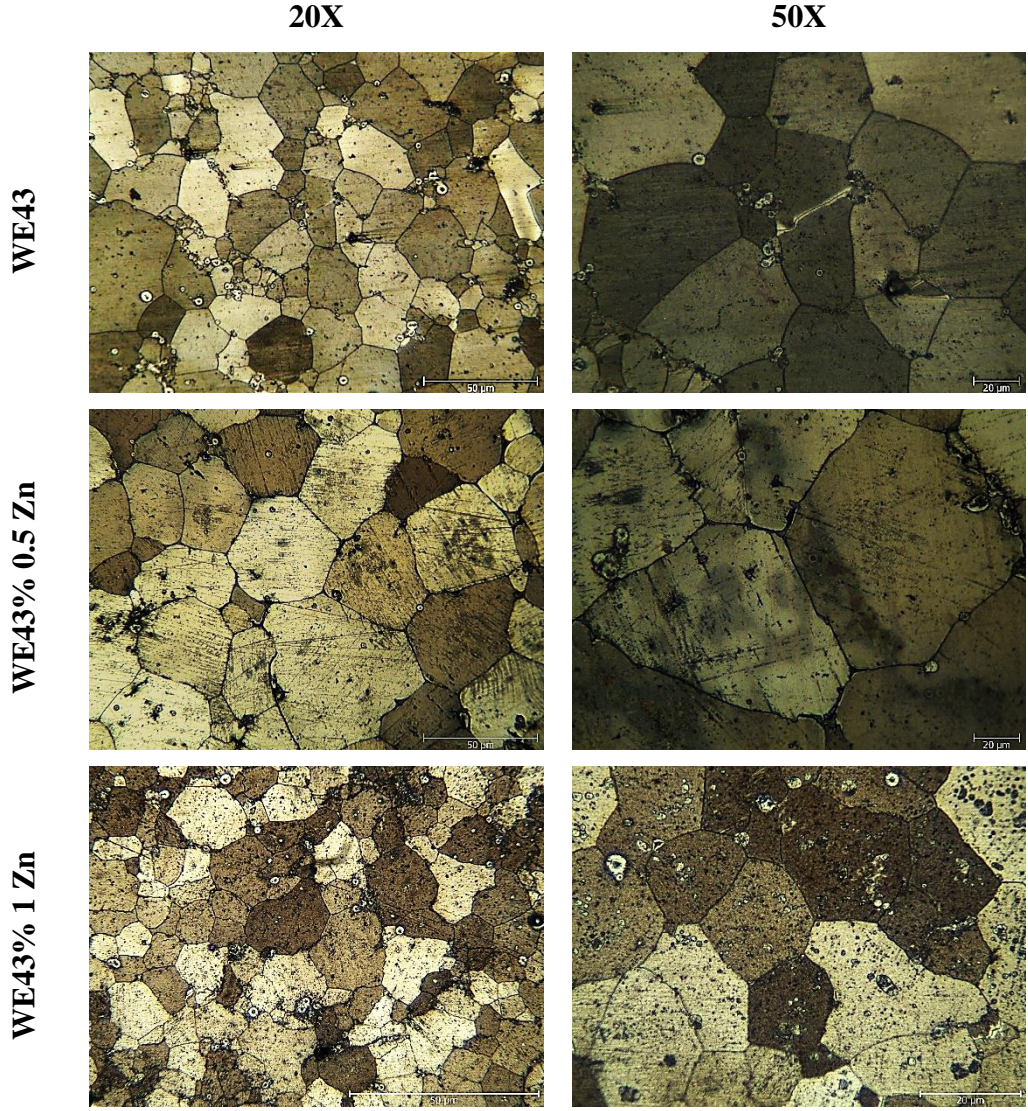
Şekil 4.10. WE43, WE43%0.5 Sr ve WE43%1 Sr alaşımlarının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda OM analizleri.

Şekil 4.11'de ekstrüzyon vasıtasıyla meydana gelen tane boyutundaki incelmeye ek olarak artan kalay ilavesi de tane boyutunda diğer alaşımlara kıyasla bir küçülme görülmüştür.



Şekil 4.11. WE43, WE43%0.5 Sn ve WE43%1 Sn alaşımlarının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda OM analizleri.

Şekil 4.12’de çinko takviyesinin artması ile yer yer tane sınırlarında yer yer ise tane yüzeylerinde gri kontrasttaki ikincil fazların kendinin gösterdiği görülmektedir.



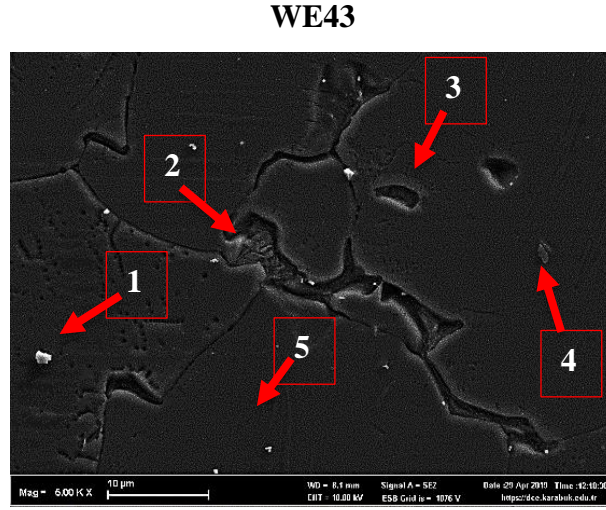
Şekil 4.12. WE43, WE43%0.5 Zn ve WE43%1 Zn alaşımlarının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda OM analizleri.

4.1.3.3. Döküm Sonrası Çökelme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımların SEM ve EDX Analizleri

Dökümü tamamlanan WE43 ve WE43+ %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlara çökelme sertleşmesi işlemi uygulanarak alaşımların faz morfolojilerinde olan değişimleri Şekil 4.13- 4.17 arasında SEM ve EDX ölçümleri ile verilmiştir.

Takviyesiz WE43 alaşımında (Şekil 4.13) 1 nolu nokta ile gösterilen tane içerisinde ve sınırlarında konumlanmış olan ufak beyaz renkli olarak ayırt edilen intermetalik

Mg₂₄Y₅ olduğu saptanılmıştır. 2 nolu noktada çubuk formunda tane sınırlarında konumlanan faz Mg-Y-Nd intermetalığı olduğu gözlemlenmiştir. 3 nolu nokta ile belirtilen düzenli olmayan formda Mg₄₁Nd₅ intermetalığı yer almıştır. 4 nolu noktada ise zirkonyum bakımından zengin fazlara rastlanılırken 5 nolu noktada α-Mg içinde çözünen Y ve Nd fazları mevcuttur.



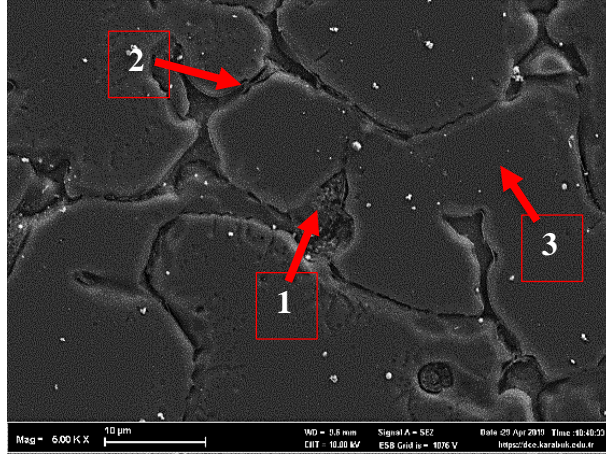
Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr
1	4.14	92.05	1.98	1.82
2	78.05	8.81	12.34	0.80
3	60.89	8.25	30.86	-
4	88.21	1.37	0.41	10.01
5	95.58	2.68	1.74	-

Şekil 4.13. Takviyesiz WE43 alaşımının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.

%1 Ca takviye edilmiş WE43 alaşımında (Şekil 4.14) 1 nolu noktada lamelli bir yapıya sahip olan intermetalığın Mg-Y-Nd-Ca intermetaliklerinden oluştuğu ve 2 nolu noktada belirtilen intermetalığın bir tek 1 nolu noktaya göre daha fazla Nd bulundurarak Mg-Y-Nd-Ca intermetaliklerinden meydana geldiği görülmüş olmak ile beraber bu intermetaliklerin Mg₂Ca ve Mg₄₁Nd₅ olduğu düşünülmektedir. 3 nolu noktada ise Y ve Ca kısmen çözünmüş durumdayken Nd bütünüyle intermetaliklerde yer almıştır.

WE43% 1 Ca



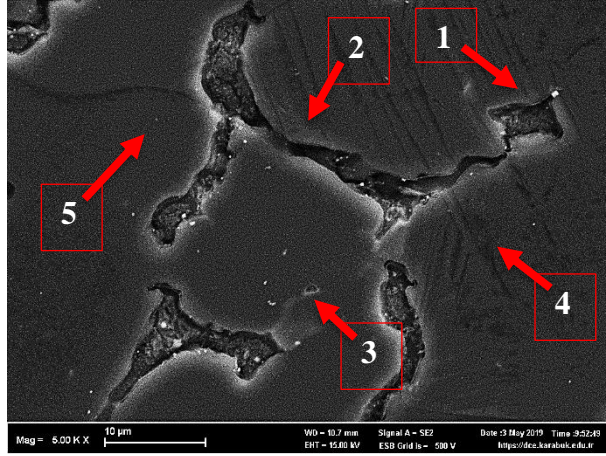
Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Ca
1	62.85	15.01	14.69	0.38	7.06
2	59.88	11.37	21.23	-	7.52
3	97.97	1.60	-	-	0.42

Şekil 4.14. WE43% 1 Ca alaşımının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.

%1 Sr takviye edilmiş olan WE43 alaşımında (Şekil 4.15) 1 nolu noktada gösterilen faz $Mg_{17}Sr_2$ ve $Mg_{41}Nd_5$ intermetalikleri olmak ile beraber bu intermetalikler tane sınırlarını kuşatan lameli bir yapıya sahiptir. 2 nolu noktada ise 1 nolu noktada gösterilen intermetalikler ile bağlantılı olan çubuk formunda $Mg_{14}Nd_2Y$ intermetaligi konumlanmaktadır. 3 nolu noktada tane içerisinde yer alan fazın $Mg_{41}Nd_5$ intermetaligi olduğu ve 4 nolu noktada ise itriyum bakımından zengin olan $Mg_{24}Y_5$ intermetaligi saptanılmıştır.

WE43% 1 Sr



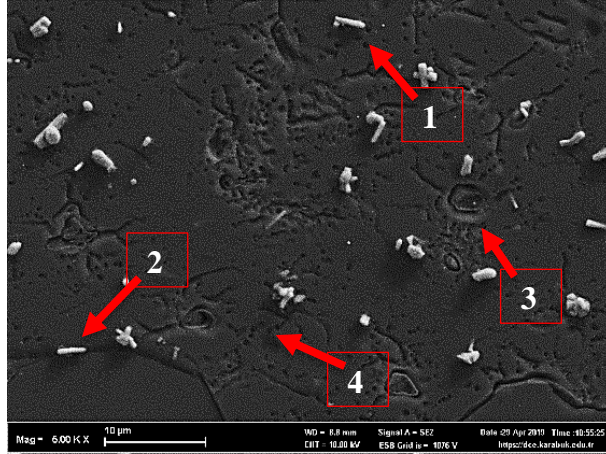
Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Sr
1	69.87	2.79	14.51	-	12.82
2	83.89	6.72	7.69	-	1.70
3	59.82	9.03	30.53	-	0.62
4	5.03	91.12	1.93	1.65	0.27
5	97.75	1.95	0.27	0.03	-

Şekil 4.15. WE43 % 1 Sr alaşımının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.

%1 Sn takviye edilmiş olan WE43 alaşımında (Şekil 4.16) 1 ve 2 nolu noktalarda benzer EDX analizleri tespit edilmiş olup silindirik şekilli tane içerisinde ve sınırlarında XRD analiz sonuçlarındada saptanılmış olan Sn_3Y_5 intermetalığı görülmektedir. 3 nolu nokta ile belirtilen konumda $\text{Mg}_{41}\text{Nd}_5$ intermetalığı gözlemlenirken 4 nolu noktada ise Y ve Sn kısmen çözülmüş durumdayken Nd bütünüyle intermetaliklerde yer almıştır.

WE43% 1 Sn



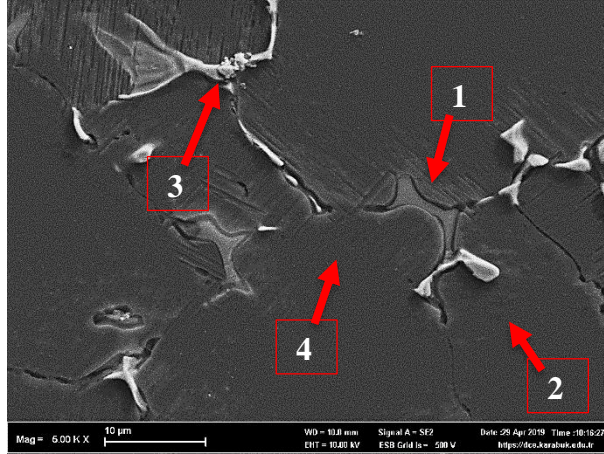
Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Sn
1	10.56	49.33	3.39	2.06	34.67
2	32.36	38.63	0.31	0.69	28.00
3	61.00	8.02	29.42	-	1.56
4	96.84	2.59	-	-	0.57

Şekil 4.16. WE43% 1 Sn alaşımının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.

%1 Zn takviye edilmiş olan WE43 alaşımında (Şekil 4.17) 1 nolu nokta ile belirtilen antrasit renge sahip olan intermetalik Mg-Y-Nd olduğu görülmüştür. 2 ve 3 nolu noktalardaki tane sınırlarında beyaz renge sahip çubuk formundaki intermetalikler ise Mg-Y-Nd-Zn olduğu saptanılırken bu intermetaliklerin kompozisyonunun XRD analizlerindedeki görülen $Mg_{12}ZnY$ ve $Mg_{14}Nd_2Y$ intermetaliklerinin olduğu düşünülmektedir. 4 nolu noktada ise matristen alınan analize göre α -Mg içinde çözünen Y ve Zn fazları mevcutken Nd'nin hemen hemen bütünü intermetaliklerde yer aldığı görülmektedir.

WE43% 1 Zn



Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Zn
1	62.61	11.57	18.30	-	7.52
2	32.54	13.83	26.47	0.15	27.02
3	47.50	11.51	24.62	-	16.37
4	96.98	2.60	-	-	0.39

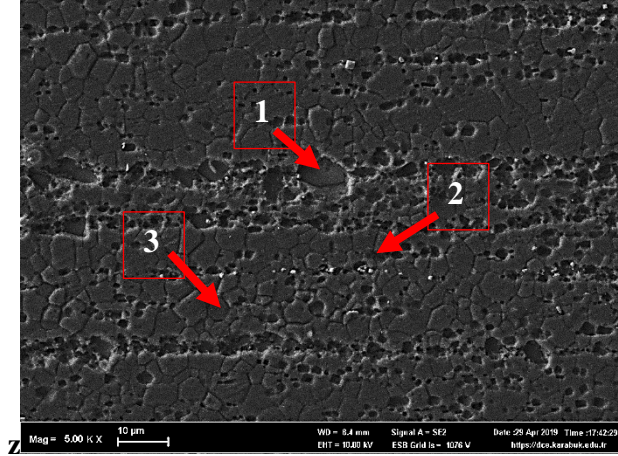
Şekil 4.17. WE43% 1 Zn alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.

4.1.3.4. Ekstrüzyon Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımların SEM ve EDX Analizleri

Ekstrüzyonu tamamlanan WE43 ve WE43+ % 1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlara çökeltme sertleşmesi işlemi uygulanarak alaşımların faz morfolojilerinde olan değişimleri Şekil 4.18- 4.22 arasında SEM ve EDX ölçümleri ile verilmiştir.

Takviyesiz WE43 alaşımında (Şekil 4.18) genel olarak ekstrüzyon doğrultusunda büyük boyutlu çokgen yapıda intermetalikler ve ufak küp şekilli intermetalik fazlar görülmektedir. Döküm sonrası çökeltme sertleşmesi uygulanan alaşımın yapısında var olan $Mg_{41}Nd_5$ intermetalığı 1 nolu noktada bulunurken itriyumca zengin olan $Mg_{24}Y_5$ intrmetalığı 2 nolu noktada bulunmaktadır.

WE43



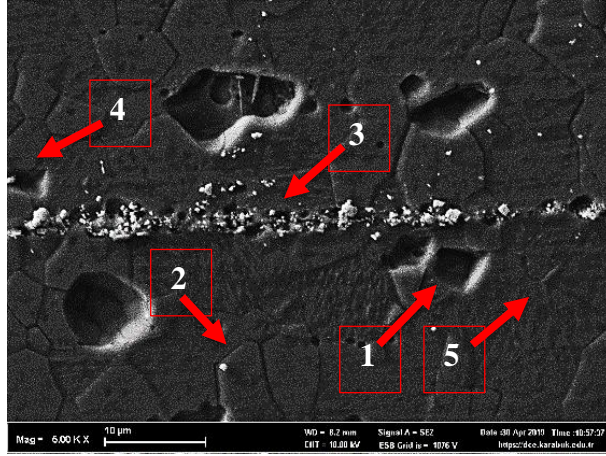
Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr
1	70.18	5.54	24.28	-
2	17.99	76.05	5.13	0.82
3	95.05	3.56	-	1.38

Şekil 4.18. Takviyesiz WE43 alaşımlarının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.

%1 Ca takviyeli WE43 alaşımında (Şekil 4.19) 1 nolu noktada belirtilen gri renge sahip intermetalik Mg-Y-Ca olduğu ve 2 nolu nokta ile gösterilen fazın $Mg_{24}Y_5$ intermetalik olduğu görülmektedir.

WE43% 1 Sr



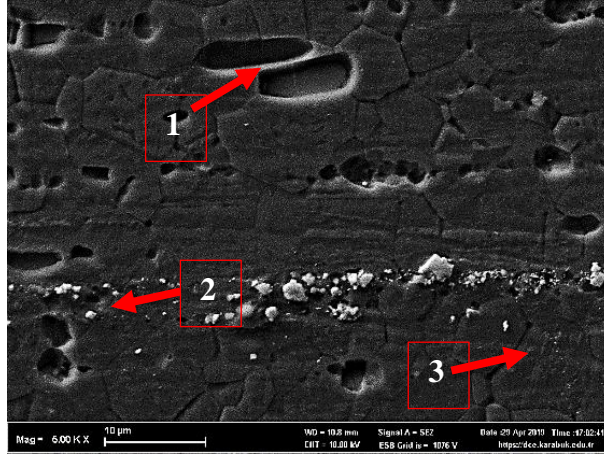
Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Sr
1	64.85	3.31	23.30	0.11	8.43
2	4.99	82.25	6.28	2.61	3.87
3	61.09	2.83	2.82	1.18	32.08
4	20.02	71.81	4.97	-	3.20
5	96.03	2.60	1.38	-	-

Şekil 4.20. WE43 %1 Sr alaşımlarının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.

%1 Sn takviyeli WE43 alaşımında (Şekil 4.21) 1 nolu noktada neodimyumca zengin olma $Mg_{41}Nd_5$ intermetalitiği ve 2 nolu noktada ise ufak boyutlu fazın döküm sonrası çökelme sertleşmesi uygulanan alaşımın yapısında var olan Sn_3Y_5 fazı olduğu saptanılmıştır.

WE43% 1 Sn



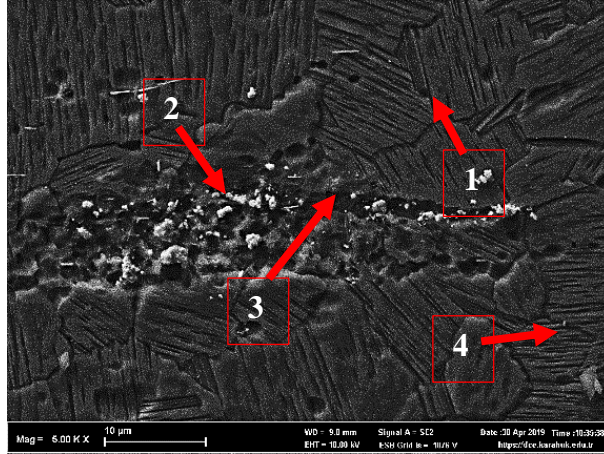
Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Sn
1	66.97	3.37	29.66	-	-
2	29.96	32.73	7.63	1.38	28.29
3	97.61	1.67	-	0.30	0.42

Şekil 4.21. WE43 %1 Sn alaşımlarının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.

%1 Zn takviyeli WE43 alaşımında (Şekil 4.22) ekstrüzyon doğrultusunda küp şeklindeki itriyumca zengin $Mg_{24}Y_5$ intermetalığı 1 ve 2 nolu noktalarda bulunmaktadır. Bu itriyum bakımından zengin olan ikincil fazların tam ortasında yer alan 3 nolu noktada neodimyumca zengin olan $Mg_{41}Nd_5$ intermetalığı belirlenmiş olup 4 nolu noktada ise lamelli bir yapıda olan $Mg_{12}YZn$ intermetalığı görülmektedir.

