İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAGNEZYUM TALAŞLARINDAN MALZEME ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nihan TAŞKIN

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAGNEZYUM TALAŞLARINDAN MALZEME ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nihan TAŞKIN
(521101014)

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. E. Sabri KAYALI
Eş Danışman : Doç.Dr. Harun MİNDİVAN

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 521101014 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi **Nihan TAŞKIN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"MAGNEZYUM TALAŞLARINDAN MALZEME ÜRETİMİ "** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. E.Sabri KAYALI** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Eş Danışman :	**Doç.Dr. Harun MİNDİVAN** Atatürk Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Murat BAYDOĞAN İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Yrd. Doç. Dr. Erdem ATAR Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü	.....

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **5 Haziran 2012**

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans süreci boyunca benden gerek bilimsel konularda gerekse manevi açıdan desteğini esirgemeyen, her zaman için fikirlerine ihtiyaç duyduğum çok değerli hocam Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI'ya; Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU'na; deneysel çalışmalarımda ve tezimin şekillenmesinde her zaman için bana yardımcı olan sıklıkla fikirlerini aldığım değerli hocam Doç. Dr. Harun MİNDİVAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yine deneysel çalışmalarımda ve tezimin şekillenmesinde bana yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. Murat BAYDOĞAN'a; özellikle laboratuar cihazlarının kullanımında sıklıkla bilgisine başvurduğum Araş. Gör. Dr. Onur MEYDANOĞLU'na, Araş. Gör. Faiz MUHAFFEL'e ve çok değerli arkadaşım Yük. Müh. RecepVATANSEVER'e teşekkürlerimi sunarım.

Bir kısım deneysel çalışmamın yapılmasına laboratuvar imkanı sağlayan Prof. Dr. M. Lütfi ÖVEÇOĞLU'na ve Araş. Gör. Hasan GÖKÇE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisansım boyunca gerek deneysel konularda gerekse manevi olarak her zaman yanımda olan arkadaşım Yük. Müh. Zühra İNANIRA'a, arkadaşlarım Yük. Müh. Meltem İPEKÇİ'ye, Yük. Müh.Elif EZGİ'ye, Yük.Müh.Farid SİYAHJANİ'ye ve Araş. Gör. Onur TAZEGÜL'e, Araş.Gör. Görkem YUMUŞAK'a, Gürol ALDIÇ'a, M.Akif ÜNAL'a ve Yük. Müh. Cevahir DURMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan canım anneme, babama ve kız kardeşim Melda'ya da sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Haziran 2012

Nihan TAŞKIN
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
2. MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARI **3**
2.1 Magnezyumun Fiziksel Özellikleri 3
2.2 Magnezyumun Mekanik Özellikleri 7
2.3 Magnezyum Ve Magnezyum Alaşımlarının Korozyon Özellikleri 7
2.3.1 Magnezyumun potansiyel - pH diyagramı 9
2.3.2 Magnezyumda görülen korozyon türleri 10
2.3.2.1 Galvanik korozyon 11
2.3.2.2 Oyuklanma korozyonu 11
2.3.2.3 Tanelerarası korozyon 11
2.3.2.4 Gerilmeli korozyon çatlaması 12
2.3.2.5 Kurtçuk ve aralık korozyonu 12
2.3.2.6 Yüksek sıcaklık oksidasyonu 12
2.4 Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması 13
2.4.1. Magnezyum döküm alaşımları 13
2.4.1.1 Yüksek basınçlı kalıba döküm alaşımları 13
2.4.1.2 Kum ve sürekli kalıba döküm alaşımları 14
2.4.2 Magnezyum dövme alaşımları 17
2.4.2.1 Ekstrüde edilmiş çubuklar ve şekiller 17
2.4.2.2 Dövme alaşımlar 18
2.4.2.3 Sac ve levhalar 18
2.5 Alaşım elementlerinin etkisi 18
2.5.1 Alüminyum 19
2.5.2 Demir 20
2.5.3 Mangan 20
2.5.4 Çinko 20
2.5.5 Zirkonyum 20
2.5.6 Bakır 21
2.5.7 Nikel 21
2.5.8 Nadir toprak elementleri 21
3. KATI HAL GERİ KAZANIM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ MİKROYAPI, MEKANİK VE KOROZYON ÖZELLİKLERİ **23**
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **27**
4.1 Deneysel Malzemeler 27

4.2 Deneysel MalzeRİmelerin Üretim Yöntemi 27
4.3 Mikroyapı Karakterizasyon Çalışmaları 29
4.3.1 Metalografik incelemeler 30
4.3.2 XRD incelemeleri 30
4.3.3 Yoğunluk ve elektrik iletkenlik öçümleri 30
4.4 Mekanik Karakterizasyon Çalışmaları 31
4.4.1 Sertlik ölçümleri 31
4.4.2 Basma deneyi 31
4.4.3 Aşınma deneyi 32
4.5 Korozyon Deneyi 32
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEMELER 35
5.1 Mikroyapı Karakterizasyon Sonuçları Ve Değerlendirilmesi 35
5.2 Mekanik Özellik Karakterizasyon Sonuçları Ve Değerlendirilmesi 43
5.2.1 Sertlik ve basma deney sonuçları ve değerlendirilmesi 43
5.2.2 Aşınma deney sonuçları ve değerlendirilmesi 47
5.3 Korozyon Deney Sonuçları Ve Değerlendirilmesi 52
6. GENEL SONUÇLAR 63
KAYNAKLAR 67
ÖZGEÇMİŞ 81

KISALTMALAR

ASTM	**:** American Society for Testing and Materials
EMK	**:** Elektro Motif Kuvveti
EKAP	**:** Eş Kanallı Açısal Pres
GKÇ	**:** Gerilmeli Korozyon Çatlaması
HSP	**:** Hegzagonal Sıkı Paket
SEM	**:** Taramalı Elektron Mikroskop
P-B	**:** Pilling-Bedworth Oranı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Magnezyumun fiziksel özellikleri 6
Çizelge 2.2 : Magnezyumun mekanik özellikleri. 7
Çizelge 5.1 : Hazırlanan malzemelerin sınıflandırılması. 35
Çizelge A.1: Magnezyum alaşımlarının isimlendirilmesi 72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Magnezyum, alüminyum ve demirin temel yapısal özelliklerinin karşılaştırılması. 6
Şekil 2.2 : Magnezyumdaki oksit tabakaları..... 9
Şekil 2.3 : Magnezyuma ait Pourbaix diyagramı. 10
Şekil 2.4 : Magnezyum-alüminyum denge faz diyagramı..... 19
Şekil 4.1 : (a) Soğuk preslenen parçanın şematik görüntüsü, (b) soğuk preslenen ve ardından 350°C'de ekstrüde edilen malzeme..... 28
Şekil 4.2 : İncelenen malzemelerin üretimine ait akım şeması 29
Şekil 4.3 : Bu çalışma için tasarlanan (a) fırın kontrol ünitesi ve (b) ekstrüzyon kalıbı..... 29
Şekil 4.4 : Leica marka ışık mikroskobu 30
Şekil 4.5 : Shimadzu marka mikrosertlik cihazı..... 31
Şekil 4.6 : Dartec üniversal test cihazı..... 32
Şekil 5.1 : Ağırlıkça % 50 talaş içeren her bir malzeme grubuna ait ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri..... 37
Şekil 5.2 : Ağırlıkça % 100 talaş içeren (a) MT370/mt, (b) MT570/mt, (c) MT740/mt, (d) MT1150/mt (e) AZMT220/mt ve (f) AZMT780/mt malzeme gruplarına ait ekstrüzyon yönündeki genel makroyapı görüntüleri..... 38
Şekil 5.3 : Ağırlıkça % 100 magnezyum tozu, % 50 ve % 75 talaş içeren MT740/mt, MT1150/mt malzemelerin XRD paternleri..... 39
Şekil 5.4 : Ağırlıkça % 100 magnezyum tozu, % 25 ve % 50 talaş içeren AZMT220/mt malzemelerin XRD paternleri..... 39
Şekil 5.5 : MT740/at ve mt16/at malzemelerin XRD paternleri 40
Şekil 5.6 : Talaş içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin yoğunluk değişimi 41
Şekil 5.7 : Talaş içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin elektrik iletkenliği değişimi 41
Şekil 5.8 : Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak MT740/at ve mt16/at malzemelerde yoğunluk değişimi..... 42
Şekil 5.9 : Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak MT740/at ve mt16/at malzemelerde elektrik iletkenliği değişimi 42
Şekil 5.10 : Talaş içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin sertlik değişimi..... 44
Şekil 5.11 : Talaş içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin basma akma mukavemetinin değişimi 44
Şekil 5.12 : Talaş içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin basma mukavemetinin değişimi..... 45
Şekil 5.13 : Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin sertlik değişimi..... 46