WE43% 1 Zn



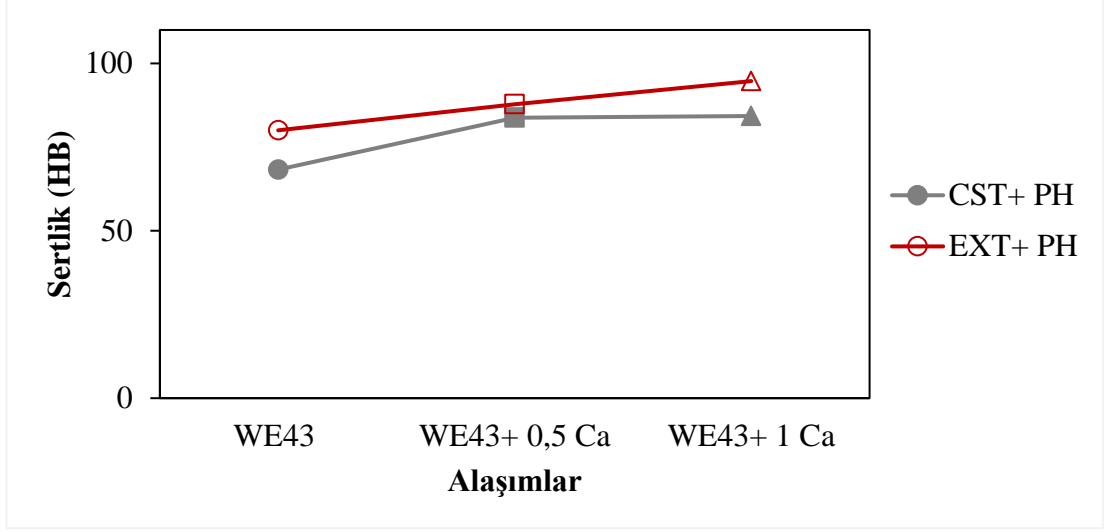
Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Zn
1	21.21	73.81	1.26	1.20	2.52
2	4.38	92.50	-	2.71	0.40
3	61.37	1.75	31.74	0.26	4.88
4	95.10	3.24	-	-	1.66

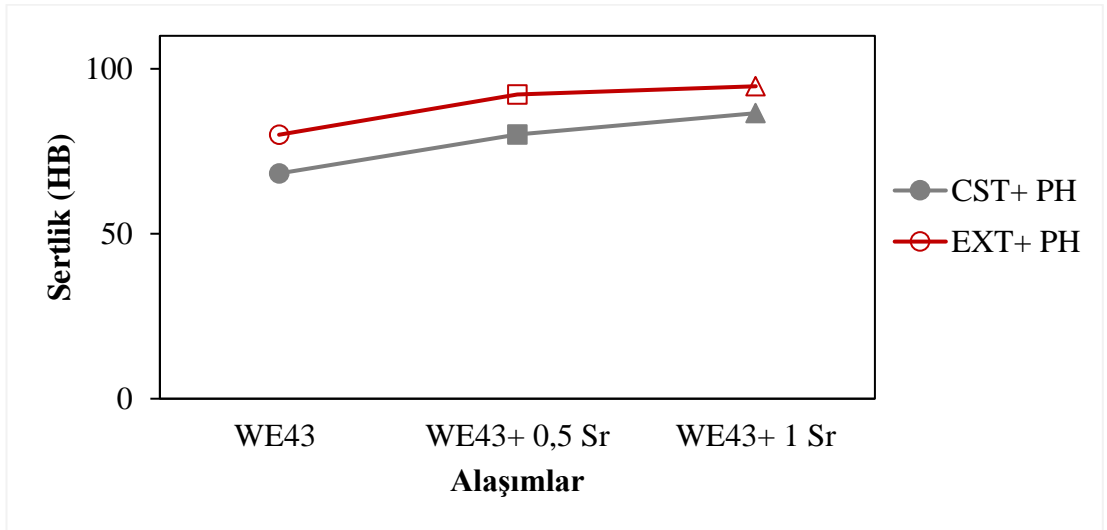
Şekil 4.22. WE43 %1 Zn alaşımının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda SEM ve EDX analizleri.

4.2. SERTLİK TESTİ SONUÇLARI

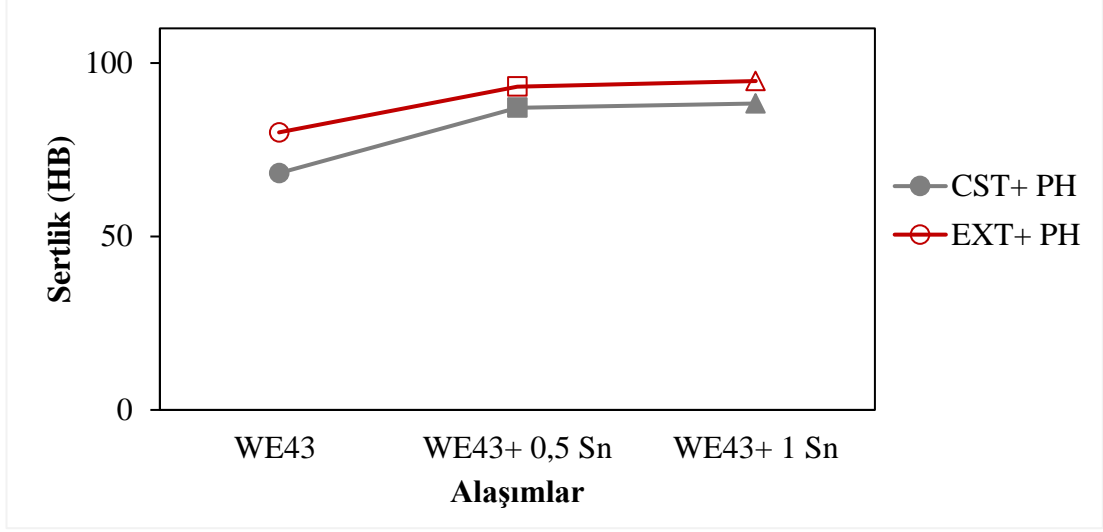
Döküm işlemi akabinde ve ekstrüzyon işlemi sonrasında uygulanan çökelme sertleşmesi işlemi sonucu WE43 ve WE43+ %0,5 ve %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının Brinell sertlik sonuçları Şekil 4.23- 4.26 arasında verilmiş olup tüm alaşımlarda meydana gelen sertlik sonuçlarının bir arada kıyaslanması ise Şekil 4.27 görülmektedir. Genel olarak sertlik sonuçlarına bakıldığında kalsiyum, stronsiyum, kalay ve çinko takviyesi ile alaşımda bir sertlik artışı görülmektedir. Sertlikte meydana gelen bu artışta tane sınırları etrafında dislokasyon konsantrasyonu oluşturarak tanelerin hareketinin kitleyen çökelme sertleşmesinin de rolü olduğu belirlenmiştir [109].



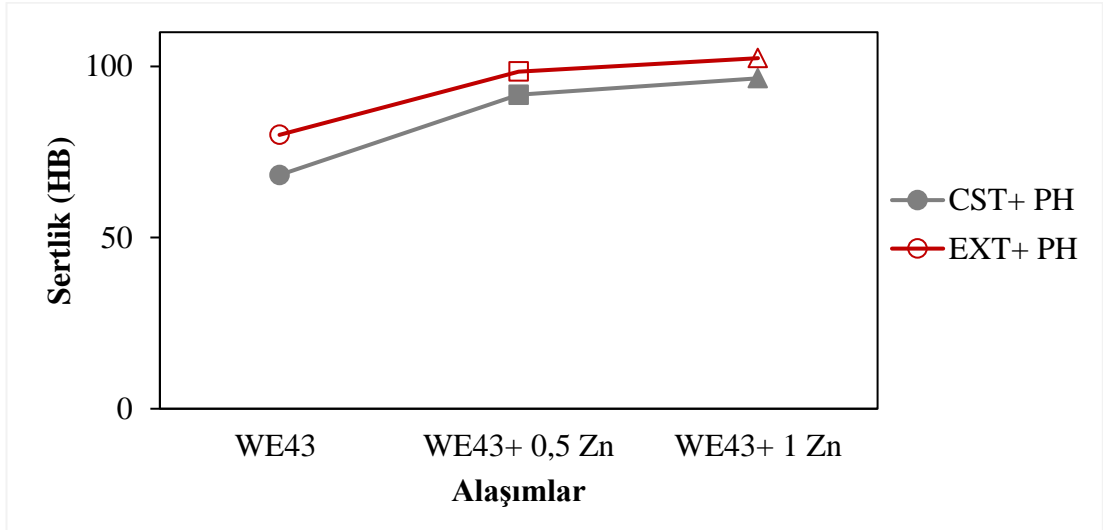
Şekil 4.23. WE43, WE43% 0.5 Ca ve WE43% 1 Ca alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda sertlik sonuçları.



Şekil 4.24. WE43, WE43% 0.5 Sr ve WE43% 1 Sr alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda sertlik sonuçları.

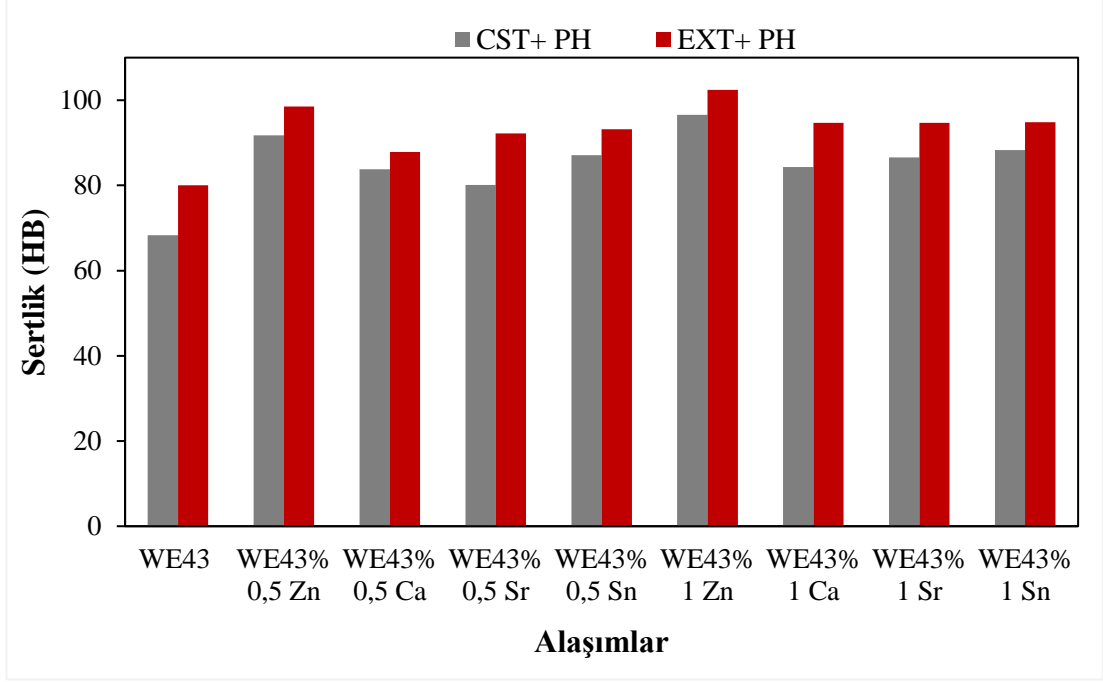


Şekil 4.25. WE43, WE43% 0.5 Sn ve WE43% 1 Sn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda sertlik sonuçları.



Şekil 4.26. WE43, WE43% 0.5 Zn ve WE43% 1 Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda sertlik sonuçları.

Şekil 4.27'den de görüleceği gibi takviyesiz WE43'ün döküm sonrası çökeltme sertleşmesi uygulanan durumu en düşük sertlik değeri olan 68.28 HB'yi gösterirken en yüksek değeri gerek döküm (96.53 HB) gerekse ekstrüzyon (102.42 HB) sonrası çökeltme sertleşmesi uygulanan koşulda artan çinko takviyeli alaşımlar meydana getirmiştir.



Şekil 4.27. WE43 ve WE43 %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumundaki sertlik sonuçları.

4.3. KOROZYON TESTİ SONUÇLARI

4.3.1. Daldırma Korozyonu Testi Sonuçları

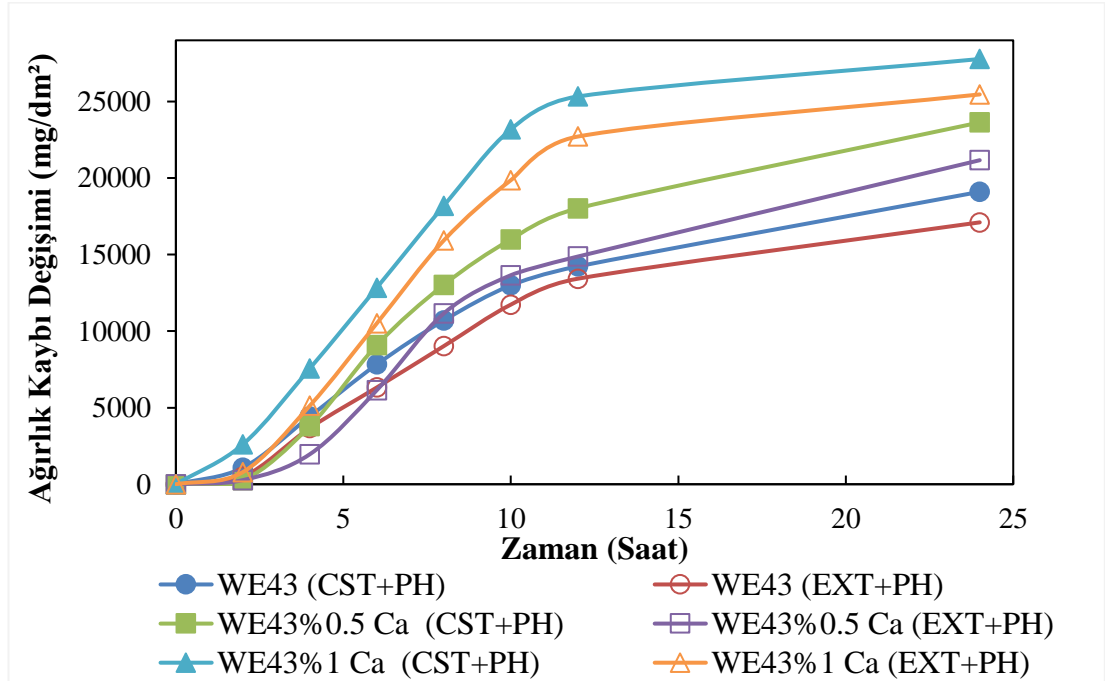
Döküm ve ekstrüzyon işlemi sonrasında uygulanan çökeltme sertleşmesi işlemi sonucu WE43 ve WE43+ %0,5 ve %1 oranlarında takviye edilen Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının daldırma korozyonu sonuçları Şekil 4.28- 4.31 arasında verilmiş olup tüm alaşımların 24 saat sonrasında oluşan karşılaştırmalı ağırlık kayıplarının değişimi Şekil 4.32’te belirtilmiştir. Daldırma korozyonu sonuçlarına göre ekstrüzyon ardından uygulanan çökeltme sertleşmesi durumunda ağırlık kayıpları döküm sonrası çökeltme işlemi durumuna göre daha minördür.

Şekil 4.28’de kalsiyum takviyesinin korozyona karşı olan direncini indirgemiş ve artan kalsiyum takviyesi ile ağırlık kaybı artmıştır ki bunun nedeni olarak Mg_2Ca partiküllerine komşu $\alpha-Mg$ matrisinde başlayan korozyon çukurları olduğu düşünölmektedir [110,111].

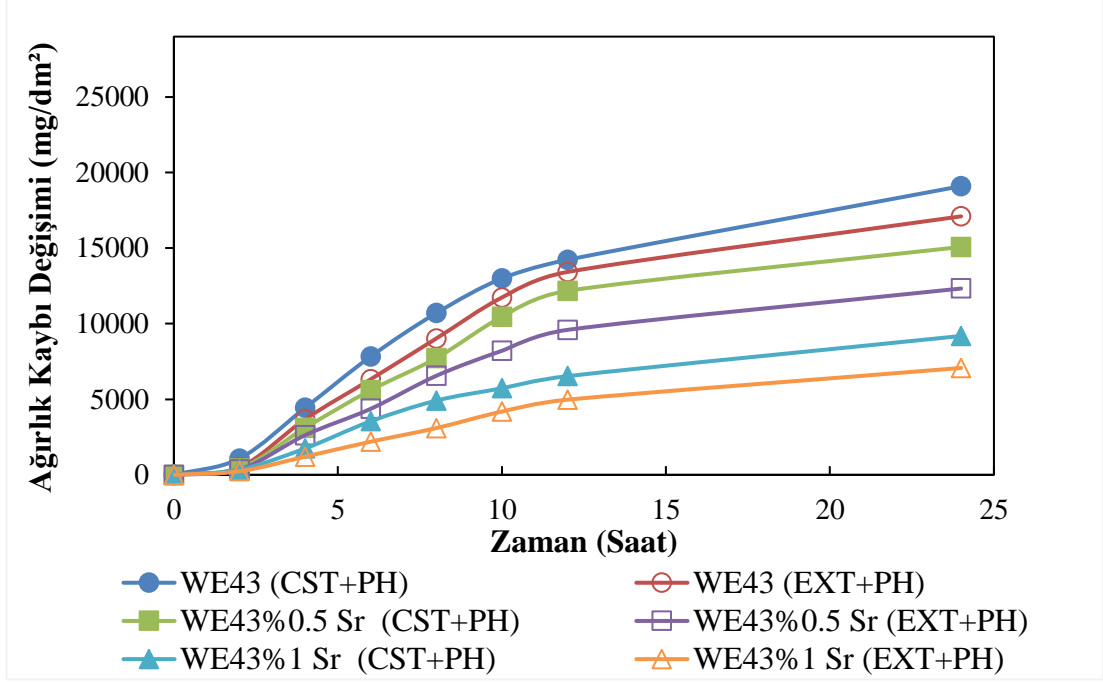
Şekil 4.29’da verilen Sr takviyeli alaşımda ise artan Sr oranı ile korozyon dayanımında bir düşüş olduğu görülmekte olup Şekil 4.20’de oluşumu gözlenen $Mg_{17}Sr_2$ 'nin sınır bölgelerinde çökeldiğini ve galvanik etkiyi arttırdığını, $Mg_{17}Sr_2$ 'ye bitişik Mg matrisinin daha şiddetli korozyonuna yol açmıştır [112].

Şekil 4.30’da Sn takviye edilen alaşımlarda Ca ve Sr’ye kıyasla daha yüksek korozyon hasarı gözlemlenirken çinkoya kıyasla daha düşük bir korozyon dayanımı mevcuttur. Buna ek olarak yönlendirilmiş taneler arasındaki mikro-galvanik korozyon Sn_3Y_5 intermetalığının varlığının korozyon direncinde negatif yönde bir etki meydana getirdiği düşünülmektedir [113].

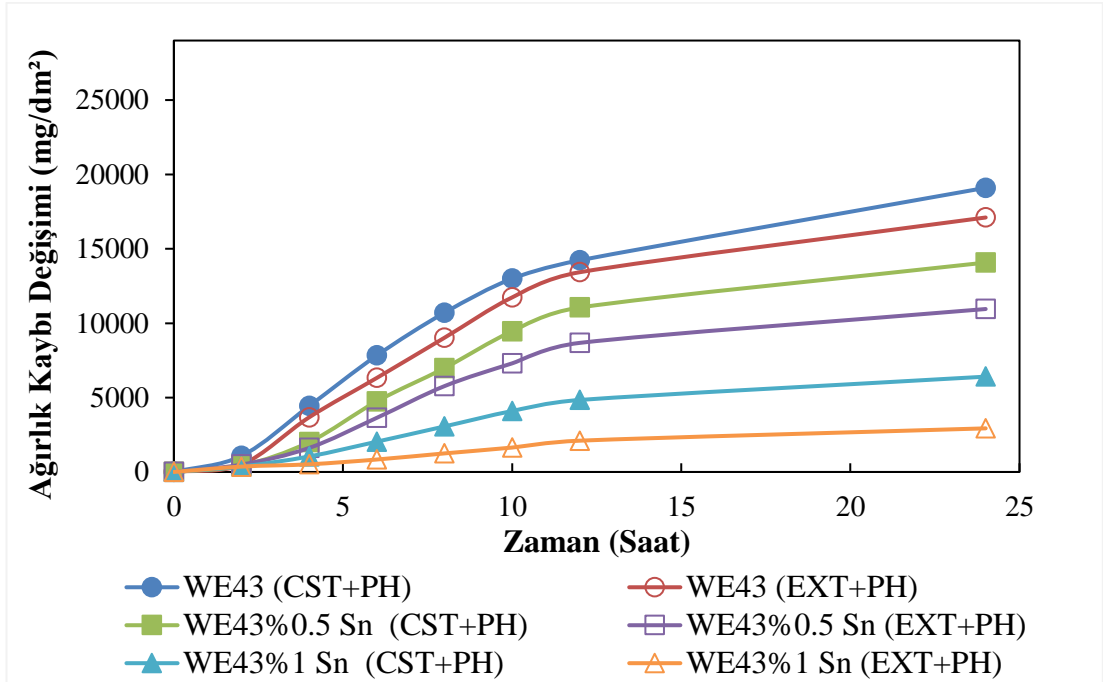
Şekil 4.31’de çinko takviye edilen alaşımda artan çinko oranı ile gerek döküm gerekse ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi uygulanan durumlarda korozyon yönünden bir dayanıklılık yani iyileşme söz konusudur ve çinko elementinin bu faydalı etkisinin korozyona maruz kalan numune yüzeyinde koruyucu bir çinko oksit tabakası meydana getirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [114].



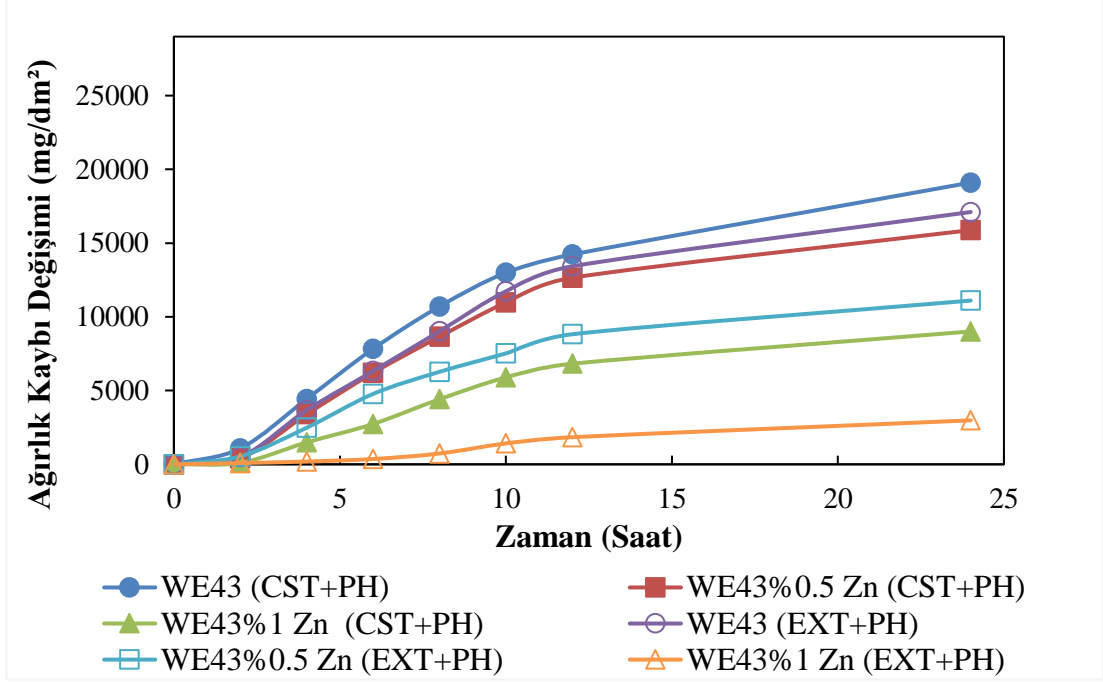
Şekil 4.28. WE43, WE43% 0.5 Ca ve WE43% 1 Ca alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda daldırma korozyonu sonuçları.



Şekil 4.29. WE43, WE43% 0.5 Sr ve WE43% 1 Sr alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda daldırma korozyonu sonuçları.

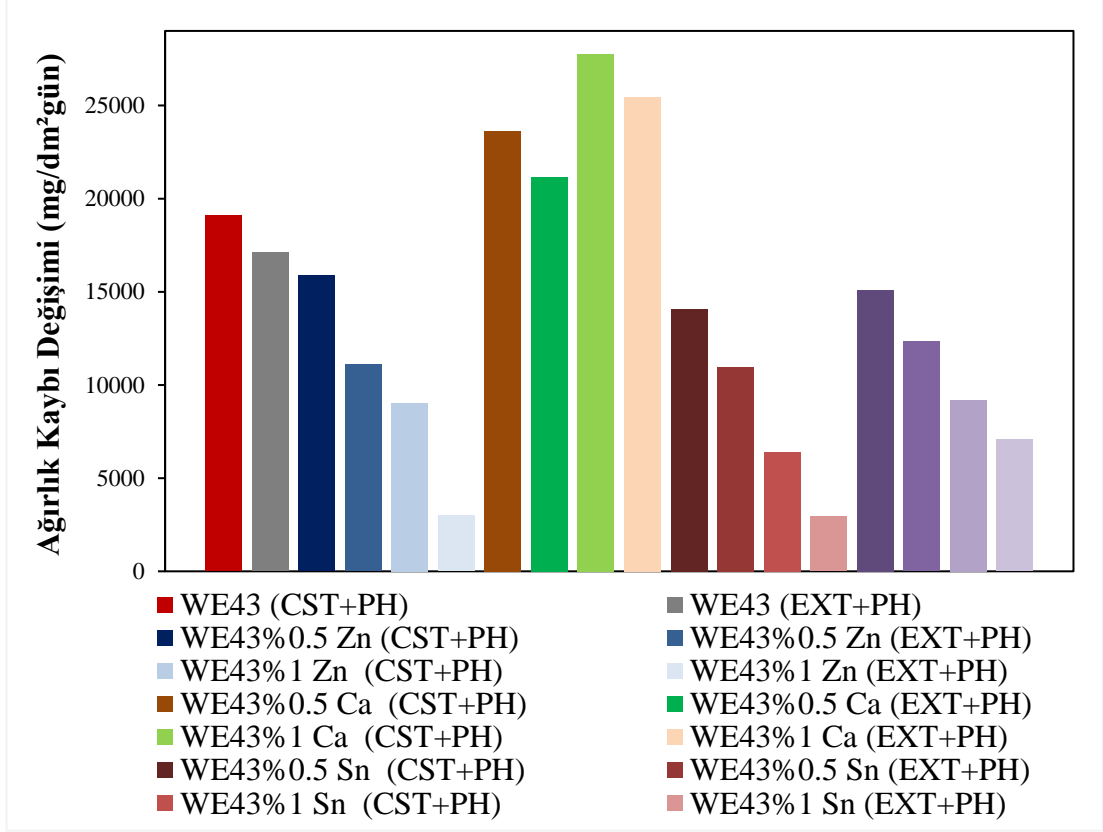


Şekil 4.30. WE43, WE43% 0.5 Sn ve WE43% 1 Sn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda daldırma korozyonu sonuçları.



Şekil 4.31. WE43, WE43% 0.5 Zn ve WE43% 1 Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda daldırma korozyonu sonuçları.

Şekil 4.32’de görülmekte olan 24 saat sonunda ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi uygulanan alaşımların korozyon dayanımları iyileşmiştir. Bununla çinko takviyeli alaşımların döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme işlemi durumunda korozyon dayanımları artan çinkoya bağlı olarak daha olumlu bir yönde seyderken kalsiyum takviyesi alaşımın direncini düşürerek ağırlık kaybının en fazla görüldüğü alaşım grubu olmuştur.

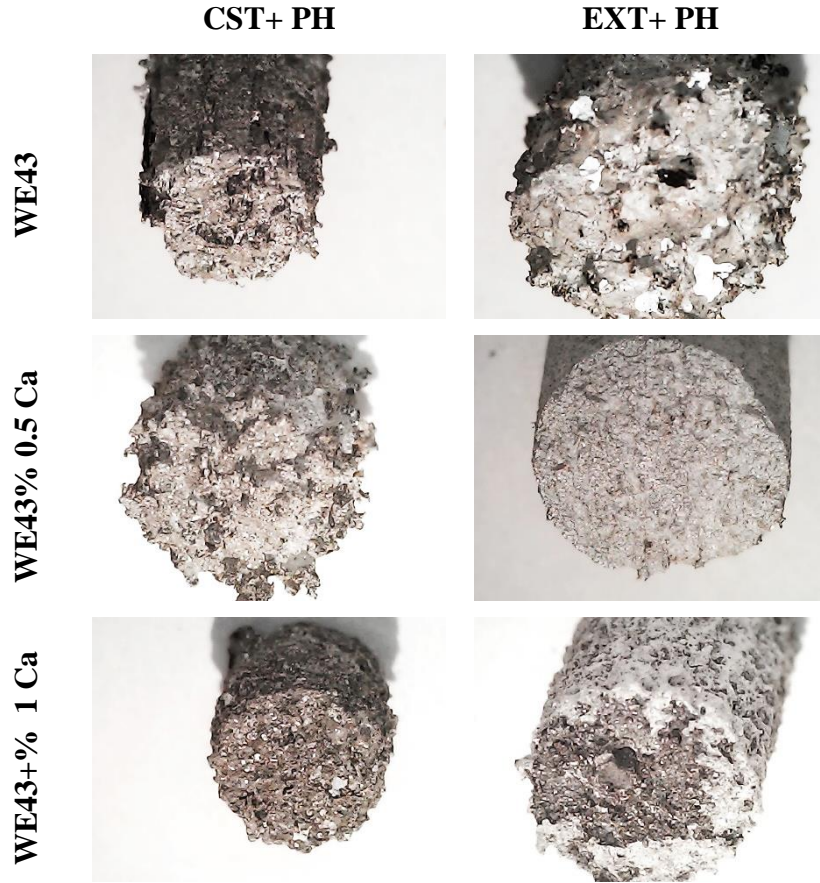


Şekil 4.32. WE43 ve WE43 %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda 24 saat sonunda daldırma korozyonu sonuçları.

4.3.1.1. Döküm ve Ekstrüzyon Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımların Daldırma Korozyonu Testi Makro Yüzey Görüntüleri

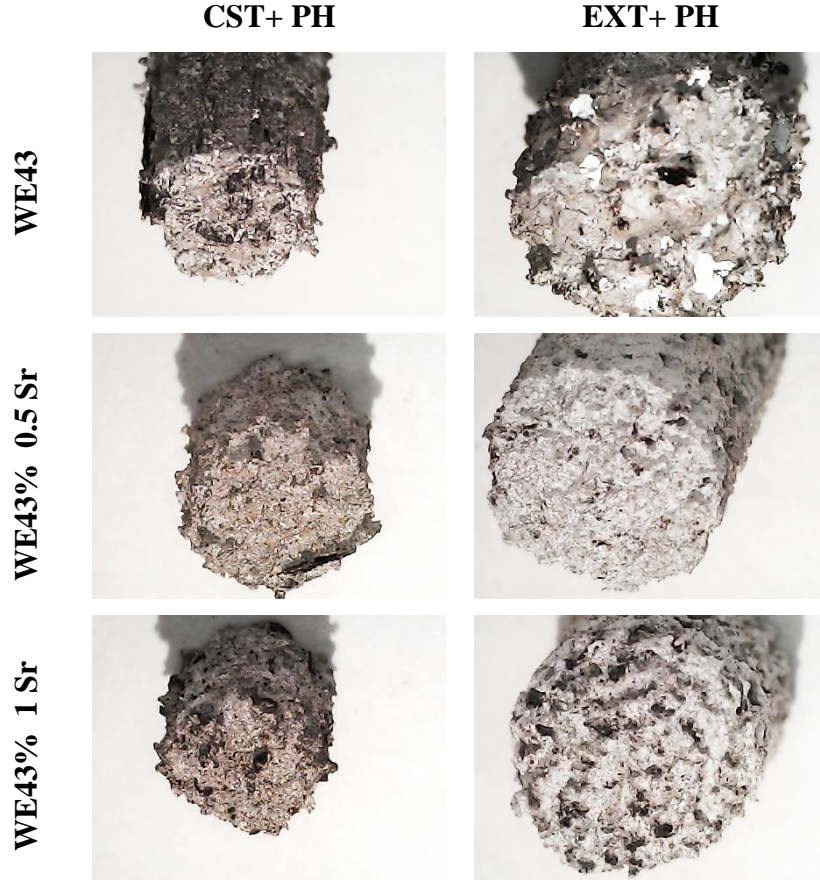
Döküm ve ekstrüzyon işlemi sonrasında uygulanan çökeltme sertleşmesi işlemi sonucu WE43 ve WE43+ %0,5 ve %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının daldırma korozyonuna ait makro yüzey görüntüleri Şekil 4.33- 4.36 arasında verilmiştir. Genel olarak makro yüzey görüntülerine bakıldığında ekstrüzyon sonrası uygulanan çökeltme sertleşmesi sonrası malzeme yüzeyinde porozitelerin yoğunluğu daha azdır.

Şekil 4.33'te verilen korozyon makro yüzey görüntülerinde özellikle döküm sonrası çökeltme sertleşmesi sonrasında malzeme boyutlarında bir küçülme ve malzeme yüzeyinde çok sık kendini gösteren çukur şeklinde oluşumlara rastlanılmıştır ve gerek boyuttaki küçülme gerekse çukur şeklinde oluşumların artan Ca takviyesi ile paralel olarak arttığı görülmüştür.



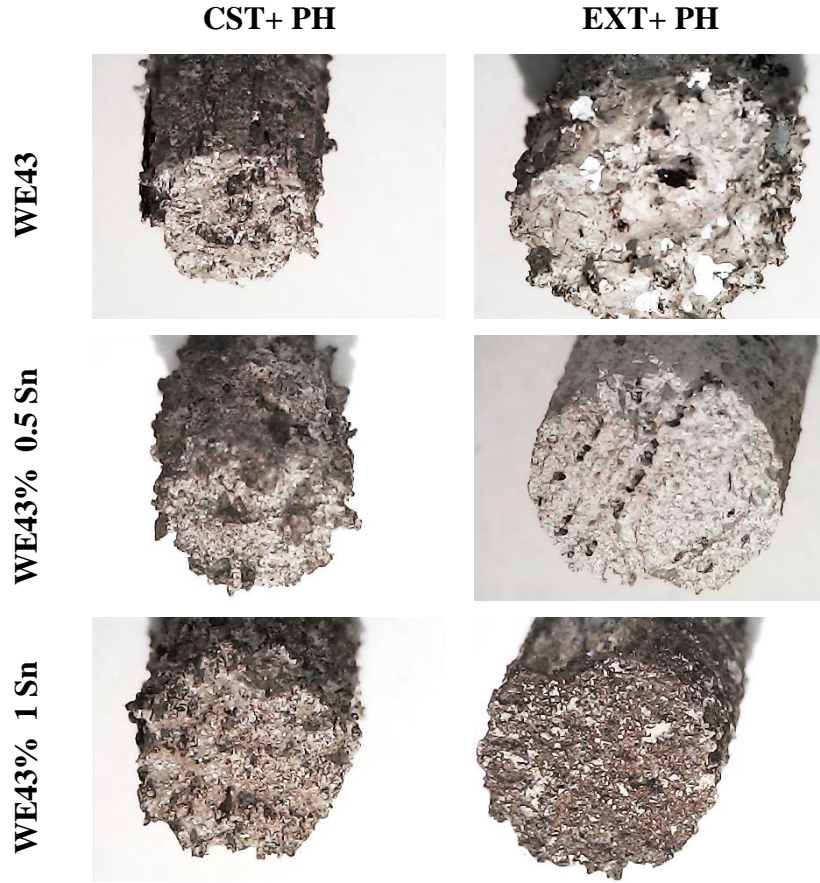
Şekil 4.33. WE43, WE43% 0.5 Ca ve WE43% 1 Ca döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon makro yüzey görüntüleri.

Şekil 4.34'te verilen Sr takviyeli WE43 korozyon makro yüzey görüntülerinde de Ca takviyeli WE43'e benzer bir durum söz konusu iken bu iki farklı takviyeli malzemeyi birbirinden ayıran koşul çukur şeklindeki oluşumlardır. Sr takviyeli WE43'te Ca takviyeliye kıyasla çukur şeklinde meydana gelen oluşumların sıklığı nispeten daha az kendini göstermektedir.



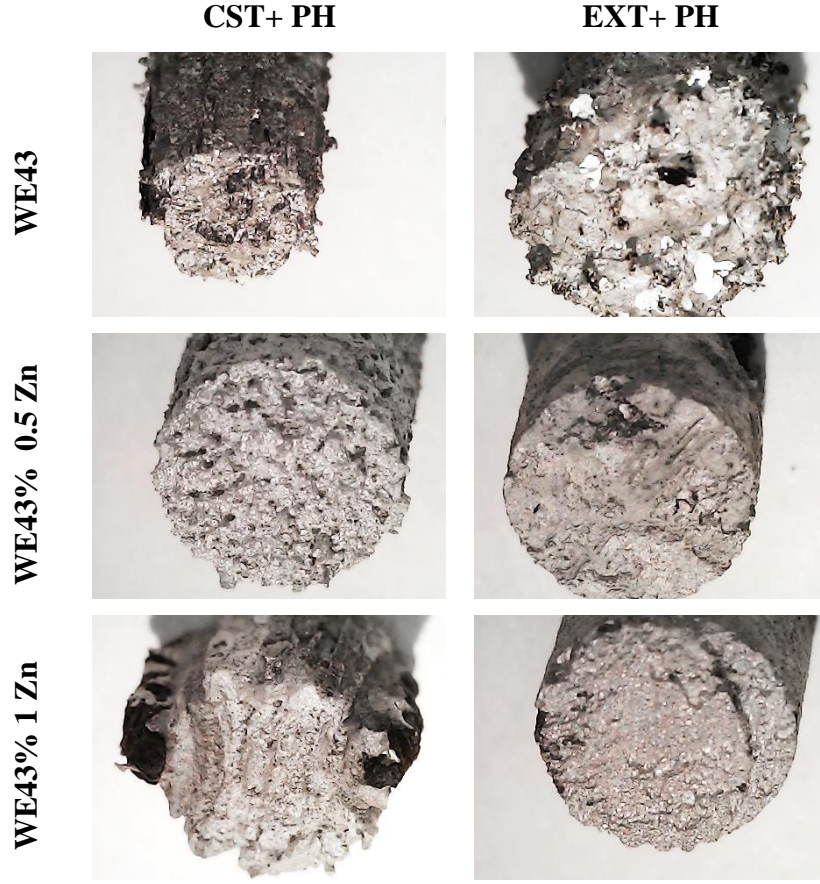
Şekil 4. 34. WE43, WE43% 0.5 Sr ve WE43% 1 Sr döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon makro yüzey görüntüleri.

Şekil 4.35'te verilen korozyon makro yüzey görüntülerinde Sn takviyeli malzemede çukur şeklindeki oluşumlar varlığını devam ettirmek ile beraber çukurcukların boyut ve sıklığında bir azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 4.35. WE43, WE43% 0.5 Sn ve WE43% 1 Sn döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumu korozyon makro yüzey görüntüleri.

Şekil 4.36'da verilen korozyon makro yüzey görüntülerinde ise diğer alaşımlara kıyasla en az çukur şeklinde oluşumlar Zn takviyeli WE43'e ait olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla korozyon sonrası en az poroziteye sahip yüzeyin Zn takviyeli malzemede oluştuğunu söylemek mümkündür.



Şekil 4.36. WE43, WE43% 0.5 Zn ve WE43% 1 Zn döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon makro yüzey görüntüleri.

4.3.1.2. Döküm Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımların Daldırma Korozyonu Testi SEM ve EDX Yüzey Analizleri

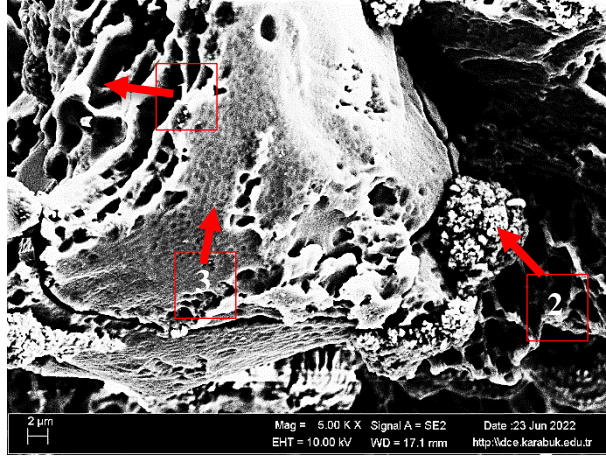
Döküm sonrası çökeltme sertleşmesi işlemi uygulanan WE43 ve WE43+ %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının daldırma korozyonu sonrası SEM ve EDX yüzey analizleri Şekil 4.37- 4.41 arasında verilmiştir.

Şekil 4.37’de verilen takviyesiz WE43 alaşımının SEM görüntülerinde görüleceği gibi geniş oyuklar şeklinde bir korozyon meydana gelmiştir. Oksijen ve neodimyum bakımından zengin olan pürüzlü bölgelerde Nd_2O_3 oksit filminin [115] oluştuğu düşünülmektedir.

Şekil 4.38’te %1 Ca takviye edilmiş alaşımda takviyesiz WE43 alaşımına kıyasla çok fazla ve sık bir şekilde oyuk şeklinde korozyon yüzeyleri gözlemlenmiştir.

Döküm sonrası çökelme sertleşmesi uygulanan %1 Sr takviyeli alaşımın Şekil 4.39’da görülen ince pürüzlü bölgelerinin oksijence zengin olmasının yanında korozyon sonrası genellikle oyuk oluşumu şeklinde bir yapı vardır. Sr takviye edilen bu alaşımda takviyesiz WE43’e kıyasla Sr takviyesinin neden olduğu pitting oluşumu yoğun bir şekilde kendini göstermiştir.