Şekil 5.14 : Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin basma mukavemetinin değişimi 46
Şekil 5.15 : İncelenen MT740/at ve mt16/at malzemelerin sertliğinin elektrik iletkenliğine bağlı olarak değişimi 46
Şekil 5.16 : Talaş içeriğine bağlı olarak en düşük ve en yüksek kayma hızları için AZMT220/mt malzemelerin aşınma testi sonrası 2 boyutlu iz profiller. 48
Şekil 5.17 : Kayma hızına bağlı olarak AZMT220/mt malzemelerin relatif aşınma direnci değişimi 49
Şekil 5.18 : Talaş içeriğine bağlı olarak en düşük ve en yüksek kayma hızları için AZMT220/mt malzemelerin yüzeyinde oluşan aşınma izlerine ait taramalı elektron mikroskobu görünümleri 51
Şekil 5.19 : Aşınma testlerinde ağırlıkça % 50 talaş içeren AZMT220/mt malzeme yüzeyine sürten çelik bilye tarafından oluşturulan taramalı elektron mikroskop (a) aşınma izi görüntüsü ve (b) iz içerisinde açık renkli adacıklardan alınmış EDS analiz sonucu 52
Şekil 5.20 : Talaş ve alüminyum toz içeriğine bağlı olarak (a) MT370/mt, (b) MT570/mt, (c) MT740/mt, (d) MT1150/mt, (e) AZMT220/mt (f) AZMT780/mt (g) mt16/at ve (h) MT740/at malzemelerin ağırlık kayıplarının zamana göre değişimi 53
Şekil 5.21 : (a) Saf magnezyum talaşı ile magnezyum toz ve (b) AZ91 alaşım talaşı ile magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin talaş içeriğine bağlı olarak korozyon hızının değişimi 54
Şekil 5.22 : Saf magnezyum tozu ve saf magnezyum talaşından hazırlanan malzemelerin alüminyum toz içeriğine bağlı olarak korozyon hızının değişimi 55
Şekil 5.23 : Talaş ve alüminyum toz içeriğine bağlı olarak (a) MT370/mt, (b) MT570/mt, (c) MT740/mt, (d) MT1150/mt, (e) AZMT220/mt (f) AZMT780/mt (g) mt16/at ve (h) MT740/at malzemelerin çözelti pH değerlerinin zamana göre değişimi 57
Şekil 5.24 : Talaş ve alüminyum toz içeriğine bağlı olarak (a) MT370/mt, (b) MT570/mt, (c) MT740/mt, (d) MT1150/mt, (e) AZMT220/mt (f) AZMT780/mt (g) mt16/at ve (h) MT740/at malzemelerin çözelti iletkenliği değerlerinin zamana göre değişimi 58
Şekil 5.25 : Saf magnezyum talaşından üretilen malzemelerin talaş içeriğine bağlı olarak korozyon SEM görünümleri 59
Şekil 5.26 : AZ91 alaşım talaşından üretilen malzemelerin talaş içeriğine bağlı olarak korozyon SEM görünümleri 60
Şekil 5.27 : Saf magnezyum tozu ve saf magnezyum talaşından hazırlanan malzemelerin alüminyum toz içeriğine bağlı olarak korozyon SEM görünümleri 61
Şekil B.1 : Talaş içeriğine bağlı olarak MT370/mt malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (100X) 73
Şekil B.2 : Talaş içeriğine bağlı olarak MT570/mt malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (100X) 74
Şekil B.3 : Talaş içeriğine bağlı olarak MT740/mt malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (100X) 75
Şekil B.4 : Talaş içeriğine bağlı olarak MT1150/mt malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (100X) 76

Şekil B.5 : Talaş içeriğine bağlı olarak AZMT220/mt malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (100X) 77
Şekil B.6 : Talaş içeriğine bağlı olarak AZMT780/mt malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (100X) 78
Şekil B.7 : Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak mt16/at malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (200X) 79
Şekil B.8 : Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak MT740/at malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (200X) 80

MAGNEZYUM TALAŞLARINDAN MALZEME ÜRETİMİ

ÖZET

Magnezyum ve alaşımları, yüksek spesifik mukavemet ve direngenlik, düşük yoğunluk, yüksek termal iletkenlik, iyi sönümleme kapasitesi, mükemmel dökülebilirlik ve iyi işlenebilirlik gibi özelliklerinden dolayı otomotiv, havacılık ve elektronik uygulamalarında en çok dikkat çeken malzemeler arasında yer almaktadır. Bütün bu olumlu özellikler sebebiyle endüstride yaygın olarak kullanılan magnezyum alaşımlarının talaşlı imalatı veya ürün değişimi sırasında büyük miktarda hurda veya talaş oluşmaktadır. Genelde metalik talaş veya hurdalar ergitilerek geri kazanılır ve ardından şekillendirme işlemine tabi tutulur. Ancak özel koruyucu ortam ve çok dikkatli olma gerekliliği, yüksek ergitme kayıpları, taşıma sırasında patlama tehlikesi, yüksek oksit içeriği gibi olumsuzluklardan dolayı magnezyum talaşlarının ergitilerek geri kazanımı etkili bir yöntem değildir. Magnezyum alaşımlarının ergitilerek geri kazanımında karşılaşılan diğer önemli bir engel ise talaş veya hurdada büyük miktarda inklüzyon ve empürite elementlerinin bulunmasıdır. İnklüzyon süneklik kaybına sebep olurken, empürite ise korozyon direncini olumsuz yönde etkilemektedir. Hafif alaşımlı hurdaların yeniden işlenmesi sırasında karşılaşılan en büyük problem artan inklüzyon ve empürite elementleridir. Genelde inklüzyon ve empürite miktarı, flaks kullanarak veya kullanmayarak arıtma ve hidrometalurji prosesi gibi kimyasal yaklaşımlarla azaltılmaktadır. Ancak bu geri dönüşüm teknolojilerinde proses karmaşıklığı, düşük verimlilik ve yüksek enerji tüketimi gibi bazı sorunlar hala vardır. Bu nedenle, magnezyum talaşı ve hurdanın daha etkili bir şekilde geri kazanımı için ilgi artarak devam etmektedir. Son yıllarda geleneksel döküm yöntemlerine alternatif olarak katı hal geri kazanım yöntemi sayesinde düşük maliyet ve çevreye saygı gibi teknolojik avantajlar sağlanmış olacaktır. Katı hal geri kazanım yöntemi, ergitme olmaksızın talaş veya hurdanın soğuk veya sıcak preslenmesi ve ardından sıcak ekstrüzyon gibi plastik deformasyon yöntemlerini kapsamaktadır.

Bu çalışmada, düşük maliyetle, ergitme ve mekanik öğütme olmaksızın elle karıştırma ve ardından sıcak ekstruder işlemi ile magnezyum talaşının geri kazanılması amaçlanmıştır. Magnezyum talaşının geri kazanımında; özellikle ülkemizde talaşlı imalat sonucunda oluşan magnezyum talaşlarının kompaktlanıp ergitildikten sonra döküm yapılarak geri kazanımı sırasında enerji maliyeti ve çevresel yaptırımların ortalama maliyeti artırması, yani bu metallerin geleneksel geri kazanım yöntemine alternatif olarak ergitme yapılmaksızın magnezyum talaşına farklı oranlarda saf magnezyum tozu (ağırlıkça % 25 - 75) ilave ederek mekanik öğütme olmaksızın elle karıştırma ve ardından sıcak ekstruder işlemi ile geri kazanımı amaçlanmıştır. Üretilen magnezyum malzemelerinin mekanik özellikleri ve korozyon davranışına magnezyum veya alüminyum toz içeriğinin etkisi inclenmiştir. Ürünlerin kalitesinin belirlemek için magnezyum malzemelerinin mikroyapısal karakterizasyonu, mekanik deneyleri, kuru ortam aşınma deneyleri ve korozyon deneyleri yapılmıştır.

Mikroyapısal karakterizasyon optik ışık mikroskop incelemeleri, x-ışını difraksiyonu analizleri, yoğunluk ve elektrik iletkenlik ölçümleri ile gerçekleştirilmiştir. Mikroskobik incelemeler, standart metalografik yöntemler ile hazırlanmış ekstrüzyon ve kesit yönündeki malzemeler üzerinde yapılmıştır. Yoğunluk ölçümleri Arşimet yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Elektrik iletkenliği ölçümleri ise Hocking AutoSigma 3000DL model bir ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Mekanik özellik karakterizasyonu, sertlik ve basma deneyleriyle yapılmıştır. Sertlik ölçümleri metalografik malzemeler üzerinde, Vickers batıcı ucu ile Schimatzu Model mikrosertlik cihazında 200 gr yük altında $HV_{0,2}$ cinsinden belirlenmiştir. Sertlik değerleri, en az 10 ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Basma deneyleri, Dartec marka üniversal test cihazında 1 mm/dak. çene hızında oda sıcaklığında yapılmıştır. Her bir malzeme grubunu temsilen üç adet basma deneyi yapılmış ve bunların aritmetik ortalaması deney sonucu olarak alınmıştır.