WE43

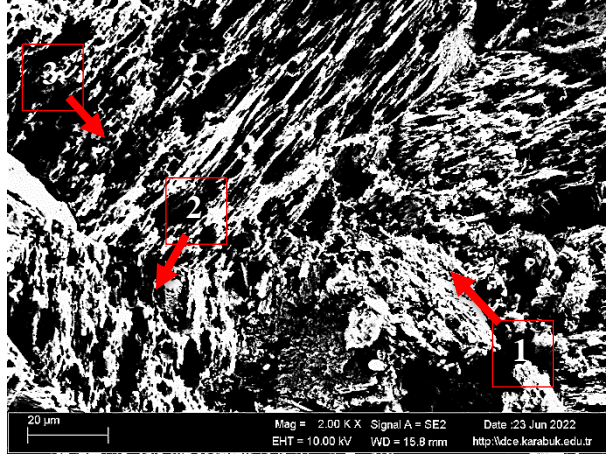


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	H	O	Na
1	83.89	2.62	3.74	-	0.89	8.53	0.35
2	6.59	0.08	42.18	-	15.79	35.22	0.14
3	61.04	1.26	5.80	0.11	19.87	10.65	0.24

Şekil 4.37. Takviyesiz WE43 alaşımının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Ca

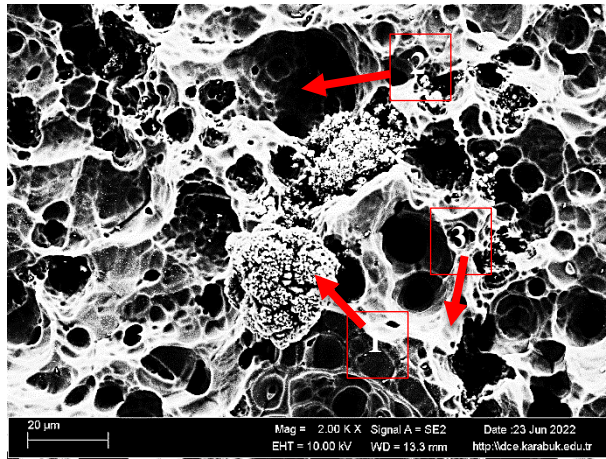


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Ca	H	O	Na
1	44.4	17.05	2.76	19.98	0.19	0.005	14.6	0.24
2	87.30	2.34	1.31	0.023	0.09	0.58	7.47	0.44
3	76.21	2.18	0.68	0.035	0.02	0.02	19.93	0.46

Şekil 4.38. WE43 %1 Ca alaşımasının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Sr



Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

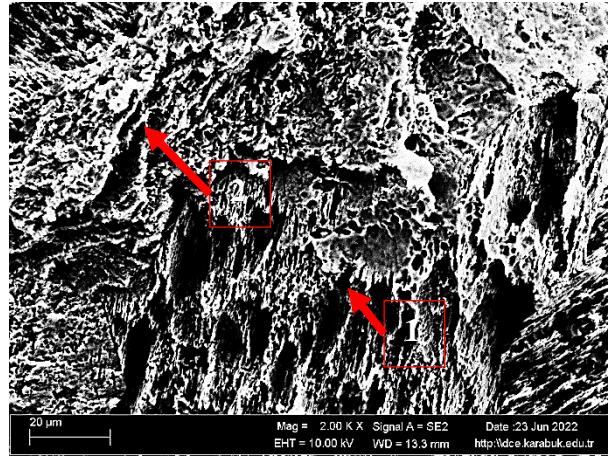
	Mg	Y	Nd	Zr	Sr	H	O	Na
1	12.02	37.07	18.17	-	6.73	-	24.87	0.21
2	94.10	2.32	0.56	-	0.33	-	1.35	0.62
3	83.30	5.14	2.76	2.2	0.48	0.01	4.64	0.48

Şekil 4.39. WE43 %1 Sr alaşım ının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.

%1 Sn takviye edilmiş olan WE43 alaşımının korozyon sonrası makro görüntülerinde (Şekil 4.35) rastlanılan pürüzlü yüzeyin Şekil 4.40'ta verilen SEM analizine bakıldığında oyuklu ve pürüzlü bir yüzeyin yani girintili çıkıntılı bir yapının oluştuğu görülmektedir. Sn takviye edilmiş olan bu alaşımda (Mg+Y+Nd)- O filminin oluşumundan dolayı korozyon direncinde kısmi bir iyileşme gözlenebilmektedir ve bu kısmi iyileşme malzemeyi tamamen korozyondan koruyamamıştır. Çünkü çukur bölgelerde H⁺ iyonunun daha fazla pik vermesi ile bu konumlarda meydana gelen keskin oyuk oluşumu korozyonun devam etmesine sebebiyet vermiştir.

Döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumundaki %1 Zn takviyeli alaşımda (Şekil 4.41) diğer alaşımlara kıyasla mikro gözenek oluşumu şeklinde bir korozyon gelişmiştir. Döküm sonrası çökeltme sertleşmesine maruz bırakılan bu alaşım grubunda bu alaşım grubunda hidrojen zengin MgH₂ filmi oluşturarak korozyon direncinde bir iyileşmeyi meydana getirmiştir.

WE43% 1 Sn

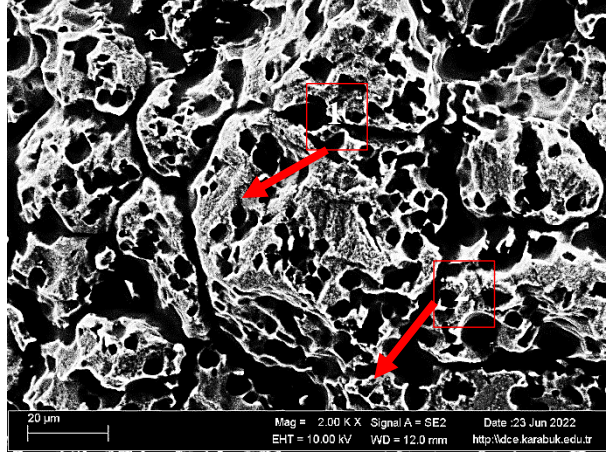


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Sn	H	O	Na
1	91.30	2.43	1.33	-	0.13	-	4.04	0.61
2	89.39	1.83	2.18	-	0.05	-	5.97	0.52

Şekil 4.40. WE43 %1 Sn alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Zn



Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Zn	H	O	Na
1	85.87	3.79	0.11	0.005	0.25	-	8.93	0.99
2	57.32	0.36	2.04	-	0.36	34.92	4.59	-

Şekil 4.41. WE43 %1 Zn alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.

4.3.1.3. Ekstrüzyon Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımların Daldırma Korozyonu Testi SEM ve EDX Yüzey Analizleri

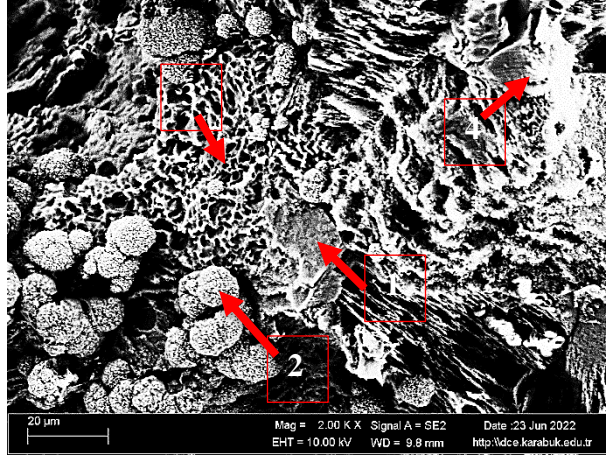
Ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi işlemi uygulanan WE43 ve WE43+ %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının daldırma korozyonu sonrası SEM ve EDX yüzey analizleri Şekil 4.42- 4.46 arasında verilmiştir.

Şekil 4.42’de verilen ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi uygulanan takviyesiz WE43 alaşımında yönelmiş tanelerin arasında meydana gelen oyuklar dışında pürüzlü bölgeler hidrojen bakımından zengin $Mg(OH)_2$ filminin yanında az miktarda MgH_2 oluşturarak korozyon direncinde nispeten bir iyileşme meydana getirmiştir.

Ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda %1 Ca takviye edilen alaşımda (Şekil 4.43) yönelmiş ve düz taneler görülmektedir. Bu ekstrüzyon yönünde uzanmış konumdaki tanelerin ara bölgelerinde veya ara tane sınırlarında korozyonun meydana getirdiği yönelmiş yapılar mevcuttur.

Ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi uygulanan %1 Sr takviyeli alaşımda (Şekil 4.44) ekstrüzyon vasıtasıyla tanelerin uzamasına duyarlıdır ve bu uzamış taneler arasında oyuk şeklinde bir korozyon oluşumu meydana gelmiştir. Burda meydana gelebilecek olan Mg-Y-O içeren oksit filmlerinin bir miktarda olsa korozyon direncini iyileştirebileceği düşünülmektedir.

WE43

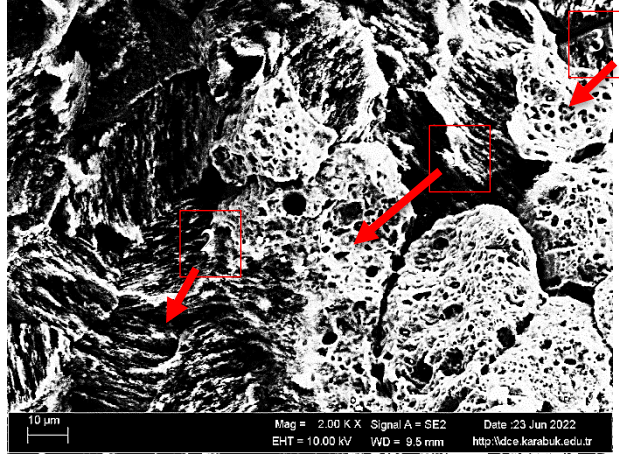


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	H	O	Na
1	94.31	0.71	1.27	0.045	-	2.9	0.65
2	11.24	0.28	42.36	0.03	30.44	12.77	0.053
3	75.68	12.84	4.45	-	0.005	6.35	0.25
4	28.1	0.345	4.19	-	66.82	0.54	-

Şekil 4.42. Takviyesiz WE43 alaşımının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Ca

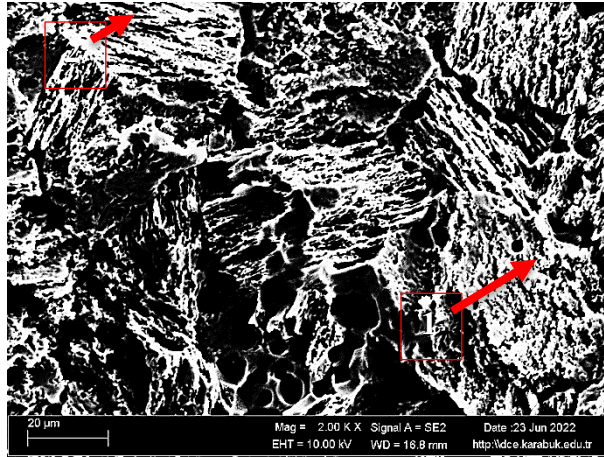


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Ca	H	O	Na
1	93.44	1.93	0.14	-	0.13	-	3.12	0.73
2	4.89	0.075	7.42	-	0.14	83.48	0.34	-
3	55.98	25.20	1.17	-	0.10	-	17.18	0.37

Şekil 4.43. WE43 %1 Ca alaşımlarının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Sr



Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

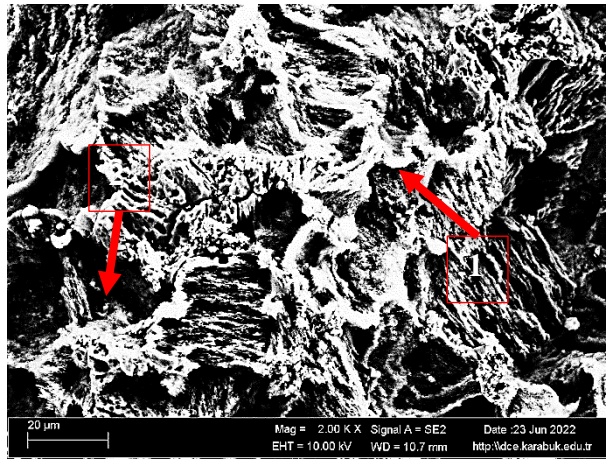
	Mg	Y	Nd	Zr	Sr	H	O	Na
1	84.54	7.24	0.97	0.023	1.38	0.01	4.97	0.59
2	92	2.33	0.63	-	0.52	0.55	3.12	0.68

Şekil 4.44. WE43 %1 Sr alaşımlarının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.

Şekil 4.45'te verilmiş olan %1 Sn takviye edilmiş ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi uygulanan alaşımda uzayan taneler arasında meydana gelen oyuklar göze çarpmaktadır. Şekil 4.40'ta verilen döküm sonrası çökeltme sertleşmesi işlemine maruz kalan %1 Sn takviyeli alaşıma kıyasla keskin oyuklar azalmıştır fakat halen poroziteli bir yapı görülmektedir. MgO'nun yanında Y_2O_3 oksit filminde oluşabileceği düşünülmektedir.

Şekil 4.46'da verilmiş olan %1 Zn takviye edilmiş WE43 alaşımında da yönelmiş uzantılar arasında konumlanmış oyukların yanı sıra mikro çukurcuklar kendini göstermektedir. Burada korozyondaki iyileşme $Mg(OH)_2$ ve ZnO_2 koruyucu oksit özelliğinden kaynaklanmıştır.

WE43% 1 Sn

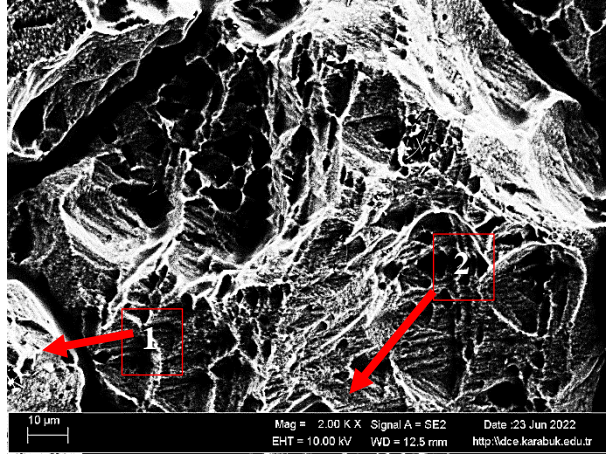


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Sn	H	O	Na
1	55.03	17.24	5.03	3.41	1.57	-	16.63	0.38
2	78.69	1.27	1.98	-	0.16	-	17.40	0.50

Şekil 4.45. WE43 %1 Sn alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Zn



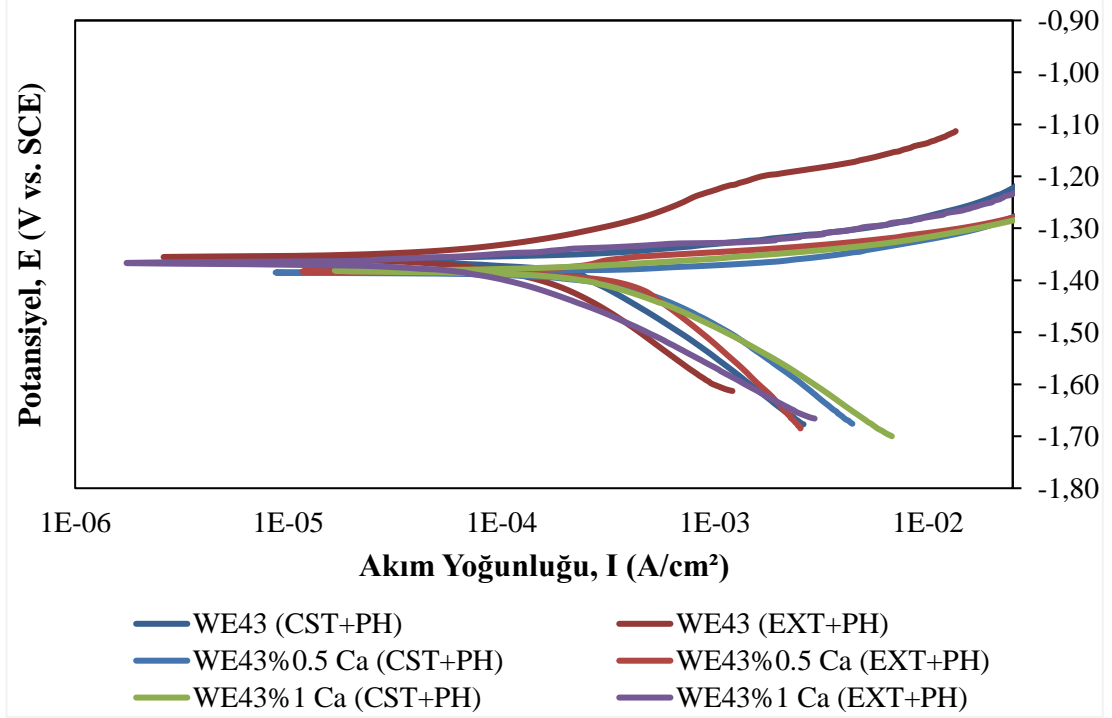
Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Zn	H	O	Na
1	26.37	8.44	1.49	20.69	9.93	2.49	30.59	-
2	90.29	3.2	1.57	0.005	0.14	-	3.77	0.83

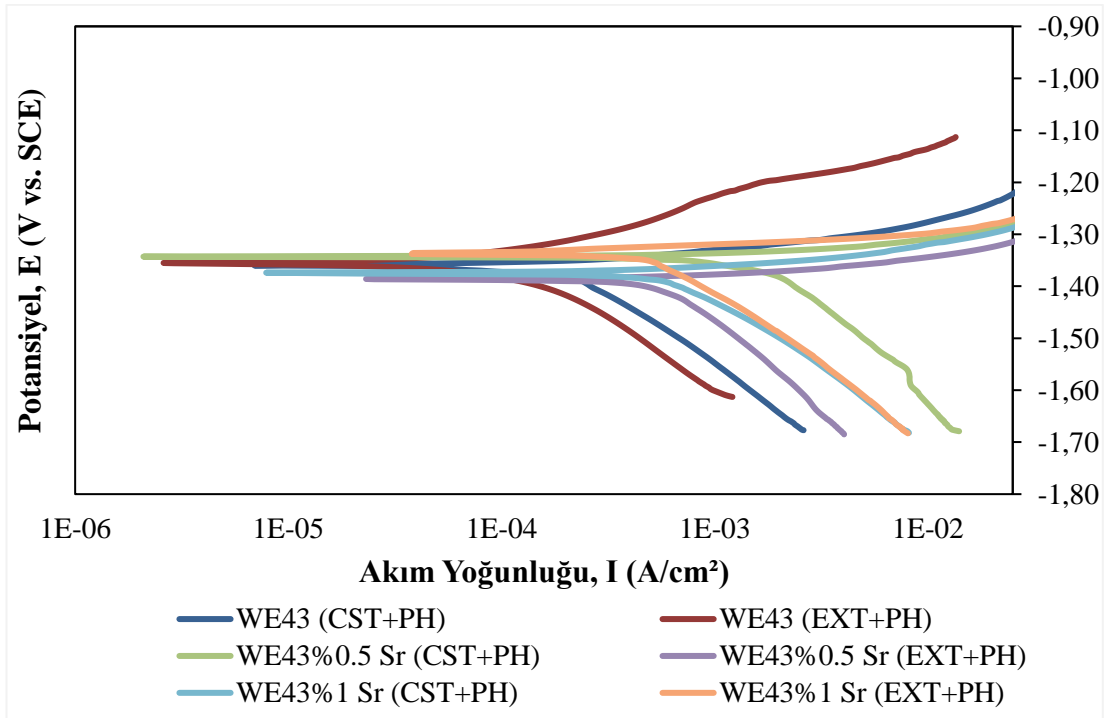
Şekil 4.46. WE43 %1 Zn alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu korozyon SEM ve EDX analizleri.

4.3.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Korozyonu Testi Sonuçları

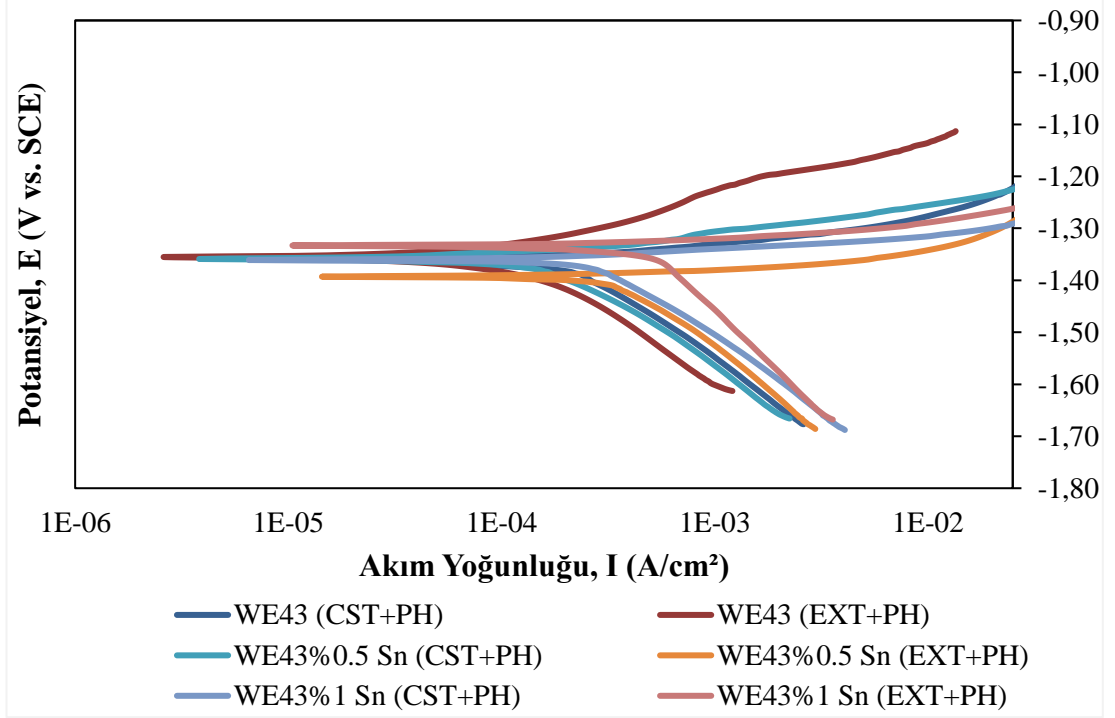
Döküm ve ekstrüzyon işlemi sonrasında uygulanan çökeltme sertleşmesi işlemi sonucu WE43 ve WE43+ %0,5 ve %1 oranlarındaki Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının sırasıyla potansiyodinamik polarizasyon korozyonuna ait Tafel sonuçları Şekil 4.47- 4.50 arasında verilmiştir.



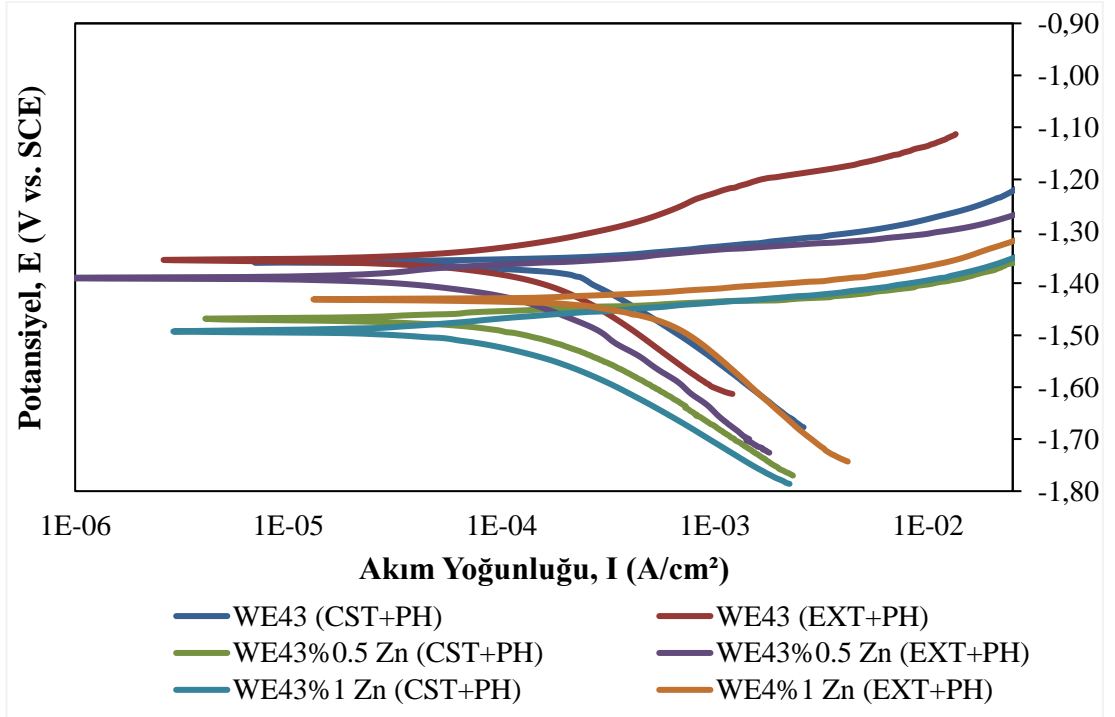
Şekil 4.47. WE43, WE43 %0.5 Ca ve WE43 %1 Ca alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda Tafel eğrileri.



Şekil 4.48. WE43, WE43 %0.5 Sr ve WE43 %1 Sr alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda Tafel eğrileri.



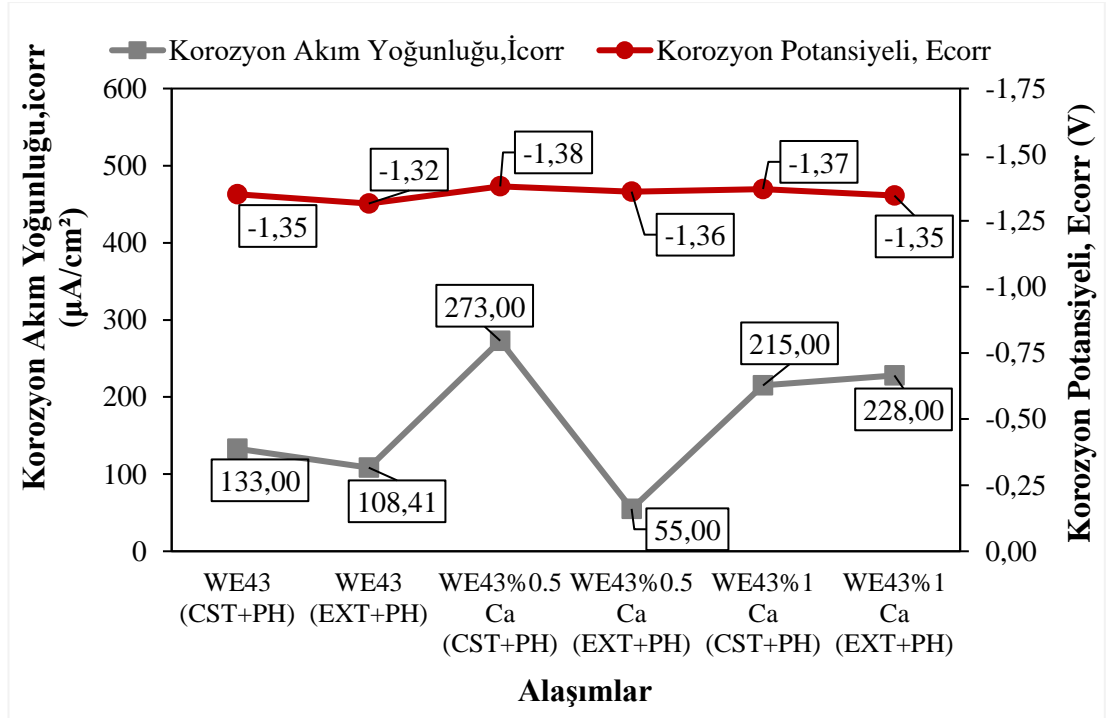
Şekil 4.49. WE43, WE43 %0.5 Sn ve WE43 %1 Sn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda Tafel eğrileri.



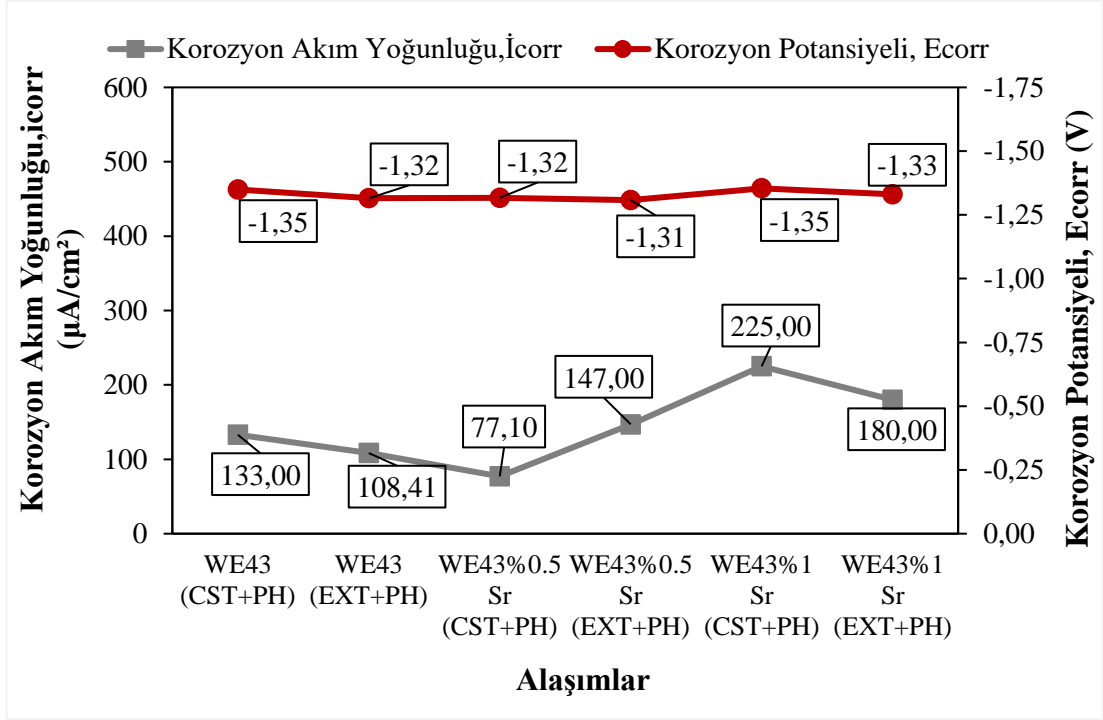
Şekil 4.50. WE43, WE43 %0.5 Zn ve WE43 %1 Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda Tafel eğrileri.

Genel olarak potansiyodinamik polarizasyon testleri sonucunda meydana çıkan Tafel eğrilerine bakıldığında daldırma korozyonuna paralel sonuçlar ortaya çıkmıştır ve en iyi korozyon davranışını çinko takviyeli alaşım sergilerken en kötünün kalsiyum takviyeli alaşımda olduğu görülmüştür.

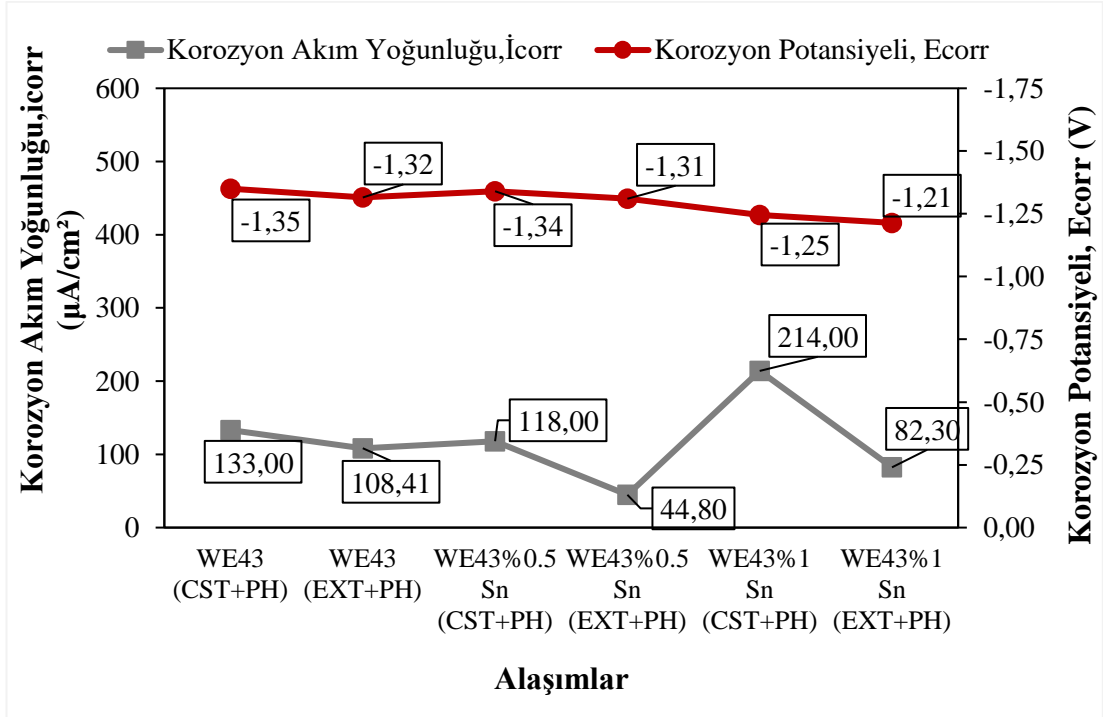
Döküm ve ekstrüzyon işlemi sonrasında uygulanan çökelme sertleşmesi işlemi sonucu WE43 ve WE43+ %0,5 ve %1 oranlarındaki Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının sırasıyla potansiyodinamik polarizasyon korozyonuna ait I_{corr} ve E_{corr} Şekil 4.51- 4.54 arasında verilmiştir.



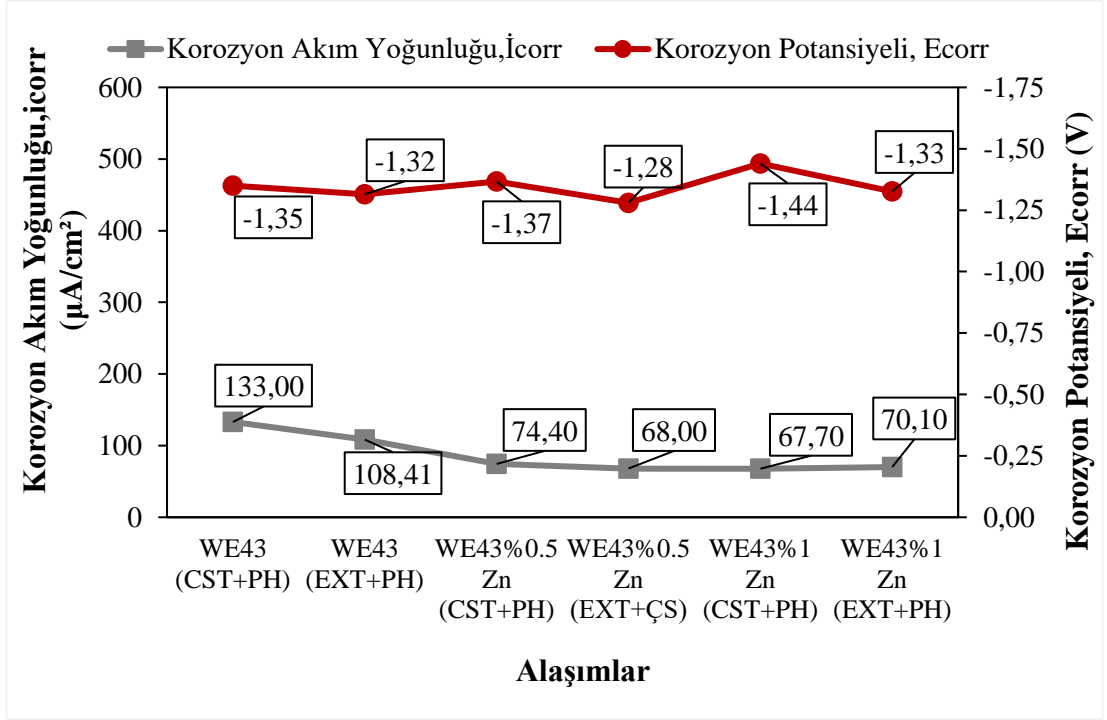
Şekil 4.51. WE43, WE43 %0,5 Ca ve WE43 %1 Ca alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda I_{corr} ve E_{corr} değerleri.



Şekil 4.52. WE43, WE43 %0.5 Sr ve WE43 %1 Sr alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda I_{corr} ve E_{corr} değerleri.



Şekil 4.53. WE43, WE43 %0.5 Sn ve WE43 %1 Sn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda I_{corr} ve E_{corr} değerleri.



Şekil 4.54. WE43, WE43 %0.5 Zn ve WE43 %1 Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda I_{corr} ve E_{corr} değerleri.

Korozyon akım yoğunlukları (icorr) ve korozyon potansiyellerinden (V) görüldüğü üzere ekstrüzyon sonrası uygulanan çökelme sertleşmesinde %1 Zn takviyeli WE43 alaşımında $70.10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ akım yoğunluğunda -1.33 V korozyon potansiyeli meydana getirerek korozyon davranışını iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

4.4. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI

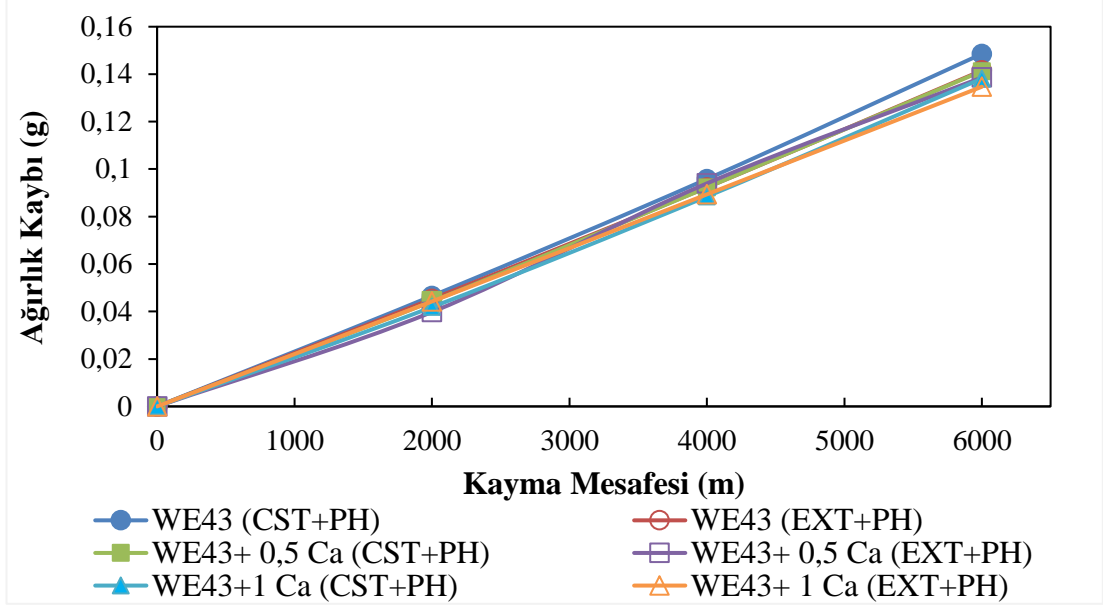
Döküm ve ekstrüzyon işlemi sonrasında uygulanan çökelme sertleşmesi işlemi sonucu WE43 ve WE43+ %0,5 ve 1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının block on ring aşınma sonuçları Şekil 4.55- 4.58 arasında gösterilmiştir. Aşınma sonuçlarına genel olarak bakıldığında ekstrüzyon ardından uygulanan çökelme sertleşmesi durumunda ağırlık kayıpları döküm sonrası çökelme işlemi durumuna göre daha azdır ve aşınma sonuçları sertlik sonuçlarına paralel olarak gittiği saptanmıştır.

Şekil 4.55'te kalsiyum takviye edilmiş aşınma sonuçlarında görüldüğü üzere artan kalsiyum ile aşınma sonucu ağırlık kaybında az miktar bir iyileşme söz konusudur ve %0,5 oranında eklenmiş olan kalsiyumların ağırlık sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

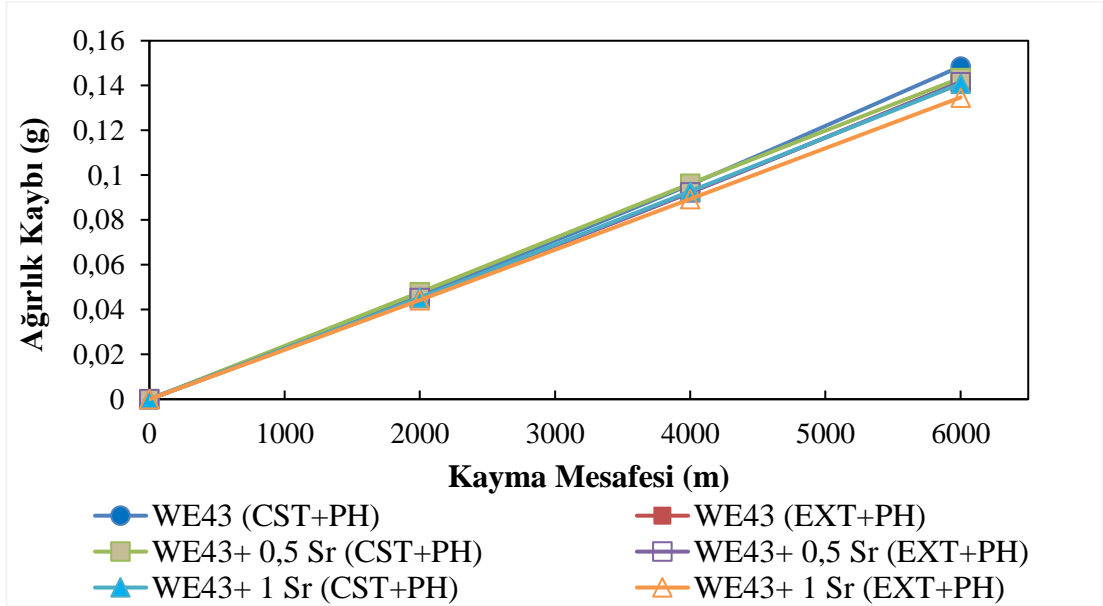
Şekil 4.56'da artan stronsiyum oranı ile ağırlık kaybında bir azalma olması ile beraber WE43 %0,5 Sr döküm sonrası çökelme sertleşmesi uygulanan alaşım takviyesiz WE43'ün ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumuna kıyasla daha fazla bir ağırlık kaybına maruz kalmıştır.

Şekil 4.57'de artan kalay oranı ile ağırlık kaybında azalma meydana gelmektedir. Bu azalma yapı içerisinde Sn_3Y_5 intermetalığının aşınmada bir iyileştirme meydana getirmiş olduğu düşünülmektedir [108]. Aynı benter metalik daldırma korozyonunda negatif bir etkiye neden olmuştur.