Aşınma deneyleri ekstrüzyon yönündeki 220 μm boyutundaki AZ91 alaşım talaşı ile magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin yüzeyine dört farklı kayma hızında (0.0128m/s, 0.0245 m/s, 0.0375 m/s, 0.0567 m/s) ve 10 mm kayma mesafesine sahip 10 mm çapında çelik bilyenin 1.0 N normal yük altında sürtünmesi ile gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyi sonrasında malzeme yüzeyleri üzerinde gelişen aşınma izleri yüzey profilometresi (Veeco Dektak 6M) ile analiz edilmiştir ve yüzey profilleri vasıtasıyla aşınma iz alanları hesaplanmıştır. En çok aşınan malzemenin (0,0375 m/s kayma hızı altında ağırlıkça %100 talaş içeren alaşım) aşınma direnci 1,0 kabul edilerek diğer malzemelerin aşınma dirençleri relatif olarak hesaplanmıştır. Aşınma izleri daha sonra taramalı elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir.

İncelenen malzemelerin ağırlık kaybı korozyon deneyleri, bir cam beher içerisinde bulunan % 3.5'luk NaCl çözelti içinde yüzeyi temizlenmiş malzemelerin 36 saat süreyle tutulmasıyla yapılmıştır. Malzemelerin yüzey alanına bağlı olarak çözelti miktarı 0,6 ml/mm^2 olacak şekilde ayarlanmıştır. Korozyon deneyleri sırasında belirli zaman aralıklarında (3, 6, 12, 18, 24 ve 36 saat) çözeltiden çıkarılan malzemeler sırasıyla damıtılmış su ve alkol içinde ultrasonik olarak temizlendikten sonra 0,1 mg hassasiyete sahip elektronik terazide tartılmıştır. Deney sonuçları, malzemelerin birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybına göre gr/cm^2 cinsinden değerlendirilmiştir.

İncelenen malzemelerin mikroyapısal incelemeleri, talaş ve tozun ekstrüzyon yönünde birbirine alternatif olacak şekilde uzamış katmanlı yapıda olduğunu ortaya çıkarmıştır. Mikroskobik incelemeler sırasında saf magnezyum talaşından üretilen malzemelerin XRD paternlerinde sadece magnezyum piki mevcut olup, bunun dışında herhangi bir mikroyapı bileşenine ait pik tespit edilmemiştir. $MgAl_2O_4$ fazı sadece AZ91 alaşım talaşından üretilen malzemelerin mikroyapısında bulunmuştur. Saf magnezyum talaşından üretilen malzemelerde talaş içeriğine göre yoğunluk çok fazla değişmez iken elektrik iletkenliği ise artan talaş içeriğine bağlı olarak artmaktadır. AZ91 alaşım talaşından üretilen malzemelerde de talaş içeriği arttıkça yoğunluk artmakta, elektrik iletkenliği azalmaktadır.

Sertlik, basma, aşınma ve korozyon deneyleri sonunda 220 μm boyutundaki AZ91 alaşım talaşından üretilen malzemelerde talaş içeriği arttıkça sertlik, mukavemet ve korozyon direnci artmaktadır. Ancak artan talaş içeriğine bağlı olarak elektrik iletkenliği ile birlikte aşınma direnci azalmaktadır. Diğer taraftan saf magnezyum

talaşından üretilen malzemelerde talaş içeriği arttıkça sertlik, mukavemet ve korozyon hızı azalmaktadır.

MATERIALS PRODUCTION FROM MAGNESIUM CHIPS

SUMMARY

Magnesium and its alloys are attractive malterials for use in automotive, aerospace and electronic applications because of their high specific strength and specific stiffness, low density, good thermal conductivity, good vibration damping capacity, excellent die castability and superior machinability. There is an increasing demand for magnesium and magnesium alloys in automotive, electronic and aerospace industries. However, primary magnesium production needs high energy consumption so it is important to recycle of this metal. Also, the expanding use of magnesium alloys in the automotive, aerospace and electronic industries leads to an increasing quantity of chip and scrap. Accompanying this consumption increase, chip and scrap from manufacturing and product replacement create a big amount of waste which needs recycled. In general, metallic chips and scraps always can be remelted to cast into ingot for subsequent processing. However, the high surface-to-volume ratio of magnesium chips leads to melt losses, hazards during transportation, high oxide contents. So, recycling with liquid state approaches may not be efficient to overcome in magnesium recycling because of the needs of special protective environment and extra caution. A major barrier to the recycling of magnesium alloys is the existence of substantial amount of inclusions and impurity elements in the chip and scrap, the former causes severe loss of ductility and strength, and the latter reduces significantly the corrosion resistance. The major challenges in reprocessing light alloy scrap are dealing with the increased inclusions and impurity elements. Conventional wisdom is to reduce the amount of such inclusions and impurities by a chemical approach, e.g., flux or fluxless refining, and hydrometallurgy process. However, there are still some problems in these recycling technologies, such as process complexity, low productivity and high energy consumption. Therefore, there is a growing need for more effective recycling processes for magnesium alloy chip and scrap. In recent years, recycling by solid state approaches has been shown to possess a number of technological advantages over the traditional casting processes because its cost is relatively low, also favorable for environment protection. The solid state recycling of the magnesium chips were tried first in 1995 and then method was modified in 2000. In the literatures it has been experienced that solid state recycled materials from magnesium chips have shown excellent mechanical and corrosion properties. In the solid state recycling, chips and scraps are recycled by consolidation using plastic deformation processes such as cold or hot pressing followed by hot extrusion without melting.

This study aims to recycle magnesium chips by a combination of cold press and hot extrusion processes. During the re-use of magnezium chips, today in the recycling process of magnesum chips consisting of compacting, melting and casting, since metal loss due to the oxidation occurring during the melting of chips, the costs of labour and energy as well as the expenditures on environment protection raise the production cost, solid-state process of magnesium chips by cold press and hot extrusion processes without melting and milling has been introduced as an alternative

magnesium recycling process. In the present study, the feasibility of recycling pure magnesium chips and AZ91 alloy chips with the help of commercially pure magnesium and aluminum powders, was investigated. For this study, the magnesum chips mixed with different amount of magnesium and aluminum powders in the range of 25-75 wt. %, after mixing by hand for 5-10 minutes those mixtures were cold pressed as one directional under 700 MPa for 10 minutes and 30 mm in length and 20 mm in diameter discs were produced. After cold press those discs were hot extruded with 9:1 ratio at 350˚C to get condensed final products and to get a homogeneous microstructure by using 100 tonnes capacity vertical axis hydrolic press. After hot extrusion test specimen were produced 20 mm in diameter and 50 mm for height. Furthermore, the effect of magnesium and aluminum powders and their amounts on the mechanical properties and corrosion behaviour of the recycled magnesium materiasl were studied. To evaluate the quality of the products, the recycled materials were subjected to microstructural characterization tests, mechanical tests, corrosion tests and wear tests.

Microstructural characterizations were performed by optical microscopic examination, x-ray diffraction analysis, density and electrical conductivity measurements. Microscopic examination was conducted on the extrusion and cross sections of the discs after preparing the specimens according to standard metallographic methods. The density of the recycled materials was measured by the Archimedes water immersion method. Hocking AutoSigma 3000 DL was utilized to measure the electrical conductivities of the recycled materials.

Room temperature mechanical properties of the recycled materials were determined by hardness measurements and compressive tests. Hardness survey was measured on Shimadzu HMV2 microhardness tester by applying indentation load of 200 g with a Vickers indenter. At least, ten successive measurements were made for each condition. Round samples with 20 mm of length and 10 mm of diameter were tested by a Dartec Universal testing machine at a crosshead speed of 1 mm/min to determine the compression behaviour of the samples. The results of the compression tests were compiled by averaging the decision of three samples.

Wear tests of the recycled AZ91 alloy with 220 μm chip size were carried out under normal atmospheric conditions (20±2 ^{o}C and 30±5 %RH) on a reciprocating wear tester. All experiments were carried out under a constant normal load of 1 N using a 10 mm diameter steel ball, and sliding speeds from 0.0128 to 0.0567 ms^{-1} with increments of 0.014 ms^{-1}. After the wear tests, the wear tracks formed on the recycled AZ91 alloys were detected by a Veeco Dektak 6M profilometer to quantify the test results in terms of wear track area. Wear track area values were then converted into Relative Wear Resistance (RWR) by assuming the RWR of the recycled AZ91 alloy containing 100 wt.% magnesium chip under a sliding speed of 0.0375 m/s as 1.0. After the wear test, wear tracks formed on surfaces of the recycled Mg alloys were examined using a scanning electron microscope (SEM).

Evaluation of the corrosion was determined by weight loss-measuring. For the weight loss-measuring test, square shape samples with an average size of 2 mm x 2 mm were ground up to 1200 grit SiC emery papers and polished 1 μm diamond paste. After cleaning with acetone, these samples were weighed and then immersed in 3.5% NaCl solution in a Pyrex glass cell exposed to atmospheric air for 36 h. The amount of solution in the baker was estimated by taking into account the surface area of the samples as 0.6 ml/mm^2. After the test, the samples cleaned/dried were

weighted by an electronic balance having a resolution of ±0.1 mg. The normalized weight loss values of the investigated alloys were calculated in the unit of g/cm^2 by dividing the weight loss of the each sample by their initial total surface area.

Microstructural examination revealed that the recycled magnesium alloys including different amounts of chips possessed a lamellar structure composed of alternating layers of magnesium powder and magnesium chip aligned parallel to the extrusion direction.

During microscopic examinations, magnesium peaks were evident on the XRD patterns obtained from the recycled pure magnesium materials. AZ91 alloys are usually charactarized with β-$Mg_{17}Al_{12}$ phase presence and this alloy shows good mechanical properties and good corrosion resistance alternating with β phase amount and distribution. In this study peaks of β-$Mg_{17}Al_{12}$ intermetallic compound in the recycled AZ91 alloy were not seen. After all, beceause of severe deformation during hot extrusion at 350 ˚C formation of β-$Mg_{17}Al_{12}$ intermetallic compound is not expected. However, $MgAl_2O_4$ was present in the the recycled AZ91 alloy. The density of the recycled pure magnesium materials was not altered notably by magnesium chip addition and the recycled magnesium materials indicated close results to the theoretical density (1.74 g/cm^3). While, the density of the recycled AZ91 alloy increased by increasing wt.% of chip. Furthermore, the electrical conductivity of the recycled pure magnesium materials increased by increasing wt.% of chip. On the other hand, the electrical conductivity of the recycled AZ91 alloy decreased by increasing wt.% of chip.

The results from the hardness, compression and wear and immersion tests showed that the hardness, strength and corrosion resistance of the recycled AZ91 with 220 μm chip size increased progressively by increasing the chips wt.% in the products. Because of higher hardness value and more oxide content of AZ91 alloy chips hardness and compression strength of recycled AZ91 alloys were higher than those of recycled pure magnesium materials. However, the wear resistance of the recycled AZ91 with 220 μm chip size decreased along with the reduction of electrical conductivity by adding magnesium chip. On the other hand, the hardness, strength and corrosion rate of the recycled pure magnesium materials decreased progressively by increasing the chips wt.% in the products. Compatible with the literature due to the oxides network which distributed parallel with extrusion direction corrosion resistance of the materials recycled from pure magnesium chips are affected in a positive way by impede diffusion of Cl^- ions to the metal surface. Localized corrosion and corrosion pits were seen both recycled pure magnesium materials and recycled AZ91 alloy materials in the wt. 3.5 % NaCl chloride media.

1. GİRİŞ

Magnezyum alaşımları yapısal uygulamalarda kullanılan en hafif metallerden biridir. Günümüzde hafifliğin ön plana çıktığı otomotiv, havacılık, haberleşme ve iletişim endüstrisinde magnezyum alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde magnezyum alaşımlarının kullanılmasındaki asıl amaç araçlarda ağırlık azaltmayla yakıt tasarrufu sağlanması ve zararlı emisyonların en aza indirilmesidir. Magnezyum alaşımlarının kullanımına olan talebin artmasıyla beraber plastik şekil verme ve talaşlı imalat sonucu açığa çıkan talaş ve hurda miktarlarında büyük bir artış meydana gelmektedir. Bugün yapısal ürünlerin üretiminde kullanılan magnezyumun (döküm ve dövme) 1/3'ü hurda olarak ortaya çıkmaktadır. Cevherden magnezyum üretimi yüksek enerji tüketiminden dolayı pahalı olduğu için magnezyumun geri kazanımı son derece önemlidir [1, 2]. Magnezyum üretim teknolojisinde atıkların çevresel etkisini en aza indirmek ve magnezyum talaşlarının ekonomik bir kaynak olarak kullanılması bu açıdan önemlidir. Magnezyum talaş ve hurdalarının yeniden ergitilerek geri kazanılması günümüzde kullanılan yöntemlerden biri olup oksidasyon sonucu meydana gelen metal kaybı, yüksek enerji ve işçilik masraflarının yanısıra çevreyi korumaya yönelik giderlerin de eklenmesi maliyeti daha da arttırarak yeniden ergitme yönteminin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Geleneksel geri kazanıma alternatif olarak sıcak ekstrüzyonla geri dönüşüm yöntemi pahalı olmayan ve yüksek mekanik özelliklere sahip malzeme üretimine imkân veren direkt dönüşüm yöntemlerinden biridir [3].

Bu çalışma kapsamında geleneksel geri kazanım yöntemine alternatif olarak düşük maliyetle, ergitme ve mekanik öğütme olmaksızın elle karıştırma ve ardından sıcak ekstruder işlemi ile magnezyum talaşının geri kazanımı ve üretilen magnezyum malzemelerinin mekanik ve korozyon davranışına talaş içeriğinin, talaş boyutunun, magnezyum ve alüminyum toz içeriğinin etkisi incelenecektir.

2. MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARI

2.1 Magnezyumun Fiziksel Özellikleri

Hegzagonal kristal yapısına (HSP) sahip olan magnezyum, a =0,320 nm, c = 0,520 nm, c/a 1,624 kenar uzunluklarına sahiptir. 1,74 gr/cm^3 yoğunluğa sahip olan magnezyum tüm mühendislik malzemeleri içinde en hafif olanıdır. Alüminyum'dan (2,7 gr/cm^3) % 35, çelikten ise (7,86 gr/cm^3) 4 kat daha hafiftir. Magnezyum hem magnezyum oksitin silisyumla metalotermik redüksiyonu hem de deniz suyundaki magnezyum klorün elektroliziyle elde edilir. Deniz suyunun her bir metre küpü yaklaşık olarak 3 kg magnezyum içermektedir. Magnezyum reaktif bir metal olduğundan dolayı doğada metalik halde bulunmaz. Doğada oksit, karbonat ya da silikat halinde ve kalsiyum bileşikleri olarak bulunur. Magnezyumun yüksek reaktivitesinden dolayı üretim sırasında yüksek enerji gereksinimi söz konusudur. Bu durum magnezyumu pahalı bir metal yapar [4]**.** Magnezyum ve alaşımlarının avantajları aşağıda sıralanmıştır;

- Tüm yapısal metalik malzemeler içerisinde en düşük yoğunluğa sahip olması,
- İyi bir elektromanyetik kalkan olması,
- Yüksek mukavemet/ağırlık oranı,
- İyi titreşim ve darbe sönümleme yeteneği,
- İyi dökülebilirlik, basınçlı döküme elverişlilik,
- Yüksek hızda öğütülebilme,
- Kontrollü atmosfer altında kaynak edilebilirlik,
- Saflığı yüksek magnezyum kullanımıyla yüksek korozyon direnci,
- Kolay ulaşılabilme,

Polimerik malzemelerle kıyaslandığında;

- Daha iyi mekanik özellikler,

- Yaşlanmaya direnç,
- Yüksek termal elektrik ve iletkenliği,
- Geri dönüşüm kabiliyeti,

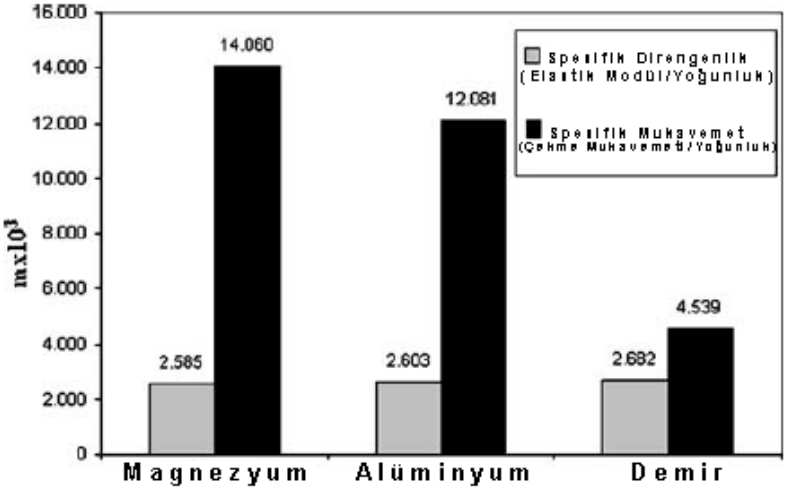
Magnezyumun sınırlı kullanımı ise bazı zayıf özelliklerinden kaynaklanır. Bu özellikler ise aşağıda sıralanmıştır;

- Düşük elastisite modülü, sınırlı soğuk şekillendirme ve tokluk,
- Sınırlı yüksek dayanım ve yüksek sıcaklıklarda sınırlı sürünme dayanımı,
- Katılaşma esnasında yüksek oranda çekme boşlukları,
- Yüksek kimyasal reaktivite,
- Bazı uygulamalarda sınırlı olan korozyon direnci **[**5].