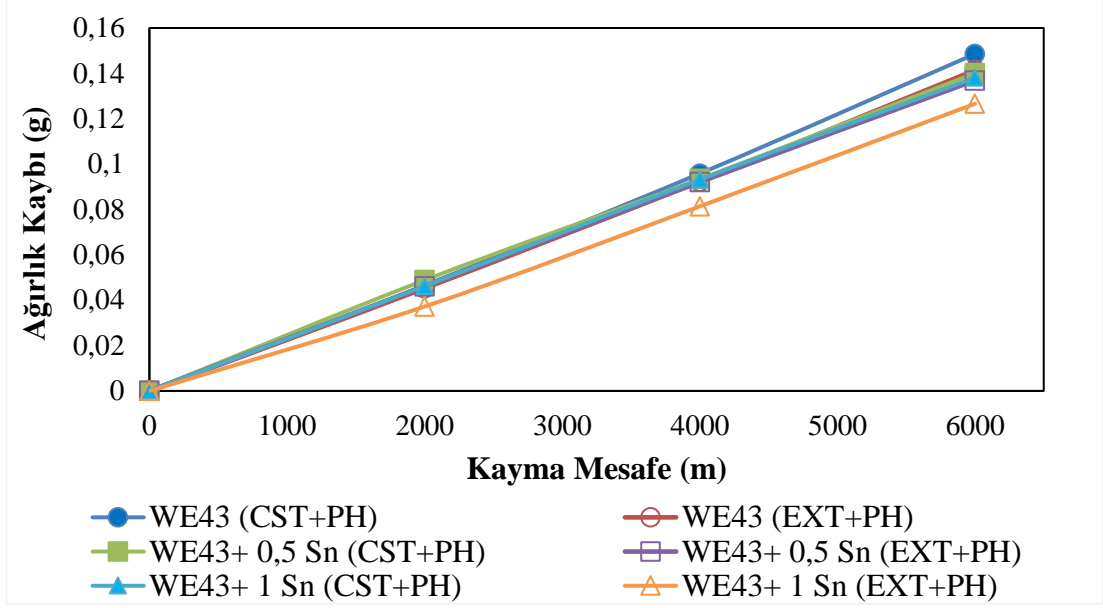
Şekil 4.58'de ise çinko takviyesine bağlı olarak aşınmaya maruz kalan malzemenin ağırlığındaki kaybın, diğer ileve edilen alaşım elementleri ile karşılaştırıldığında, daha az olduğu ve 6000 metre sonunda 0,10862 gram olarak en az ağırlık kaybına uğrayan malzeme grubu olduğu belirlenmiştir.



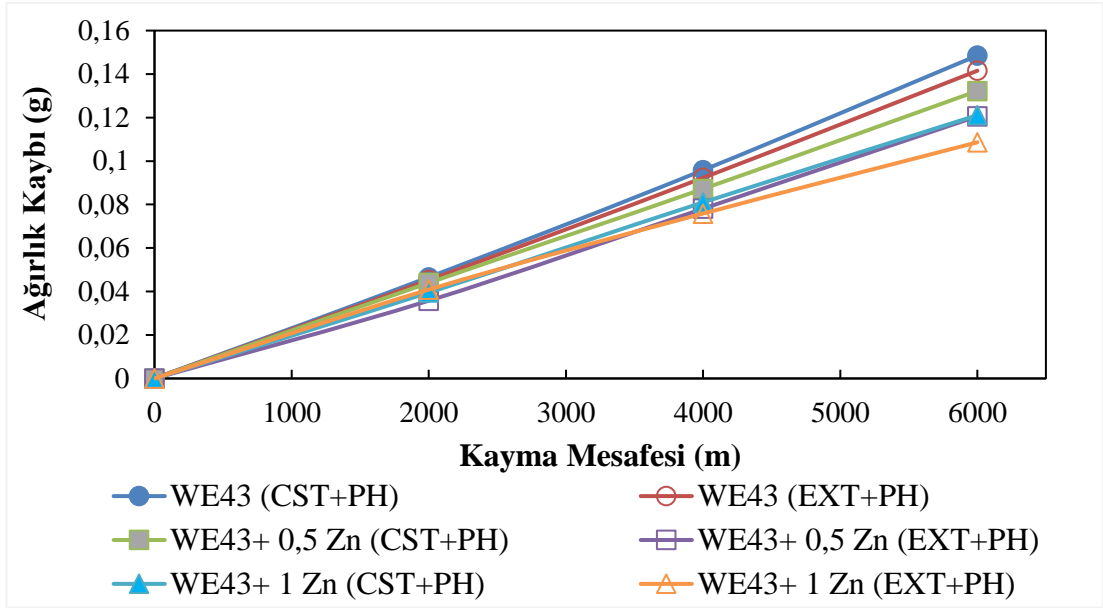
Şekil 4.55. WE43, WE43 %0.5 Ca ve WE43 %1 Ca alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma ağırlık kayıpları sonuçları.



Şekil 4.56. WE43, WE43 %0.5 Sr ve WE43 %1 Sr alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma ağırlık kayıpları sonuçları.



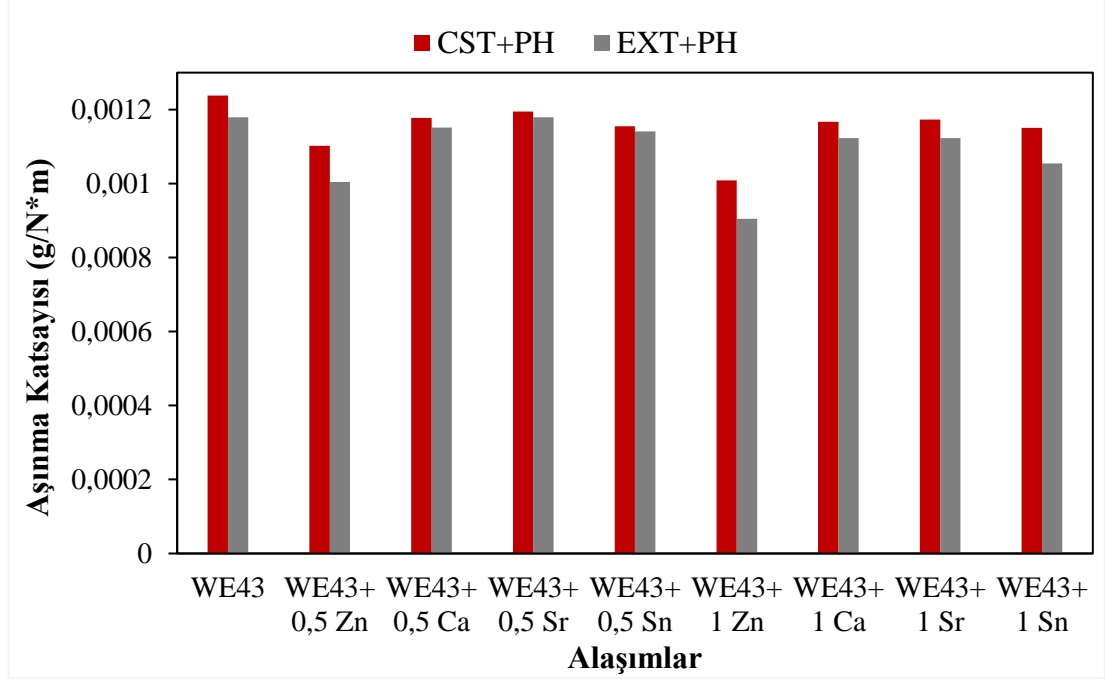
Şekil 4.57. WE43, WE43 %0.5 Sn ve WE43 %1 Sn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma ağırlık kayıpları sonuçları.



Şekil 4.58. WE43, WE43 %0.5 Zn ve WE43 %1 Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma ağırlık kayıpları sonuçları.

Şekil 4.55- 4.58 arasında verilen Ağırlık Kaybı- Kayma Mesafesi grafiklerinin eğimi g/m cinsinden aşınma hızını vermiş olup uygulanan yükün bu oranı eklenmesiyle birim ağırlık başına birim yükte gerçekleşen ağırlık kaybını ($g/(Nxm)$) temsil eden aşınma katsayısı ifadesi bulunmuş olacaktır. Tüm alaşımların aşınma katsayılarına ait olan

grafik Şekil 4.59’da verilmiştir ve bu aşınma katsayısı değerlerinden de görüldüğü üzere çinko takviyeli diğer alaşımlara kıyasla en az aşınma katsayısına sahip olan malzemedir. %1 Zn içeren alaşım en az aşınma katsayısı değerine sahip olup bu değer 0,001009 g/N*m’dir.



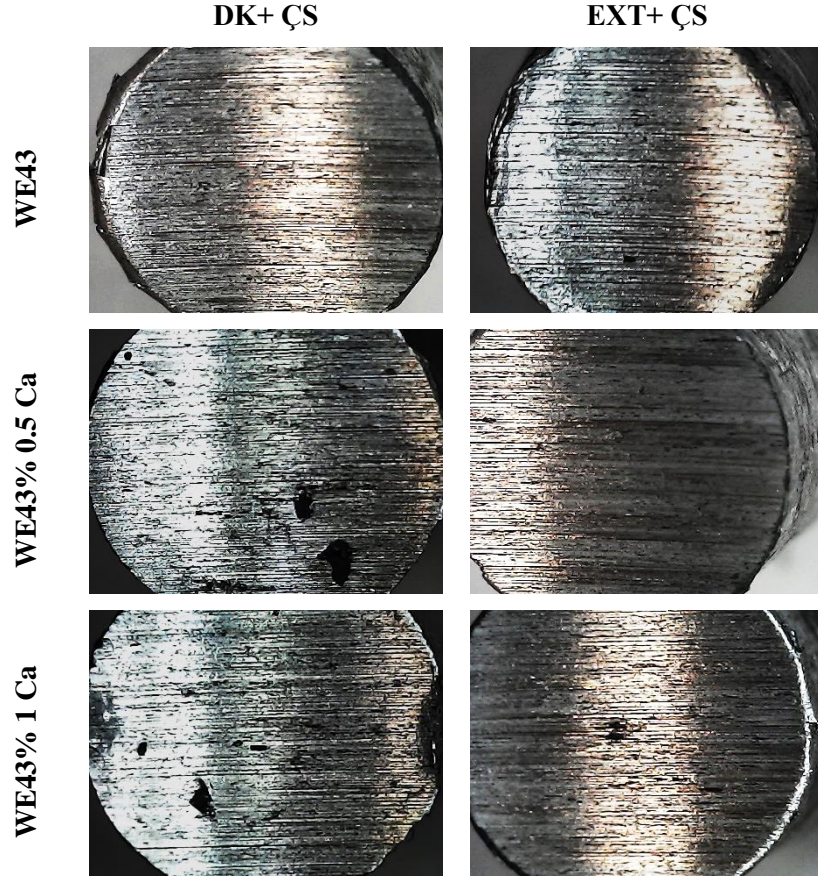
Şekil 4.59. WE43 ve WE43 %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda aşınma hızları sonuçları.

4.4.1. Döküm ve Ekstrüzyon Sonrası Çökeltme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımların Aşınma Testi Makro Yüzey Görüntüleri

Döküm ve ekstrüzyon işlemi sonrasında uygulanan çökeltme sertleşmesi işlemi sonucu WE43 ve WE43+ %0,5 ve %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının block on ring aşınmaya ait makro yüzey görüntüleri Şekil 4.60- 4.63 arasında verilmiştir.

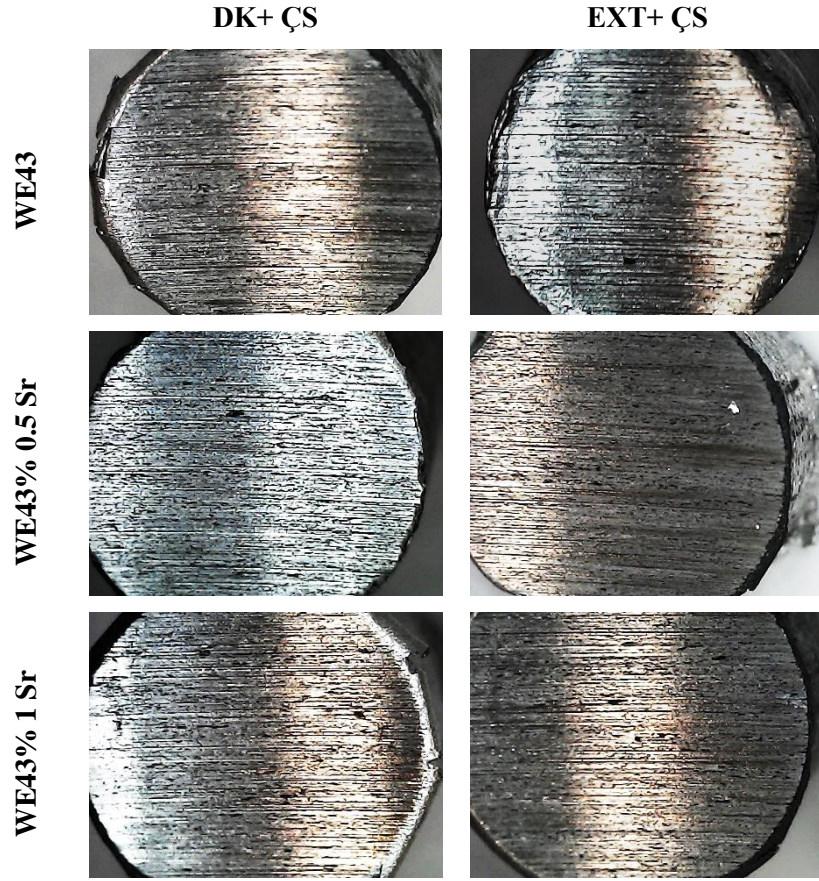
Genel olarak bakıldığında parçaların aşınma sonucu meydana gelen yivlerin derinliği, WE43 alaşımına takviye eden alaşım elementleri ile yiv derinliklerinin ters orantılı bir rotada olduğu gözlemlenmiştir ve takviyeli takviyesiz olmak üzere tüm alaşımların ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda aşınma yiv derinliklerinde bir iyileşme mevcuttur.

Şekil 4.60'da verilen Ca takviyeli WE43'ün takviyesiz WE43'e kıyasla aşınma sonrası malzeme yüzeyindeki yiv derinliklerinin minör derecede bir azalması söz konusu iken döküm sonrası çökeltme sertleşmesi uygulanan malzemelerin yüzeyinde bariz şekilde görülen aşınma talaş kalıntıları vardır.



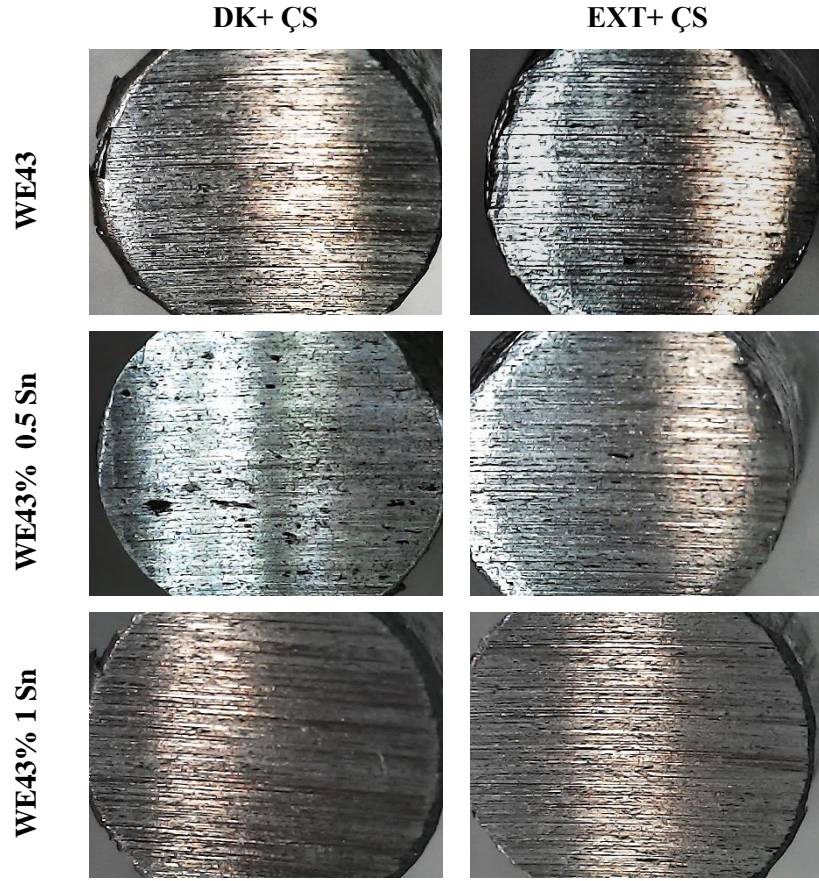
Şekil 4.60. WE43, WE43 %0.5 Ca ve WE43 %1 Ca alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda aşınma yüzey görüntüleri.

Sr takviyesi ile (Şekil 4.61) yiv derinliklerinin Ca takviyeli alaşıma kıyasla şiddetinde bir azalma görülürken bunun nedeni olarak Ca takviyelide bariz olarak kendini gösteren aşınma sonrası malzeme yüzeyindeki talaş kalıntılarının Sr takviyeli alaşımda minimum olmasıdır.



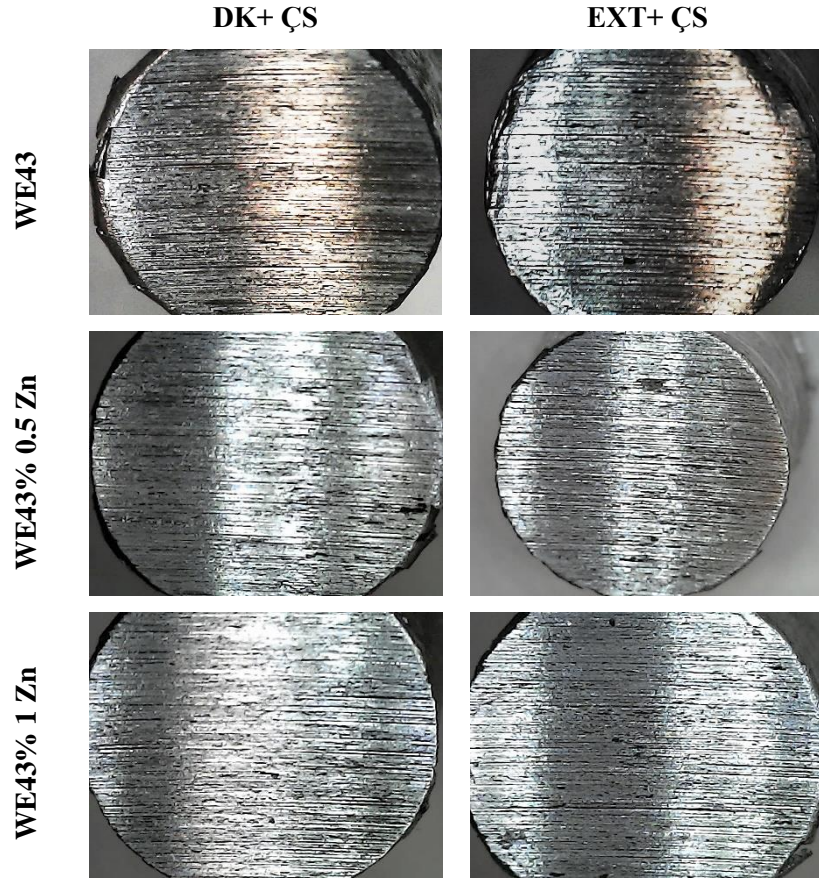
Şekil 4.61. WE43, WE43 %0.5 Sr ve WE43 %1 Sr alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda aşınma yüzey görüntüleri.

Şekil 4.62’de Sn takviyeli WE43’te aşınma sonrası talaş kalıntılarının varlığı yer yer kendini göstermek ile beraber yiv derinliklerinde azalma ve yivlerde bir incelme görülmektedir.



Şekil 4.62. WE43, WE43 %0.5 Sn ve WE43 %1 Sn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumunda aşınma yüzey görüntüleri.

Zn takviyeli WE43'te diğer alaşımlar ile karşılaştırıldığında aşınma sonrası talaş kalıntılarının minör derece bulunmasının yanı sıra yiv derinliklerinin en az seviyede ve yivlerde mevcut inceltme ile beraber seyrekleşmenin varlığı belirlenmiştir (Şekil 4.63).

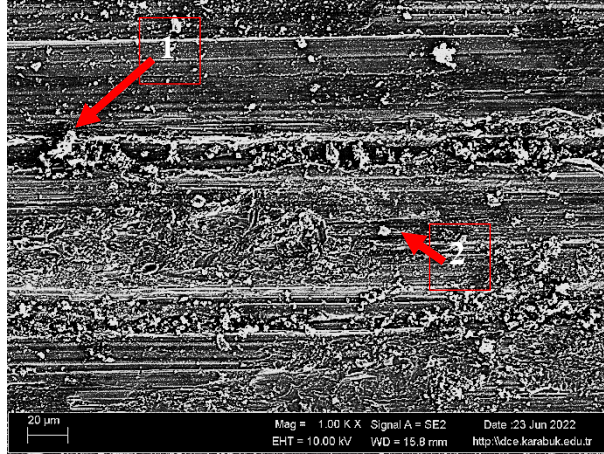


Şekil 4.63. WE43, WE43 %0.5 Zn ve WE43 %1 Zn alaşımlarının döküm ve ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumunda aşınma yüzey görüntüleri.

4.4.2. Döküm Sonrası Çökelme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımların Aşınma Testi SEM ve EDX Yüzey Analizleri

Döküm sonrası uygulanan çökelme sertleşmesi işlemi sonucu WE43 ve WE43+ %0,5 ve %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının block on ring aşınmaya ait SEM analizleri Şekil 4.64- 4.68 arasında verilmiştir.