Ayrıca ergiyik durumdayken yüksek reaktivite göstermesi, galvanik korozyon direnci, alev alma tehlikesi, pek de iyi olmayan yorulma ve sürünme direnci magnezyumun dezavantajları arasında sayılabilir. Magnezyum alaşımlarının kullanımını sınırlayan diğer dezavantajlardan biride düşük ergime noktası (650°C) ve düşük korozyon direncine sahip olmasıdır. Magnezyum alaşımlarının üretimi ve kullanımı sırasında düşük ergime sıcaklığından dolayı özellikle taşlama ve talaşlı işlenmesi esnasında karşılaşılan alev alma tehlikesidir. Kaba kesilen talaşlar genellikle kalındır ve alev almak için yeterli derecede sıcak değildir. Ancak en son gerçekleştirilen talaşlı imalatta elde edilen talaşlar incedir ve ısınmaya ve alev almaya daha elverişlidir. Benzer şekilde taşlamada açığa çıkan toz da eğer ergime sıcaklıklarına ulaşılırsa alev alabilir hatta patlama meydana gelebilir. İnce talaş, körelmiş kesme takımlarından, yüksek hızda talaşlı imalattan kaçınarak alev alma tehlikesinden kaçınılabilir; sıcaklığın yükselmesine neden olabilecek takım dizaynından, makinede talaş ve toz birikiminden kaçınarak ve soğutma sıvıları kullanılarak da bu risk azaltılmış olur. Şekil 2.1'de magnezyum, alüminyum ve demirin temel yapısal özelliklerinin karşılaştırılması verilmiştir. Magnezyumun alüminyum, mangan, nadir toprak elementleri, toryum, çinko ya da zirkonyumla alaşımlandırılması ile spesifik mukavemet artmakta ve ağırlığın azalması ile atalet kuvvetlerinin düşürülmesini sağlanır. Bu özelliğinden dolayı yalnızca çelik değil bakır esaslı alaşımlar ve dökme demirler gibi daha yüksek yoğunluklu malzemeler ve hatta alüminyum alaşımlarının yerini almıştır. Yasalarla belirlenen emisyonlara bir sınırlama getirilmesi gerekliliğinin bir sonucu olarak otomobil ağırlığının azaltılması

magnezyuma olan ilgiyi yeniden gündeme getirmiştir [4]. Magnezyum ve magnezyum alaşımları yapısal ve yapısal olmayan uygulamalarda geniş çapta kullanılmaktadır. Yapısal uygulamalar otomotiv, endüstriyel, malzeme taşınması, ticari ve uzay ekipmanlarını kapsar. Otomobil uygulamaları ise debriyaj ve fren pedal destek kelepçeleri, direksiyon mili kilit mahfazaları, manuel şanzımanları olarak sayılabilir. Yüksek çalışma hızlarının ve hafifliğin ön planda olduğu ve bu sayede atalet kuvvetlerini minimize etmenin gerekli olduğu endüstriyel makinacılıkta; tekstil ve baskı makinalarında; yükleme – boşaltma ekipmanları, kepçelerde ve malzeme taşımacılığında kullanılır. Bilgisayar kasaları, bavullar, el merdivenleri gibi ticari uygulamalarda tercih edilir. Magnezyum alaşımları hafiflikleri ve hem oda sıcaklıkları hem de yüksek sıcaklıklardaki iyi dayanımları ve spesifik mukavemetleri nedeniyle uzay endüstrisi içinde önemlidir. Magnezyum aynı zamanda alüminyum, çinko, kalay ve diğer demir dışı metallerde alaşım elemanı olarakta kullanılır. Nikel ve bakır alaşımlarının üretiminde oksijen tutucu ve kükürt giderici olarak kullanılır ve yine demir çelik endüstrisinde kükürt giderici olarak; Be, Ti, U, Zr, Hf üretiminde redükleyici ajan olarak kullanılır. Yapısal olmayan uygulamalara örnek olarak organik kimyada kullanılan Gringard reaksiyonunda; piroteknikte kullanılır. Magnezyum elektro motif kuvveti (EMK) serisindeki pozisyonu da dikkate alınarak diğer metallerin katodik olarak korozyondan korunmasında; kuru pil ve şarj edilebilir bataryalarda kullanılır. Gri dökme demir dökümhaneleri magnezyum ve magnezyum içeren alaşımlarını dökümden önce pota ilave ajanı olarak kullanırlar. Magnezyum grafit partiküllerini nodüler hale getirir ve dökme demirin süneklik ve tokluğunu belirgin derecede arttırmış olur. Dağlamaya verdiği hızlı ve kontrol edilebilir yanıtı ve hafifliği dolayısıyla fotogravürde yaygın olarak kullanılır [6]. Elektronik birimlerde de magnezyum bileşikleri geniş çapta kullanılır. Radar izleme tablolarında, antenlerde, güç devrelerinde, teyp bantlarının makaralarında, plaklarda, el telsizlerinde ve değişik tür şasilerde hep magnezyumdan yararlanılır. Ayrıca günümüzde spor gereçlerinde ve büro eşyalarında da magnezyum ve magnezyum esaslı alaşımlar kullanılmaya başlandı. Son yıllarda magnezyum esaslı malzemeler, yüksek hidrojen depolama kapasitelerinden dolayı da yoğun olarak çalışılmıştır. Bugüne kadar birçok ikili, üçlü ve çoklu magnezyum esaslı alaşımlar, farklı alaşım sistemlerinde elde edilmiştir. Bu alaşımlar diğer alaşımlarla karşılaştırıldığında, özelliklede yüksek hidrojen depolama kapasiteleri, mukavemet/ağırlık oranının yüksek olması ve fiyatlarının düşük olması gibi

nedenlerden dolayı daha çok dikkat çekmiştir. Örneğin, magnezyum ile hidrojen magnezyum hidrür (MgH_2) oluşturur ki bu %7,6 ağırlık oranında hidrojen içerir. Bunun anlamı, magnezyum 1500 katından daha fazla hacimde hidrojen emer. Maalesef, saf MgH_2 fazı yüksek bir termodinamiksel kararlılıkla karakterize edilir ki bu düşük bir emme-salı verme kinetiğine yol açar. Diğer bir deyişle, MgH_2 ayrışması için 300˚C gibi yüksek bir sıcaklığa ihtiyaç duyulur ve buda pratik değildir. Dolaysıyla bu problemin üstesinden gelmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bu nedenlerden dolayı magnezyum alaşımları üretilmesi ve özelliklerinin araştırılması önemlidir [7]. Magnezyum düşük yoğunluğu, yüksek özgül ısı kapasitesi ve yüksek ses absorbsiyonu sayesinde birçok sektörde kullanılabilir bir metaldir [8]. Magnezyumun fiziksel özellikleri Çizelge 2.1' de verilmiştir.



Şekil 2. 1: Magnezyum, alüminyum ve demirin temel yapısal özelliklerinin karşılaştırılması [4].

Çizelge 2.1: Magnezyumun fiziksel özellikleri [9].

%99.97 saflıkta T1 işlemli saf magnezyum	
20^0C'de yoğunluk	1.74 gr.cm^{-3}
Ergime Noktası	650^0C
(20-200^{0}C)Termal Genleşme Katsayısı	27 10^{-6} K^{-1}
Termal İletkenlik	167 W.m^{-1}.K^{-1}
Elektriksel Direnç	3.9 μΩcm
Elektriksel İletkenlik	38.6% IACS
Özgül Isı(20-200^{0}C)	1050 J.Kg^{-1}.K^{-1}
Kristal Yapısı	HSP

2.2 Magnezyumun Mekanik Özellikleri

Magnezyum alaşımları 160-300 N/mm^2 çekme dayanımı, 80-190 N/mm^2 % 0,2 akma dayanımı ve % 2-15 kopma uzamasına sahiptir. Öte yandan artan sıcaklıkla magnezyum alaşımlarının mukavemeti azalmakta ve oda sıcaklığında düşük süneklilik göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda akma ve çekme mukavemeti arasındaki fark azalmaktadır. Magnezyum hegzagonal kristal yapısına, yani kayma düzlem sayısı yüzey merkezli kübik yapıdaki alüminyumdan fazla olmamasından dolayı magnezyumun soğuk şekillendirilmesi alüminyuma nazaran daha güçtür. Ancak 210°C'in üzerine çıkıldığında etkin olmayan kayma düzlemleri devreye girerek magnezyumun sünekliği artan sıcaklıkla beraber artmaktadır. Çok kristalli malzemelerin plastik deformasyonu beş bağımsız kayma sisteminin aktif olması durumunda gerçekleşir. Magnezyum ve alaşımlarında ise a ve c +a yönlerinde kaymanın gerçekleşmesi gerekmektedir [10]. Saf magnezyumun oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri Çizelge 2.2' de verilmiştir.

Çizelge 2. 2: Magnezyumun mekanik özellikleri [11].

Saf Mg	Tavlanmış sac	Haddelenmiş sac	Döküm kumu	Ekstrüde edilmiş	Toz metalurjisi-ekstrüde edilmiş
%0,2 basma akma dayanımı(MPa)	69-83	105-115	21	34-55	92∓12[a]
%0,2 çekme akma dayanımı(MPa)	90-105	115-140	21	69-105	132∓7[c]
Maksimum çekme dayanımı(MPa)	160-195	180-220	90	165-205	193∓2[c]
Sertlik ,HB[e]	40-41	45-47	30	35	-

[a]TM: Toz metalurjisi yöntemi, 350˚C'de ekstrüde edilmiş, ekstrüzyon oranı 20.25:1
[c]TM: Toz metalurjisi yöntemi, 250˚C'de ekstrüde edilmiş, ekstrüzyon oranı 20.25:1
[e]10 mmçaplı bilye ve 500 kg yük uygulanarak gerçekleştirilmiş.

2.3 Magnezyum Ve Magnezyum Alaşımlarının Korozyon Özellikleri

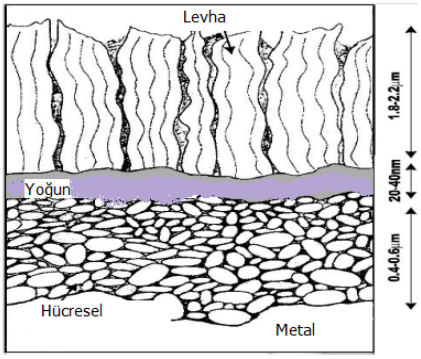
Saf magnezyumun yüzeyinde oda sıcaklığındaki atmosfer koşullarında (havada) gri renkli bir oksit filmi oluşur. Nem bu oksiti magnezyum hidroksite dönüştürür ve oluşan magnezyum hidroksit belirli bazik pH aralıklarında kararlıdır. Bazik şartlarda metal yüzeyinde oluşan $Mg(OH)_2$ filminin oluşumuna bağlı olarak pasifleşme gerçekleşmektedir. Saf magnezyumun yüzeyinde oluşan filmler suda çözündüğünden uzun süreli bir koruma sağlamazlar. Klorür, bromür, sülfat, klorat varlığında

yüzeydeki film bozulur. Aynı zamanda havadaki CO_2 suyu asitleştirdiğinden yüzeyde oluşan filmler kararlı özellikte değildir [13]. Oksitin koruyucu olup olmamasını anlamak için Pilling-Bedworth (P-B) oranına bakılır. Eğer bu oran magnezyumda olduğu gibi P-B <1 olması durumunda, iç gerilmeler altında oluşan oksit filmi metali hiç korumaz ve süreksiz, poroz bir film oluşur. Magnezyumun düşük sıcaklıklardaki iyi kararlılığını açıklamak için başlangıçta kararlı olmayan MgO'in yapısal modifikasyonunun metal altlıkla uyumlu olarak çok ince sıkı bir katman oluşturduğu tahmin edilmektedir. Kritik bir oksit kalınlığından sonra normal kübik latis oluşur ve artan gerilmeler filmin çatlamasına neden olur [14]. Kuru atmosferik koşullarda magnezyum esaslı malzemelerin P-B oranı 0,81 olup koruyucu oksitinin doğası gereği oldukça kararlıdır. Ancak ıslak çevrede son derece negatif olan elektrot potansiyelinden dolayı magnezyum çoğu diğer metallere göre anodiktir. Zayıf korozyon özelliklerinden dolayı magnezyum esaslı malzemeler ciddi oyuklanmayla sonuçlanan galvanik korozyona karşı çok meyillidirler**.** Magnezyumdaki oksit filmi kentsel ve bazı endüstriyel ortamlarda magnezyum yüzeyinde iyi bir koruma sağlar ve bu yönüyle magnezyumun korozyon hızı alüminyum ile düşük karbonlu çeliklerin arasında bulunmaktadır. Magnezyumun pasivasyonu bazı anyon, klor, sülfat ve nitratlar tarafından bozulur. Klor çok küçük miktarlarında bile magnezyumun üzerindeki koruyucu filmin kırılmasına yol açar. Flor çözünmeyen magnezyum florürler oluşumuna yol açarak pasifleşmeyi olumlu yönde etkiler. Kromat ve fosfat gibi oksitleyicilerin varlığı koruyucu tabaka oluşumunu arttırarak korozyonu geciktirici yönde etki yapar. Doğal atmosferde magnezyumun korozyonu bölgeselleşir [15]. Nordlien ve arkadaşları (1997) saf magnezyum üzerinde oluşan yüzey filmini incelemişler ve filmin amorf yapılı ince bir (20-50 nm) oksit tabakasından oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu sonuç oda sıcaklığında atomosferik koşullarda yüzeyde oluşan magnezyum oksit filminin ince ve poroz yapısından dolayı her zaman yüksek bir korozyon direncine sahip olmadığını göstermektedir [16].

Sulu çözeltilerde $Mg(OH)_2$ film oluşumundan dolayı magnezyum -1,5V'luk bir potansiyel göstermelerine rağmen magnezyumun standart elektrokimyasal potansiyeli -2.4 V'dur. $Mg(OH)_2$ için denge pH değerinin 11'in altında hidrojen açığa çıkarak sulu çözeltide magnezyum çözünmektedir [17]. Saf suya daldırılan magnezyum malzemesinin 48 saatlik sürenin ardından oluşan oksit filminin

morfolojisi ve yapısı incelenmiştir. Oksit film 3 tabakadan oluşmaktadır. En içte hücresel bir yapı (0.4-0.6 μm) , arada 20-40 nm kalınlığında yoğun bir bölge ve en dışta da yaklaşık 2 μm kalınlığında levha morfolojisinde bir oksit tabakası bulunmaktadır. Havada oluşan oksit filmde iç ve ara katmanlar yapı bakımından benzerlik gösterir. Magnezyumun hidrate olmuş mahgnezyum oksit oluşturabilmesi için hidratasyona uğraması gerekmektedir. Hidroksit filmi, bursit, heksagonal sıkı paket yapıya sahip olup, magnezyum ve hidroksit iyonları arasında değişim göstererek bazal klivaj kolaylaşmaktadır. Filmin çatlaması ve bükülmesi filmin özelliklerinden mi ya da hidrohen gazı oluşumundan mı kaynaklandığı hakkında tam bir netlik bulunmamaktadır. $Mg(OH)_2$ için P-B oranı 1.77 olup basmaya karşı dayanıklı bir filmdir [15]. Şekil 2.2'de bu oksit katmanları gösterilmiştir.

Aynı zamanda AZ31, AZ91, AM60 ve ZK60 magnezyum alaşımlarının korozyon davranışları çok detaylı bir şekilde incelenmiştir [18] ve bu çalışmada korozyon direncinin ZK60＞AM60＞AZ31＞AZ91 olacak şekilde sıralandığı görülmüştür. AZ31 alaşımına göre daha fazla β fazı içeren AZ91 alaşımında β fazı matris ile mikro-galvanik çift oluşturarak AZ91'in korozyon direnci AZ31'den daha düşük olmaktadır. AM60 magnezyum alaşımında ise mangan elementi AlMnFe gibi ikinci faz partikül oluşturarak matrisi saflaştırdığı ve matriste bulunanan demir içeriğini azalttığı için korozyon direncinin iyileştiği görülmüştür. ZK60 magnezyum alaşımında da zirkonyum elementinin taneyi incelttiği, demir ve silis ile kararlı bileşikler oluşturarak matrisi saflaştırdığı için korozyon direnci artırdığı görülmüştür.

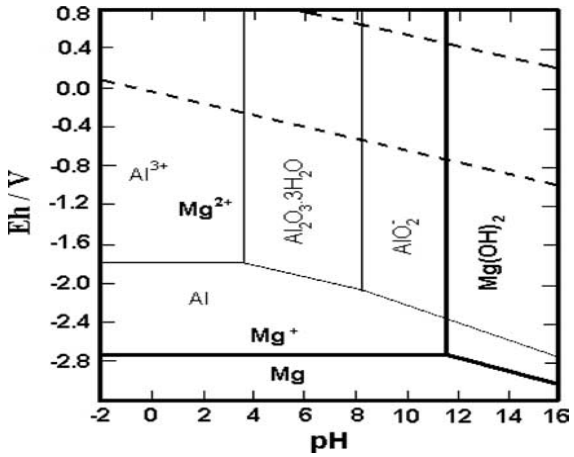


Şekil 2. 2: Magnezyumdaki oksit tabakaları [15].