WE43

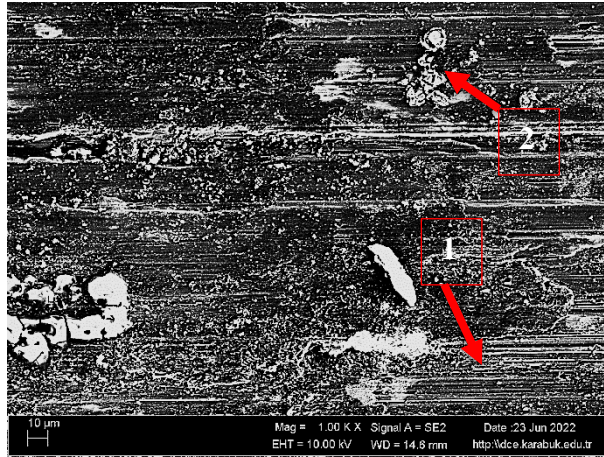


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr
1	93.57	3.78	1.80	0.035
2	92.35	4.81	2.16	0.18

Şekil 4.64. Takviyesiz WE43 alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Ca

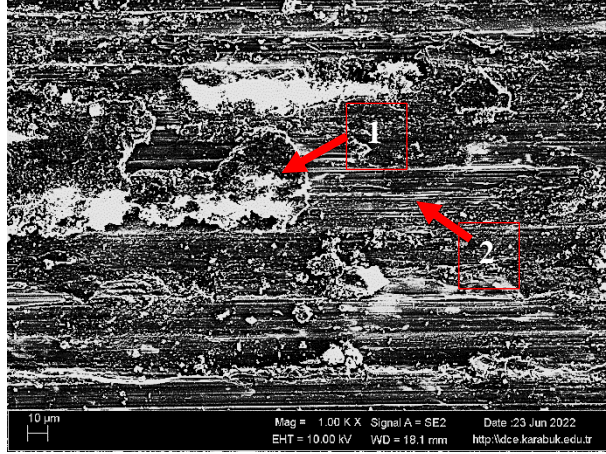


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Ca
1	92.97	4.75	0.65	0.73	0.72
2	76.36	19.78	2.75	0.25	0.71

Şekil 4.65. WE43 %1 Ca alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Sr

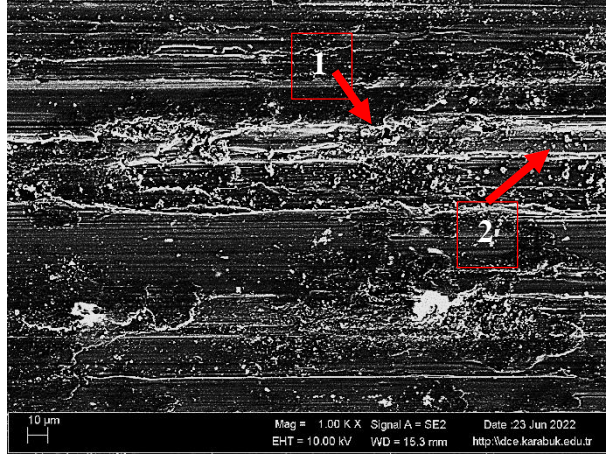


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Sr
1	88.61	5.07	1.27	1.49	2.80
2	92.23	5.02	0.13	0.02	2.60

Şekil 4.66. WE43 %1 Sr alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Sn

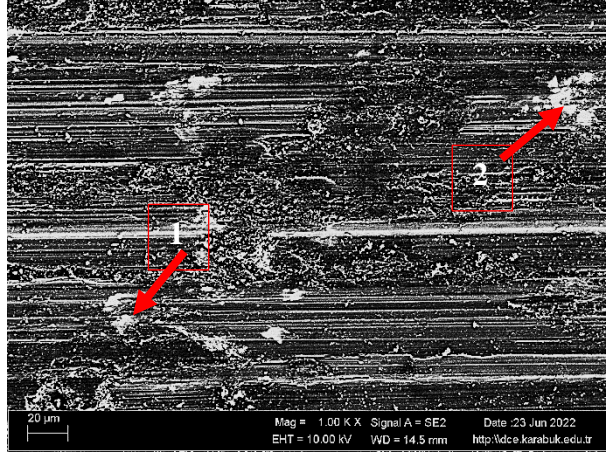


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)v

	Mg	Y	Nd	Zr	Sn
1	93.67	4.23	0.75	0.24	2.80
2	95.07	3.27	1.22	0.29	0.075

Şekil 4.67. WE43 %1 Sn alaşımının döküm sonrası çökeltme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Zn



Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Zn
1	92.10	4.01	1.26	0.43	2.15
2	66.75	8.77	14.34	1.32	7.82

Şekil 4.68. WE43 %1 Zn alaşımının döküm sonrası çökelme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.

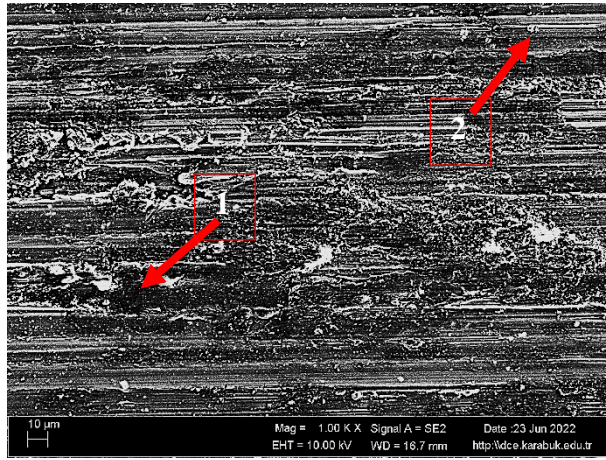
Genel olarak incelenen alaşımlar döküm sonrası çökelme sertleşmesi halinde takviyesiz WE43 alaşımında aşınma mekanizması abrasif aşınma izlerinden meydana gelirken bu izlerin takviyeliler ile karşılaştırıldığında daha yoğun olarak görülmek ile beraber takviyesiz WE43'e alaşım elementi takviyesi ile abrasif aşınma izlerinde bir azalma söz konusudur. Takviyeli veya takviyesiz alaşımlar farketmeksizin tüm alaşımlarda ise bir miktar gözlemlenen yapışmanın oluşturduğu plastik deformasyon mekanizmaları mevcuttur.

4.4.3. Ekstrüzyon Sonrası Çökelme Sertleşmesi Uygulanan Alaşımların Aşınma Testi SEM ve EDX Yüze Analizleri

Ekstrüzyon sonrası uygulanan çökelme sertleşmesi işlemi sonucu WE43 ve WE43+ %0,5 ve %1 Ca/ Sr/ Sn/ Zn alaşımlarının block on ring aşınmaya ait SEM analizleri Şekil 4.69- 4.73 arasında verilmiştir.

Ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumundaki aşınma mekanizmalarında görüldüğü gibi takviyesiz WE43 alaşımının, döküm sonrası çökelme sertleşmesi halindeki gibi abrasif aşınma izlerinden oluşmakta ve bu izler oldukça yoğun bir şekilde kendini göstermektedir. Takviyesiz WE43'e alaşım elementi takviyesi ile adhezif aşınma izleri abrasif aşınma izlerinden daha fazla görülmesi ile beraber tüm alaşımların plastik deformasyon mekanizmaları aşınma mekanizmalarının önüne geçmiştir.

WE43

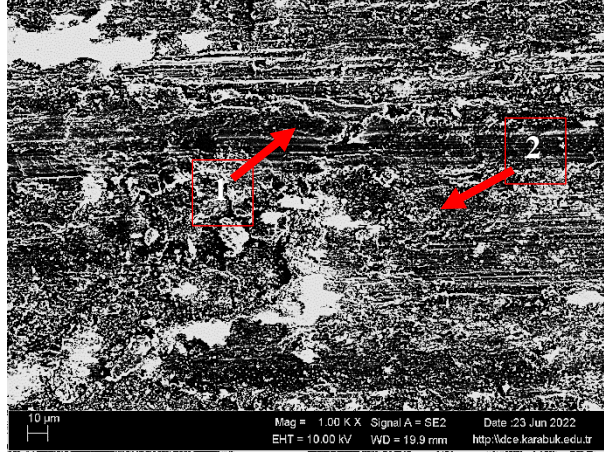


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr
1	94.69	3.90	0.78	0.15
2	59.76	38.66	1.59	-

Şekil 4.69. Takviyesiz WE43 alaşımının ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Ca

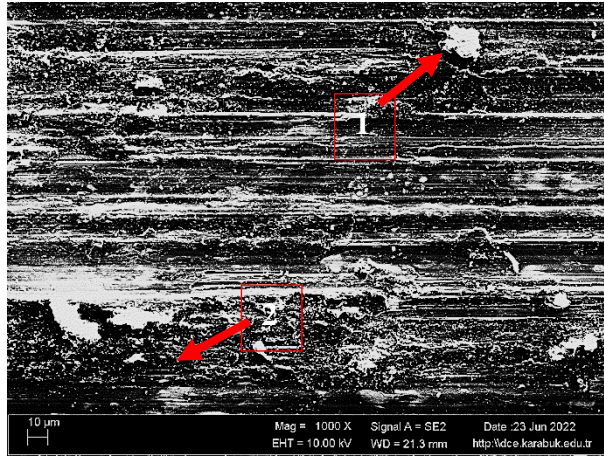


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Ca
1	93.06	3.77	1.76	0.08	0.81
2	86.16	5.63	3.86	0.16	2.32

Şekil 4.70. WE43 %1 Ca alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Sr

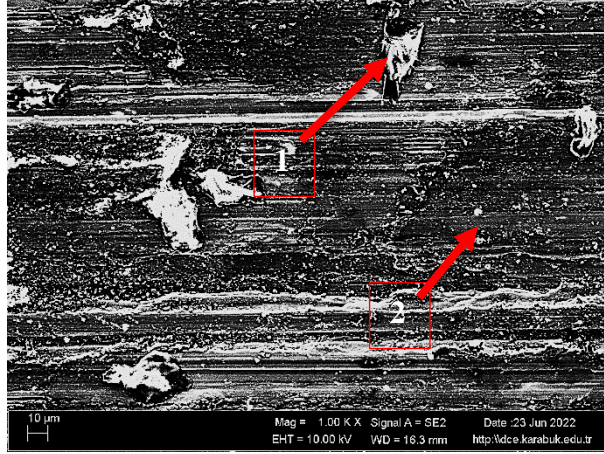


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Sr
1	83.47	5.05	2.70	6.67	1.93
2	91.63	6.20	-	0.60	1.57

Şekil 4.71. WE43 %1 Sr alaşımının ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Sn

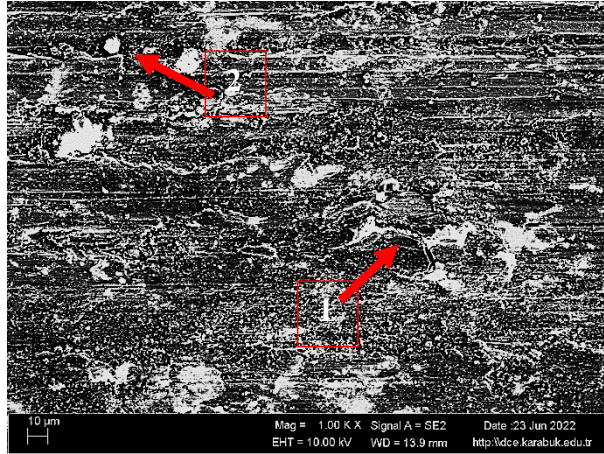


Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Sn
1	74.04	6.55	0.89	11.97	6.56
2	92.95	3.60	-	0.08	1.45

Şekil 4.72. WE43 %1 Sn alaşıminin ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.

WE43% 1 Zn



Kimyasal Kompozisyon (ağ.%)

	Mg	Y	Nd	Zr	Zn
1	88.66	4.79	2.41	0.48	3.10
2	74.77	12.05	4.83	0.87	6.10

Şekil 4.73. WE43 %1 Zn alaşıminin ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumu aşınma SEM ve EDX analizleri.

BÖLÜM 5

GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, düşük basınçlı döküm yöntemi ile üretilen ağ. % 0,5 ve % 1 oranlarında Ca/ Sr/ Sn/ Zn takviye edilmiş WE43 alaşımının Döküm ve ekstrüzyon sonrasında çökeltme sertleşmesi uygulanması yapılmıştır. Üretimi tamamlanan malzemelerin döküm sonrası çökeltme sertleşmesi ve ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi durumlarındaki alaşım karakterizasyonu (metalografik işlemleri ve mikroyapısal karakterizasyonu, XRD, XRF), sertlik testi, korozyon ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda elde edilen bulgular şu şekildedir:

1. XRD sonuçlarına göre WE43 alaşımında ikili ve üçlü intermetaliklere ($Mg_{14}Nd_2Y$, $Mg_{12}Nd$, $Mg_{24}Y_5$ ve $Mg_{41}Nd_5$) rastlanılmıştır. WE43 alaşım matrisinde kalsiyum takviyesi ile Mg_2Ca fazları; stronsiyum takviyesi ile $Mg_{17}Sr_2$ ve $Mg_{23}Sr_6$ fazları; kalay takviyesi ile Sn_3Y_5 fazı ve çinko takviyesi ile Mg-Zn- Nd, $Mg_{12}YZn$, $Mg_3Zn_3Y_2$ ve Mg_3Zn_6Y fazlarının yoğunluğunun arttığı görülmüştür.
2. WE43 alaşıma takviye edilen kalsiyum tane inceltici bir şekilde kendini göstermiş Mg_2Ca 'nın interdendritik alanlar arasında ve tane sınırları boyunca ötektik faz şeklinde dağılımını olmuştur. Takviyesiz WE43 alaşımına kıyasla az fakat artan stronsiyum takviyeli WE43 alaşımlarına mukayese edildiğinde tanelerde bir miktar büyüme gözlemlenmek ile beraber tane yüzeylerinde dendritik yapılar rastlanılmıştır. Kalay takviyeli alaşımlarda artan kalay ile Sn_3Y_5 intermetalliği tane içleri ve tane yüzeylerinde görülmektedir ve bu intermetalik tane yüzeylerinde bariz bir dendritik yapı oluştururken çok sayıda ince tanelerde bu intermetalikte network şeklinde toplanmıştır. WE43 alaşımına kıyasla çinko takviyesi ile hacimsel olarak tanelerde bir fraksiyon

gözlemlenirken %0.5 Zn takviyesinde meydana gelen düzensiz büyüme %1 Zn takviyesi ile daha düzenli ve sıkı bir faz morfolojisine yerini bırakmıştır. Buna ek olarak %1 Zn takviyeli alaşımda belirgin olan Mg-Zn-Y intermetalikleri α -Mg fazlarını tane sınırları boyunca bir ağ formunda sarmıştır.

3. Sertlik sonuçlarına bakıldığında kalsiyum, stronsiyum, kalay ve çinko takviyesi ile alaşımda bir sertlik artışı görülmüştür ve bu artışta tane sınırlarının etrafında dislokasyon yoğunluğu oluşturarak tanelerin hareketinin kitleyen çökeltme sertleşmesinin de rolü olmuştur.
4. Daldırma korozyonu sonuçlarına göre ekstrüzyon ardından uygulanan çökeltme sertleşmesi durumunda ağırlık kayıpları döküm sonrası çökeltme işlemi durumuna göre daha azdır. Kalsiyum takviyesi ile Mg_2Ca partiküllerine komşu α -Mg matrisinde başlayan korozyon çukurları olmuştur. Artan stronsiyum oranı ile $Mg_{17}Sr_2$ 'nin sınır bölgelerinde çökeltmiş ve galvanik etkiyi arttırmıştır. Artan kalay ile yönlendirilmiş taneler arasındaki mikro-galvanik korozyon Sn_3Y_5 intermetalığının varlığının korozyon direncinde negatif yönde bir etkisi olmuştur. Artan çinko oranı ile gerek döküm gerekse ekstrüzyon sonrası çökeltme sertleşmesi uygulanan durumlarda korozyona maruz kalan numune yüzeyinde koruyucu bir oksit tabaka meydana getirmiştir.
5. Potansiyodinamik polarizasyon testleri sonucunda meydana çıkan Tafel eğrilerine bakıldığında daldırma korozyonuna paralel sonuçlar ortaya çıkmıştır ve en iyi korozyon davranışını çinko takviyeli alaşım sergilerken en kötünün kalsiyum takviyeli alaşımda olduğu görülmüştür. Korozyon akım yoğunlukları (icorr) ve korozyon potansiyellerinden (V) görüldüğü üzere ekstrüzyon sonrası uygulanan çökeltme sertleşmesinde %1 Zn takviyeli WE43 alaşımında $70.100 \mu A/cm^2$ akım yoğunluğunda -1.326 V korozyon potansiyeli meydana getirerek korozyon davranışını iyileştirmiştir.
6. Aşınma sonuçlarına göre ekstrüzyon ardından uygulanan çökeltme sertleşmesi durumunda ağırlık kayıpları döküm sonrası çökeltme işlemi durumuna göre daha azdır ve aşınma sonuçları sertlik sonuçlarına paralel olarak gittiği saptanılmıştır. Artan kalsiyum ile aşınma sonucu ağırlık kaybında azmiktar bir

iyileşme olmuştur ve %0,5 oranında eklenmiş olan kalsiyumların ağırlık sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Stronsiyum oranı ile ağırlık kaybında bir azalma olmuştur; ancak WE43 %0,5 Sr döküm sonrası çökelme sertleşmesi uygulanan alaşım takviyesiz WE43'ün ekstrüzyon sonrası çökelme sertleşmesi durumuna kıyasla daha fazla bir ağırlık kaybına maruz kalmıştır. Kalay oranının artması ile daldırma korozyonunda negatif bir ivmeye neden olan Sn_3Y_5 intermetalığı aşınmada bir iyileştirme meydana getirmiştir. Çinko takviyesine bağlı olarak aşınmaya maruz kalan malzemenin ağırlığındaki kaybın daha azdır ve 6000 metre sonunda 0,10862 gram olarak en az ağırlık kaybına uğrayan malzeme grubudur.

KAYNAKLAR

1. Wickberg, A. and Ericsson, R., "Magnesium in the Volvo LCP 2000", (1985).
2. Dobrzanski, L., Tomasz, T., Čížek, L., and Brytan, Z., "Structure and properties of magnesium cast alloys", *Journal Of Materials Processing Technology - J MATER PROCESS TECHNOL*, 192: 567–574 (2007).
3. Watarai, H., "Trend of research and development for magnesium alloys", *Science& Technology Trends*, 18 (1): 84–97 (2006).
4. "Technology of Magnesium and Magnesium Alloys", *Magnesium Technology: Metallurgy, Design Data, Applications*, Springer, Berlin, Heidelberg, 219–430 (2006).
5. Zhang, Q., Li, Q.-A., Zhang, X.-Y., and Zhou, W., "Research progress of heat resistant Mg-Gd system magnesium alloy", *Zhuzao/Foundry*, 60: 1080–1083 (2011).
6. Kiani, M., Gandikota, I., Rais-Rohani, M., and Motoyama, K., "Design of lightweight magnesium car body structure under crash and vibration constraints", *Journal Of Magnesium And Alloys*, 2 (2): 99–108 (2014).
7. Lv, S., Meng, F., Guan, K., and Meng, J., "Atomic study on phase transformation of the strengthening phase in a die-casting Mg–Al–La alloy via an intermediate phase", *Materials & Design*, 208: 109904 (2021).
8. Kawamura, Y., Hayashi, K., Inoue, A., and Masumoto, T., "Rapidly solidified powder metallurgy Mg₉₇Zn₁Y₂ alloys with excellent tensile yield strength above 600 MPa", *Materials Transactions*, 42: 1172–1176 (2001).
9. Sun, W. T., Qiao, X., Zheng, M., Xu, C., Kamado, S., Zhao, X., Chen, H. W., Gao, N., and Starink, M., "Altered ageing behaviour of a nanostructured Mg-8.2Gd-3.8Y-1.0Zn-0.4Zr alloy processed by high pressure torsion", *Acta Materialia*, 151: (2018).
10. Zhao, K., Peng, X., XIE, W., WEI, Q., Yang, Y., and WEI, G., "Effects of Ce on microstructure of semi-continuously cast Mg_{1.5}Zn_{0.2}Zr magnesium alloy ingots", *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China*, 20: (2010).
11. Du, Y., Qiao, X., Zheng, M., wu, K., and Xu, S. W., "The microstructure, texture and mechanical properties of extruded Mg–5.3Zn–0.2Ca–0.5Ce (wt%) alloy", *Materials Science And Engineering: A*, 620: (2014).

12. Chia, T., Easton, M., Zhu, S., Gibson, M., Birbilis, N., and Nie, J. F., "The effect of alloy composition on the microstructure and tensile properties of binary Mg-rare earth alloys", *Intermetallics*, 17: 481–490 (2009).
13. Huang, Y., Gan, W., Kainer, K., and Hort, N., "Role of multi-microalloying by rare earth elements in ductilization of magnesium alloys", *Journal Of Magnesium And Alloys*, 2: (2014).
14. Stanford, N. and Barnett, M., "'The Origin of 'Rare Earth' Texture Development in Extruded Mg-Based Alloy and Its Effect on Tensile Ductility'", *Materials Science And Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure And Processing*, 496: 399–408 (2008).
15. Stanford, N., Atwell, D., Beer, A., Davies, C., and Barnett, M. R., "Effect of microalloying with rare-earth elements on the texture of extruded magnesium-based alloys", *Scripta Materialia*, 59: 772–775 (2008).
16. Edgar, R., Schmid-Fetzer, R., Gröbner, J., Kevorkov, D., King, J., Schumann, S., Aghion, E., Bronfin, B., Mordike, B., Eliezer, D., Pettersen, K., Westengen, H., Skar, J., Videm, M., Wei, L.-Y., Mordike, B., Buch, F., and Rammerstorfer, F., "Magnesium Alloys and Their Applications", (2006).
17. Eliezer, D., Aghion, E., and Froes, F. H. (Sam), "Magnesium Science, Technology and Applications", *Advanced Performance Materials*, 5 (3): 201–212 (1998).
18. King, J. F., "Magnesium: commodity or exotic?", *Materials Science And Technology*, 23 (1): 1–14 (2007).
19. Luo, A. and Pekguleryuz, M. O., "Cast magnesium alloys for elevated temperature applications", *Journal Of Materials Science*, 29 (20): 5259–5271 (1994).
20. "Introduction to Magnesium Alloys", *Engineering Properties Of Magnesium Alloys*, 10 (2017).
21. Avedesian, M. M. and Baker, H., "ASM Specialty Handbook: Magnesium and Magnesium Alloys", *ASM International*, 336 (1999).
22. Correa, A. M. B., "Effect of Solute Elements on The Lattice Parameters of Magnesium", 126 (2006).
23. Gao, X. and Nie, J. F., "Characterisation of Strengthening Precipitate Phases in a Mg-Y-Nd Alloy", *Scripta Materialia*, 56: 645–648 (2007).
24. Zhao, H., Qin, G., Ren, Y., Pei, W., Chen, D., and Guo, Y., "The maximum solubility of y in α -Mg and composition ranges of Mg₂₄Y₅ - X and Mg₂Y₁ - X intermetallic phases in Mg-Y binary system", *Journal Of Alloys And Compounds*, 509: 627–631 (2011).

25. Sanling, F., Quanan, L., Xiaotian, J., Qing, Z., Zhi, C., and Wenjian, L., "Review on research and development of heat resistant Magnesium alloy", *1st International Conference on Mechanical Engineering and Material Science (MEMS 2012)*, (2012).
26. Hildebrand, Z., Qian, M., StJohn, D., and Frost, M., "Influence of zinc on the soluble zirconium content in magnesium and the subsequent grain refinement by zirconium", *Magnesium Technology 2004*, (2004).
27. "Binary Alloy Phase Diagrams, 2nd Edition - ASM International", *ASM International*, (1990).
28. Clow, B. B. and Garber, F., "Magnesium Auf Neuen Wegen", *Metall*, 45: 599–601 (1991).
29. Campbell, M. and Hatton, H., "Herbert H. Dow: Pioneer in Creative Chemistry", First edition. Ed., *Appleton Century Crofts*, New York, 168 (1951).
30. Kozłowski, R., Mieleniak, B., Helwig, M., & Przepiera, A., "Flame resistant lignocellulosic-mineral composite particleboards", *Polymer Degradation and Stability*, 64(3): 523-528 (1999).
31. Haughton, J. L. and Prytherch, W. E., "Magnesium and Its Alloys", *Chemical Publishing Co*, New York, (1938).
32. Kaplan, S., "Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümünde Kullanılan Makinelerin Tasarım Esaslarının İncelenmesi", Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, (2012).
33. Gupta, M. and Sharon, N. M. L., "Magnesium, Magnesium Alloys, and Magnesium Composites", *John Wiley & Sons Inc.*, New York, 280 (2011).
34. Norsk Hydro Datenbank, "NHMg.db (ext.)", *Norsk Hydro Research Centre Porsgrunn*, (1996).
35. Pekgüeryuz, M., Celikin, M., Hoseini, M., Becerra, A., and Mackenzie, L., "Study on edge cracking and texture evolution during 150°C rolling of magnesium alloys: The effects of axial ratio and grain size", *Journal Of Alloys And Compounds*, 510: 15–25 (2012).
36. Pekgüeryuz, M. O., Kainer, K., and Kaya, A., "Fundamentals of Magnesium Alloy Metallurgy", *Elsevier*, 381 (2013).
37. Cameron, A. M., Lewis, L. A., and Drumm, C. F., "The Thermodynamic and Economic Modelling of a novel Magnesium Production Process", *Proceeding of the Third International Magnesium Conference*, Manchester, England, (1996).
38. Celik, C., Peacey, J., Bishop, G., White, C., Giasson, E., and Avedesian, M., "Magnola – An Innovative Process For Magnesium Production", *Proceeding of the Third International Magnesium Conference*, Manchester, England, (1996).

39. Internet: Total Materia Article, "Biodegradation Properties of Magnesium Alloys",
<https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=370>
(2022).
40. Leil, T. A., "Development of New Magnesium Alloys for High Temperature Applications", *Clausthal University of Technology*, (2009).
41. Esmaily, M., Svensson, J. E., Fajardo, S., Birbilis, N., Frankel, G. S., Virtanen, S., Arrabal, R., Thomas, S., and Johansson, L. G., "Fundamentals and advances in magnesium alloy corrosion", *Progress In Materials Science*, 89: 92–193 (2017).
42. Pekguleryuz, M. O. and Avedesian, M. M., "Magnesium alloying-some metallurgical aspects", *Magnesium Alloys And Their Applications*, 213–220 (1992).
43. Aaronson, H. I. and Clark, J. B., "Influence of continuous precipitation upon the growth kinetics of the cellular reaction in an Al-Ag alloy", *Acta Metallurgica*, 16: 845–855 (1968).
44. Porter, D. A. and Easterling, K. E., "Phase Transformations in Metals and Alloys", 2nd. Ed., *Chapman & Hall*, London ; New York, 514 (1992).
45. Kovács, I., Lendvai, J., Ungar, T., Groma, G., and Lakner, J., "Mechanical properties of AlZnMg alloys", *Acta Metallurgica*, 28 (12): 1621–1631 (1980).
46. Munjal, V. and Ardell, A., "Precipitation hardening of Ni-12.19 at.% Al alloy single crystals", *Acta Metallurgica*, 23: 513–520 (1975).
47. Nie, J. F., "Effects of precipitate shape and orientation on dispersion strengthening in magnesium alloys", *Scripta Materialia*, 48: 1009–1015 (2003).
48. Nayeb-Hashemi, A. A. and Clark, J. B., "Phase Diagrams of Binary Magnesium Alloys", *ASM International*, Ohio, United States, 370 (1988).
49. Victoria-Hernández, J., Hernandez-Silva, D., Bohlen, J., Yi, S., and Letzig, D., "Low Temperature Superplasticity of Hydrostatically Extruded Mg-Al-Zn Alloys", *Materials Science Forum*, 735: 307–315 (2012).
50. Celotto, S., "TEM study of continuous precipitation in Mg-9 Wt%Al-1 Wt%Zn alloy", *Acta Materialia - ACTA MATER*, 48: 1775–1787 (2000).
51. Clark, J. B., "Age hardening in a Mg-9 wt.% Al alloy", *Acta Metallurgica*, 16 (2): 141–152 (1968).
52. Crawley, A. and Lagowski, B., "Effect of two-step aging on the precipitate structure in magnesium alloy AZ91", *Met. Trans.*, 5: 949–951 (1974).

53. Crawley, A. F. and Milliken, K. S., "Precipitate morphology and orientation relationships in an aged Mg-9% Al-1% Zn-0.3% Mn alloy", *Acta Metallurgica*, 22: 557–562 (1974).
54. Lagowski, B. and Crawley, A., "The effect of prior cold work on the precipitation and mechanical properties of a heat treated Mg–9Al–2Zn (AZ92) alloy", *Metallurgical And Materials Transactions A-Physical Metallurgy And Materials Science - METALL MATER TRANS A*, 7: 773–775 (1976).
55. Villars, P., Calvert, L. D., and Pearson, W. B., "Pearson's Handbook of Crystallographic Data for Intermetallic Phases", 2nd Edition. Ed., *ASM International*, Ohio, United States, 5366 (1991).
56. García, E. M., "Influence Of Alloying Elements On The Microstructure and Mechanical Properties Of Extruded Mg-Zn Based Alloys", PhD Thesis, *Technischen Universität*, Berlin, (2010).
57. Mima, G. and Tanaka, Y., "The Aging Characteristics of Magnesium-4wt% Zinc Alloy", *Mem Fac. Eng.*, 23: (1971).
58. Clark, J. B., "Transmission electron microscopy study of age hardening in a Mg-5 wt.% Zn alloy", *Acta Metallurgica*, 13: 1281–1289 (1965).
59. Mima, G. and Tanaka, Y., "Mechanism of Precipitation Hardening of Magnesium-Zinc Alloys", *Transactions Of The Japan Institute Of Metals*, 12: 323–328 (1971).
60. Park, S. H., Jung, J.-G., Kim, Y., and You, B. S., "A new high-strength extruded Mg-8Al-4Sn-2Zn alloy", *Materials Letters*, 139: 35–38 (2015).
61. Planken, J., "Precipitation hardening in magnesium-tin alloys", *Journal Of Materials Science - J MATER SCI*, 4: 927–929 (1969).
62. Turen, Y., "Effect of Sn addition on microstructure, mechanical and casting properties of AZ91 alloy", *Materials & Design*, 49: 1009–1015 (2013).
63. Yang, M. and Pan, F.-S., "Effects of Sn addition on as-cast microstructure, mechanical properties and casting fluidity of ZA84 magnesium alloy", *Materials & Design - MATER DESIGN*, 31: 68–75 (2010).
64. Sasaki, T., Yamamoto, K., Homma, T., Kamado, S., and Hono, K., "A high-strength Mg–Sn–Zn–Al alloy extruded at low temperature", *Scripta Materialia*, 59: 1111–1114 (2008).
65. Sasaki, T., Oh-ishi, K., Ohkubo, T., and Hono, K., "Enhanced age hardening response by the addition of Zn in Mg–Sn alloys", *Scripta Materialia - SCRIPTA MATER*, 55: 251–254 (2006).
66. Kainer, K., Srinivasan, P., Blawert, C., and Dietzel, W., "Corrosion of Magnesium and its Alloys", *Shreir's Corrosion*, 2011–2041 (2010).

67. Emley, E. F., "Principle of Magnesium Technology", *Pergamon Press*, Oxford, London, 1013 (1966).
68. Tawil, D. S., "Protection Of Magnesium Componentes For The Military Environment", *Proceedings of the 1989 Tri-Service Conference on Corrosion*, Atlantic City, New Jersey, (1989).
69. Nie, J. F. and Muddle, B. C., "Precipitation hardening of Mg-Ca(-Zn) alloys", *Scripta Materialia*, 37 (10): 1475–1481 (1997).
70. Oh, J. C., Ohkubo, T., Mukai, T., and Hono, K., "TEM and 3DAP characterization of an age-hardened Mg–Ca–Zn alloy", *Scripta Materialia*, 53 (6): 675–679 (2005).
71. Oh-ishi, K., Watanabe, R., Mendis, C. L., and Hono, K., "Age-hardening response of Mg–0.3 at.%Ca alloys with different Zn contents", *Materials Science And Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure And Processing - MATER SCI ENG A-STRUCT MATER*, 526: 177–184 (2009).
72. Tang, A., Pan, F.-S., Yang, M., and Cheng, R., "Mechanical Properties and Microstructure of Magnesium-Aluminum Based Alloys Containing Strontium", *MATERIALS TRANSACTIONS*, 49: 1203–1211 (2008).
73. Yang, Z., Du, J., Wen, B., Hu, C., and Melnik, R., "First principles studies on the structural, elastic, electronic properties and heats of formation of Mg–AE (AE = Ca, Sr, Ba) intermetallics", *Intermetallics*, 32: 156–161 (2013).
74. Brar, H., Wong, J., and Manuel, M., "Investigation of the mechanical and degradation properties of Mg-Sr and Mg-Zn-Sr for use as potential biodegradable implant materials", *Journal Of The Mechanical Behavior Of Biomedical Materials*, 7: 87–95 (2012).
75. Rokhlin, L. L., "Magnesium Alloys Containing Rare Earth Metals: Structure and Properties", *Taylor & Francis*, London, (2003).
76. Leontis, T. E., "The Properties of Sand Cast Magnesium-Rare Earth Alloys", *J. Metals*, Vol: 7: (1949).
77. Hisa, M., "Precipitation hardening behaviour of Mg-1.3wt% rare earth alloys", PhD Thesis, *University of Queensland*, Australia, (1995).
78. Vostry, P., Stulíková, I., Smola, B., Cieslar, M., and Mordike, B., "A study of the decomposition of supersaturated Mg-Y-Nd, Mg-Y and Mg-Nd alloys", *Zeitschrift Fuer Metallkunde/Materials Research And Advanced Techniques*, 79: 340–344 (1988).
79. Rokhlin, L., Dobatkina, T., Tarytina, I., Timofeev, V., and Balakhchi, E., "Peculiarities of the phase relations in Mg-rich alloys of the Mg–Nd–Y system", *Journal Of Alloys And Compounds - J ALLOYS COMPOUNDS*, 367: 17–19 (2004).

80. Hort, N., Huang, Y., and Kainer, K., "Intermetallics in Magnesium Alloys", *Advanced Engineering Materials*, 8: 235–240 (2006).
81. Yamasaki, M., Anan, T., Yoshimoto, S., and Kawamura, Y., "Mechanical properties of warm-extruded Mg–Zn–Gd alloy with coherent 14H long periodic stacking ordered structure precipitate", *Scripta Materialia*, 53: 799–803 (2005).
82. Zhu, Y., Morton, A., and Nie, J. F., "Improvement in the age-hardening response of Mg–Y–Zn alloys by Ag additions", *Scripta Materialia - SCRIPTA MATER*, 58: 525–528 (2008).
83. Wilson, R., Bettles, C., Muddle, B., and Nie, J., "Precipitation hardening in Mg–3 wt%Nd(-Zn) casting alloys", *Materials Science Forum*, 419–4: 267–272 (2003).
84. Mabuchi, M., Chino, Y., and Iwasaki, H., "Tensile Properties at Room Temperature to 823 K of Mg₄Y–3RE Alloy", *Materials Transactions - MATER TRANS*, 43: 2063–2068 (2002).
85. Zhang, X., Wang, Z., Yuan, G., and Xue, Y., "Improvement of mechanical properties and corrosion resistance of biodegradable Mg–Nd–Zn–Zr alloys by double extrusion", *Materials Science And Engineering: B*, 177: 1113–1119 (2012).
86. Su, Z., Liu, C., and Wan, Y., "Microstructures and mechanical properties of high performance Mg–4Y–2.4Nd–0.2Zn–0.4Zr alloy", *Materials & Design*, 45: 466–472 (2013).
87. Mukai, T., Ishikawa, K., Mohri, T., Nakamura, M., and Higashi, K., "Experimental study of a structural magnesium alloy with high absorption energy under dynamic loading", *Scripta Materialia*, 39: (1998).
88. Panigrahi, S., Yuan, W., Mishra, R., Delorme, R., Davis, B., Howell, R., and Cho, K., "A study on the combined effect of forging and aging in Mg–Y–RE alloy", *Materials Science And Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure And Processing - MATER SCI ENG A-STRUCT MATER*, 530: (2011).
89. Kang, Y. H., Wu, D., Chen, R. s., and Han, E., "Microstructures and mechanical properties of the age hardened Mg–4.2Y–2.5Nd–1Gd–0.6Zr (WE43) microalloyed with Zn", *Journal Of Magnesium And Alloys*, 2: (2014).
90. Babacan, N., Yurtkuran, E., Balci, A., Bieda, M., and Jarzębska, A., "Effects of Non-isothermal Aging on Microstructure and Mechanical Properties of WE43 Alloy", *Journal Of Materials Engineering And Performance*, 30: 1–8 (2021).
91. Bhattacharyya, J. J., Wang, F., McQuade, P. J., and Agnew, S. R., "Deformation and fracture behavior of Mg alloy, WE43, after various aging heat treatments", *Materials Science And Engineering: A*, 705: (2017).

92. Ghorbanpour, S., McWilliams, B., and Knezevic, M., "Effect of hot working and aging heat treatments on monotonic, cyclic, and fatigue behavior of WE43 magnesium alloy", *Materials Science And Engineering: A*, 747: (2019).
93. Knapek, M., Minárik, P., Trojanova, Z., Kubásek, J., Hájek, M., Šmilauerová, J., Hofman, D., and Stráská, J., "The in-situ mechanical spectroscopy and electric resistance study of WE43 magnesium alloy during aging", *Journal Of Alloys And Compounds*, 743: (2018).
94. Kang, Y. H., Huang, Z. H., Wang, S. C., Yan, H., Chen, R. S., and Huang, J. C., "Effect of pre-deformation on microstructure and mechanical properties of WE43 magnesium alloy II: Aging at 250 and 300 °C", *Journal Of Magnesium And Alloys*, 8: (2020).
95. Luo, A., "Magnesium casting technology for structural applications", *Journal Of Magnesium And Alloys*, 1: 2–22 (2013).
96. Palmer, B. and Toit, P. de, "SF6 Emissions From Magnesium", 226–217 (2001).
97. Hillis, J. E., "The International Program to Identify Alternatives to SF6 for Magnesium Melt Protection", 21–22 (2002).
98. J.W., F. and J.D., H., "Protective Atmospheres For Melting Magnesium Alloys", *Modern Casting*, 77: 159–164 (1969).
99. Vinarcik, E. J., "High Integrity Die Casting Processes", *John Wiley & Sons*, New York, 256 (2002).
100. Brungs, D., "Light weight design with light metal castings", *Materials & Design - MATER DESIGN*, 18: 285–291 (1997).
101. Siedersleben, M., "Vacuum Die-Casting of Magnesium Parts with High Pressure", 45–55 (2004).
102. Bohlen, J., Swiostek, J., Brokmeier, H.-G., Letzig, D., and Kainer, K., "Low temperature hydrostatic extrusion of magnesium alloys", *Magnesium Technology*, 2006: 213–217 (2006).
103. Blackburn, S. and Szymiczek, M., "Extrusion", Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, (2020).
104. Kalpakjian, S., Schmid, S., and Sekar, V., "Manufacturing Engineering and Technology", (2013).
105. Kainer, K., Bohlen, J., and Letzig, D., "New Developments in Extruded Magnesium Alloys for Structural Applications", *Materials Science Forum - MATER SCI FORUM*, 561–565: 1545–1548 (2007).

106. Subaşı, Y., "Farklı Alaşım Elementi İlaveli WE43 Magnezyum Alaşımının Döküm ve Ekstrüzyon Sonrası Mikroyapı, Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi", PhD Thesis, **Karabük Üniversitesi**, Mühendislik Fakültesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Karabük, (2020).
107. Zengin, H., "ZK60 Magnezyum Alaşımının Döküm ve Ekstrüzyon Sonrası Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisinin İncelenmesi", PhD Thesis, **Karabük Üniversitesi**, Mühendislik Fakültesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Karabük, (2018).
108. Qian, X., Zeng, Y., Davis, A., Yang, Q., Wan, Y., Yang, Q. R., Sun, K. X., and Jiang, B., "Intrinsic mechanical and interfacial characteristics of precipitates contributing to the room and elevated temperature strength in Mg-Sn-Y alloys", **Journal Of Materials Research And Technology**, 15: (2021).
109. Keskin, E., Subaşı, Y., Turen, Y., Ahlatcı, H., Esen, İ., Ünal, M., Elen, L., Öztürk, E., Duran, E., and Boztaş, H., "Investigation of The Effect of Precipitation Hardening On Block On Ring Wear Behavior of WE43 Magnesium Alloys with Additional Zinc and Strontium Alloy Elements", **6nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia**, Kapadokya, (2021).
110. Sudholz, A., Kirkland, N., Buchheit, R., and Birbilis, N., "Electrochemical Properties of Intermetallic Phases and Common Impurity Elements in Magnesium Alloys", **Electrochemical And Solid-State Letters**, 14: C5–C7 (2011).
111. Zeng, R., Qi, W., Zhang, F., Cui, H.-Z., and Zheng, Y., "In vitro corrosion of Mg–1.21Li–1.12Ca–1Y alloy", **Progress In Natural Science: Materials International**, 24: (2014).
112. Ding, Y., Li, Y., and Wen, C., "Effects of Mg₁₇Sr₂ Phase on the Bio-Corrosion Behavior of Mg–Zr–Sr Alloys", **Advanced Engineering Materials**, 18: 259–268 (2016).
113. Yang, H., Wu, L., Jiang, B., Liu, W., Xie, H., Song, J., Huang, G., Zhang, D., and Pan, F.-S., "Effect of Microstructure on the Corrosion Behavior of as-cast and Extruded Mg–Sn–Y Alloys", **Journal Of The Electrochemical Society**, 167: (2020).
114. Cai, S., Lei, T., Li, N., and Feng, F., "Effects of Zn on microstructure, mechanical properties and corrosion behavior of Mg–Zn alloys", **Materials Science And Engineering: C**, 32: 2570–2577 (2012).
115. Ardelean, H., Seyeux, A., Zanna, S., Prima, F., Frateur, I., and Marcus, P., "Corrosion processes of Mg–Y–Nd–Zr alloys in Na₂SO₄ electrolyte", **Corrosion Science**, 73: 196–207 (2013).

ÖZGEÇMİŞ

Esmâ KESKİN, ilk ve orta öğrenimini Hatay'ın Dörtyol ilçesinde tamamladı. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2019 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisansa başladı.