2.3.1 Magnezyumun potansiyel - pH diyagramı

Pourbaix diyagramından magnezyumun korunması yüksek pH değerlerinde korozyon reaksiyonu sırasında oluşan $Mg(OH)_2$ oluşumuyla mümkün olduğunu

görülmektedir [15]. Diyagramda magnezyum icin bağısık bolge cok dusuk potansiyellerdedir ve pH değerinin 11'in altında Mg^{+} ve Mg^{+2} iyonları aktif cözünme ürünleri olarak görülmektedir. pH değerinin 11 ve uzerinde olması durumunda ise metal yuzeyinde $Mg(OH)_2$ olusumu beklenmektedir [19]. Ancak yüzeyde korozyon oluşumuna karşı bir bariyer görevi gören film tabakası, elektrot potansiyeline ve ortam pH değerine göre farklılık göstererek MgO veya $Mg(OH)_2$ oluşumu gözlenmektedir. Ortamın pH değeri 8,5-11,5 aralığında olan ortamlarda, yüzeyde koruyucu oksit veya hidroksit filmi oluşmaktadır. Ortam pH değerinin 11,5'ten büyük olduğu ortamlarda ise $Mg(OH)_2$ koruyucu tabakası oluşmaktadır [20]. Ortamın pH değeri korozyon morfolojisi ve oyukların sayısı açısından önemlidir. Sonuç olarak magnezyum alaşımlarının nötral ya da alkali tuz çözeltilerindeki korozyonu tipik olarak oyuklanma biçiminde olup pH değerinin 11.5'dan yüksek olduğu alkali çözeltilerde korozyona karşı direnç yüksek olup ve neredeyse korozyon oluşmaz. Magnezyumdaki yarı kararlı magnezyum hidroksit filmi alüminyum ya da paslanmaz çeliklerde oluşan pasif filmden daha az kararlıdır. Dehidratasyon sonucu MgO formundaki magnezyum oksit kristalleşmeye alüminyum oksitten daha meyillidir ve genel olarak amorf yapıdaki oksitlerin kristal yapılı oksitlerden daha iyi pasif özelliklere sahip olduğu kabul edilmektedir [15, 21]. Şekil 2.3'de magnezyuma ait Pourbaix diyagramı görülmektedir**.**



Şekil 2.3: Magnezyuma ait Pourbaix diyagramı [15].

2.3.2 Magnezyumda görülen korozyon türleri

Magnezyumun düşük korozyon direnci, magnezyum ve alaşımlarının kullanımında kısıtlamalar getirmektedir. Özellikle klorür içeren ortamlarda ve yapısında metalik empüriteler içeren magnezyum ve alaşımları, çok düşük korozyon direncine

sahiptirler. Magnezyum ve alaşımlarının zayıf olan korozyon direncini belirleyen iki önemli faktör vardır;

- Mikro-galvanik korozyon oluşumuna neden olan ikincil faz ya da empüritelerin(safsızlıklar) varlığı,
- Alüminyum ve paslanmaz çelik yüzeylerinde oluşan kararlı pasif tabaka yerine metal yüzeyinde daha kararsız yarı pasif hidroksit filmin oluşması [11].

2.3.2.1 Galvanik korozyon

Düşük elektrot potansiyeline (-2,37 V) sahip olan magnezyum oldukça yüksek reaktif davranış sergiler. Diğer tüm mühendislik metallerine karşı anodiktir. Yüksek saflıktaki magnezyum eğer diğer metallerle galvanik çift oluşturuyorsa korozyon kaçınılmazdır. Galvanik korozyon sistemi;

- Diğer bir metalle çift oluşturma,
- α ve/veya β fazı gibi ikincil fazların varlığı,
- Empüritelerin varlığı nedeniyle meydana gelir [11].

2.3.2.2 Oyuklanma korozyonu

Oyuklanma korozyonu, metal yüzeyleri üzerinde oluşan lokalize korozyon saldırısı olarak tanımlanabilir. Magnezyum-alüminyum alaşım sisteminde $Mg_{17}Al_{12}$ ağı boyunca meydana gelen saldırılar oyuklanmayla sonuçlanır. Magnezyum normalde pasif bir metaldir. Oksitleyici olmayan bir ortamda klor iyonlarına maruz kalan magnezyum, serbest korozyon potansiyelinde oyuklanma korozyonu meydana gelmektedir. Genellikle korozyon oyuklarının $Mg_{17}Al_{12}$, AlMn gibi ikinci faz partiküllerinin bir kısmına bitişik olan kusurlu bölgelerde oluştuğu gözlenmiştir [11].

2.3.2.3 Taneleraası korozyon

Tane sınırları tanelere göre daha aktif yapıya sahiptir. Ancak magnezyum ve alaşımları taneleraası korozyona eğilimli değildirler. Bunun nedeni ise tane sınırının taneye göre daha katodik olmasıdır [11]**.** Magnezyum alaşımlarında korozyon tanelerde yoğunlaşır saldırılara karşı dirençli değildir ama komşu tane tarafından katodik olarak korunurlar [15]. Taneleraası korozyon tane sınırlarına ikinci faz partiküllerin

çökelmesi sonucu meydana gelir. Alaşımlarda tane sınırları daima çökelme ve segregasyonun meydana geldiği tercihli bölgelerdir. Genellikle metaller arası bileşik içeren alaşımlarda tanelerarası korozyon olduğu düşünülür. Magnezyum alaşımlarının halen taneler arası korozyona maruz olup olmadığı tartışma konusudur.

2.3.2.4 Gerilmeli korozyon çatlaması

Gerilmeli korozyonun oluşabilmesi için, metalik malzemeye çekme veya basma yönünde gerilme uygulanıyor olmalı, mevcut bir çatlak baslangıcı ve olayı destekleyici bir elektrolit bulunmalıdır. Ticari olarak saf magnezyum pek çok çevre koşulunda akma dayanımının üzerindeki bir yüklemeye maruz kaldığında gerilmeli korozyon çatlamasına (GKÇ) meyilli değildir. Alaşım elementi olarak alüminyum ve çinkonun varlığı magnezyum alaşımlarında GKÇ yatkınlığını artırmaktadır. Döküm ve dövme magnezyum alaşımları özellikle alüminyum içeren alaşımlar GKÇ'ye karşı eğilimi yüksektir. Çoğu kez magnezyumda GKÇ tane içidir. Tane içi gerilmeli korozyona esas olarak hidrojen kırılganlığı neden olmaktadır. Yine ısıl işleme maruz kalan alaşımda malzemenin tane büyüklüğünde ve tane sınırındaki fazların çökelmesi tanelerarası GKÇ'ye neden olmaktadır. Magnezyum-Alüminyum-Çinko alaşımlarında olduğu gibi tanelerarası GKÇ, tane sınırları boyunca $Mg_{17}Al_{12}$'nin çökelmesinden dolayı gerçekleşmektedir. Hem alüminyum hem de çinko içermeyen etmeyen magnezyum alaşımları GKÇ'ye karşı en dirençli olan magnezyum alaşımlarıdır [11].

2.3.2.5 Kurtçuk ve aralık korozyonu

Bu korozyon türü çelik, alüminyum alaşımları, magnezyum alaşımları gibi metallerin yüzeyinde sıklıkla görülmektedir. Bu korozyona metal yüzeyinde aktif galvanik hücreler neden olmaktadır. Saf çıplak magnezyumda bu korozyon türü görülmemiştir. Kurtçuk korozyonu aralık korozyonun özel bir türüdür [11].

2.3.2.6 Yüksek sıcaklık oksidasyonu

Oksijene maruz kalan magnezyumun yüzeyinde magnezyum oksit (MgO) filmi oluşmaktadır. Oluşan bu oksit film 450˚C'in altındaki kuru oksijen ortamda ve 380˚C'de nemli oksijen ortamda iyi bir koruma sağlamaktadır. Artan oksitlenme sıcaklığıyla beraber magnezyum oksit filmi poroz bir yapıya dönüşmekte ve koruyucu özelliğini kaybetmektedir. MgO negatif değerdeki oluşum serbest

enerjisine sahip olmasına rağmen kuru havada normal atmosferik koşullarda magnezyum yüzeyinde koruyucu oksit film oluşmakta ve yüksek korozyon direnci elde edilmektedir. Ancak sulu ortamda (nemli hava ya da sulu ortamlar) daha az kararlı olan hidratlanmış oksit oluşumu nedeniyle korozyona karşı direnç azalmaktadır. Magnezyum alaşımlarının oksitlenme hızı Arhenius eşitliğine uygun olarak artan sıcaklıkla beraber artmaktadır. Magnezyum hidroksit yüksek sıcaklıklarda kararlı olmayıp 350˚C'in üzerindeki sıcaklıklarda bozunmaya başlamaktadır. 450˚C'in altındaki sıcaklıklarda kuru oksijen ortamında ya da 380˚C'de nemli oksijen ortamında magnezyum üzerinde oluşan oksit film hatırı sayılır derecede koruyucu olup parabolik oksitlenme davranış göstermektedir. 450˚C'in üzerinde ise oluşan MgO koruyucu özellikte olmayıp ve lineer oksitlenme davranış sergilemektedir [14].

2.4 Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Magnezyum alaşımlarının sınıflandırılmasında alaşım elementlerinin tür ve miktarlarını gösteren harf ve sayılar kullanılmaktadır. Eğer alaşım elementlerinin miktarı eşitse harfler alfabetik önceliğe göre sıralanır. Magnezyum için ısıl işlem temper isimlendirilmesi alüminyum ile aynıdır [6, 22]. Örneğin AZ91-T6'da AZ alüminyum ve çinko'un söz konusu alaşımdaki iki temel alaşım elementi olduğunu; % 9 birinci alaşım elementi alüminyumun ortalama oranını, % 1 ise ikinci alaşım elementi çinkonun ortalama oranını göstermektedir [6]. Magnezyum alaşımlarının isimlendirilmesi Çizelge A.1'de özet olarak verilmektedir.

2.4.1. Magnezyum döküm alaşımları

2.4.1.1 Yüksek basınçlı kalıba döküm alaşımları

Yüksek basınçlı kalıba döküm magnezyum alaşımları magnezyum-alüminyum-çinko-mangan (AZ serisi), magnezyum-alüminyum- mangan (AM) ve magnezyum-alüminyum- silisyum-mangan (AS serisi) olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar içerisinde en yaygın kullanılan alaşım AZ91D'dir. AZ91D alaşımı iyi mekanik özellikler ve fiziksel özelliklerle beraber mükemmel dökülebilirlik ve tuzlu suda yüksek korozyon direnci gibi özelliklere sahiptir. Yüksek saflıktaki AZ91D alaşımı daha düşük saflıktaki AZ91B alaşımın yerini almıştır. AZ91B alaşımı halen kullanılmakta olup düşük saflıkta olmasının nedeni hurda veya ikincil metalden

kolaylıkla üretilebilmesidir. Ekonomik olan bu alaşım korozif olmayan bir ortamdaki boyanmış parçalar gibi korozyon direncinin çok da önem taşımadığı yerlerde tercih edilmektedir. Basınçlı dökümler döküm haliyle kullanılmaktadır. AZ91D'den daha yüksek sünekliğe ihtiyaç duyulması durumunda yüksek saflıktaki basınçlı döküm alaşımı AM60B kullanılmaktadır. AM60B alaşımı AZ91D'den daha yüksek tokluk ve % uzamaya sahiptir.

Alüminyum miktarının düşük olmasına rağmen AM60B'in akma ve çekme mukavemeti AZ91D'den biraz düşüktür. AM60B alaşımı otomobil tekerleklerinde, ok ve bazı spor gereçlerinde kullanılmaktadır. AZ91D'de olduğu gibi AM60B de tuzlu suda mükemmel korozyon direnci göstermektedir. 175˚C'nin üzerindeki sıcaklıklarda diğer bir basınçlı döküm alaşımı olan AS41E, AZ91D veya AZ60B'den çok daha iyi sürünme dayanımı sergilemektedir. Ayrıca bu alaşım iyi bir uzama, çekme dayanımı ve akma mukavemetine sahiptir. Bu alaşım hava soğutmalı motorların krank milinde kullanılmaktadır. AS41E'in tuzlu suda yüksek korozyon direnci sergileyen yüksek saflıktaki diğer bir türü ise AS41XB'dir. AS21 alaşımı AS41A'dan daha iyi sürünme dayanımı sergiler ancak oda sıcaklığındaki akma ve çekme mukavemeti AS41A'dan düşüktür ve dökülebilme kabiliyeti de daha zayıftır [6].

2.4.1.2 Kum ve sürekli kalıba döküm alaşımları

Kum ve sürekli kalıp döküme uygun birkaç magnezyum alaşım sistemine aşağıdaki alaşımlar örnek olarak sıralanabilir:

- Magnezyum-alüminyum-mangan-çinkolu/çinkosuz (AM ve AZ serisi),
- Magnezyum-zirkonyum (K),
- Magnezyum-çinko-zirkonyum-nadir toprak elementli/nadir toprak elementsiz (ZK, ZE ve EZ),
- Magnezyum-toryum-zirkonyum-çinkolu/çinkosuz (HK, HZ ve ZH),
- Magnezyum-gümüş-zirkonyum-nadir toprak elementli ya da toryumlu (QE ve QH),
- Magnezyum-ytrium-nadir toprak elementi-zirkonyum (WE),
- Magnezyum-çinko-bakır-mangan (ZC) [6].

Magnezyum-alüminyum döküm alaşımları

Başlıca alaşım elementi olarak alüminyum içeren kum ve sürekli kalıba döküm magnezyum alaşımları (AM100A, AZ63A, AZ81A, AZ91C, AZ91E ve AZ92A) iyi dökülebilirlik, iyi süneklik, mukavemet, yaklaşık olarak 120˚C'in üzerindeki sıcaklıklarda iyi sayılabilecek orta dereceli akma mukavemeti göstermektedirler. Bu alaşımlar arasında en çok göze çarpan AZ91E'nin yerini çok daha üstün korozyon direncine sahip AZ91C alaşımın olmasıdır. AZ91E alaşımında demir, nikel, bakır içerikleri çok düşük sınırlarda tutulmaktadır. Sonuç olarak tuzlu suda mükemmel korozyon direnci sergiler. Magnezyum-alüminyum- çinko alaşımlarının herhangi birinde alüminyum içeriğinin artması ile akma mukavemeti artmakta ancak kıyaslanabilir ısıl işlem için süneklilik düşmektedir. AZ91A, AZ91B ve AZ91D alaşımlar Fe, Ni ve Cu istisna olmak üzere aynı bileşime sahiptirler ve bunlar basınçlı döküm haliyle (F temper) kullanılırlar. AZ91D oldukça yüksek saflıkta bir alaşım olup mükemmel korozyon direncine sahiptir ve en sık kullanılan magnezyum basınçlı döküm alaşımıdır. Üretim maliyetini düşürmek adına çok yüksek korozyon direncinin istenmediği uygulamalarda AZ91A ve B ikincil metalden üretilebilir. AZ91E mükemmel korozyon direnci ile yüksek saflıkta bir alaşım olup dar basınçlı döküm ve sürekli kalıba dökümlerde kullanılmakta olup yüksek çekme mukavameti ve orta derecede bir akma mukavametinin istendiği uygulamalarda kullanılırlar. Maksimum korozyon direncinin istenmediği durumlarda AZ91C alaşımı kum ve sürekli kalıba dökümlerde kullanılırlar [6].

Yüksek miktarda çinko içeren magnezyum alaşımları (ZK15A, ZK61A, ZK63A ve ZH62A)

Bu sınıf AZ serisine göre maliyeti daha yüksektir. Bu nedenle bu alaşımlar akma mukavemetinin yüksek olması istendiği uygulamalarda tercih edilirler. Bu alaşımların öncelikle oda sıcaklığında kullanılabilirliği amaçlanmıştır. ZK61A daha fazla çinko içerdiğinden ZK51A'dan belirgin bir şekilde yüksek mukavemete sahiptir. Her iki alaşımın yorulma dayanımları da magnezyum- alüminyum- çinko alaşımlarına benzer olup, bahsi geçen bu alaşım grubu mikroporozite ve sıcak çatlama oluşumuna daha meyillidir ve kaynak edilebilirliği daha zayıftır. Ancak hem toryum hem de nadir toprak elementlerinin ilavesiyle bu eksikliklerin üstesinden gelinmiştir. ZE41A alaşımı orta derecede mukavmete sahip, iyi kaynak edilebilirliğe, iyi yorulma ve sürünme özelliklerine sahiptir. ZE41A alaşımları, 160˚C'in üzerindeki

sıcaklıklara ulaşıldığı uçak motorları, helikopter ve uçak gövdesi bileşenleri, tekerlek ve dişli kutuları gibi alanlarda kullanılmaktadır [6].

Magnezyum-nadir toprak elementleri-zirkonyum alaşımları

Bu alaşımlar 175 ile 260˚C sıcaklık aralığında kullanılırlar. Bunların yüksek sıcaklıkta mukavemet özellikleri magnezyum-alüminyum-çinko alaşımlarından daha yüksektir. Bu grupta yer alan EZ33A yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında mukavemette iyi bir kararlılık göstermektedir. EZ33A basınç altında mükemmel sızdırmazlık gösterir. Bir motor gömleğinin kullanma sıcaklığı 120-205˚C arasında bir sıcaklığa ulaştığında EZ33A-T5 alaşımı AZ92A-T6 alaşımının yerini kolaylıkla almıştır [6].

Magnezyum-toryum-zirkonyum alaşımları

HK31A ve HZ32A alaşımları öncelikle 200˚C ve üzeri sıcaklıklardaki kullanımlar için geliştirilmiş olup, beklenilen özellikler EZ33A alaşımına göre daha fazladır. Magnezyum-çinko-toryum-zirkonyum alaşımı olan ZH62A öncelikle oda sıcaklığındaki kullanımlar için amaçlanmıştır. Magnezyum-zirkonyum-toryum alaşımlarının dökümü EZ33A alaşımından daha zor olmakla beraber bunun nedeni bu alaşımın inklüzyon oluşumuna daha meyilli olması ve türbülans sonucu kusurların oluşmasıdır. Bu alaşımlar orta dereceden ağır et kalınlığına kadar kompleks şekilli parçaların dökümüne uygundur. HZ32A yüksek sıcaklıklarda HK31A'den daha iyi mukavemet kararlılığı göstermekte ve döküme daha elverişlidir. HK31A daha yüksek çekme ve akma mukavemetine sahip olmakla beraber 370˚C'in üzerindeki sıcaklıklarda daha kısa süreli sürünme direncine sahiptir [6].

Magnezyum-gümüş alaşımları

Magnezyum alaşımlarında gümüşün varlığı oda sıcaklığı mukavemetini artırmaktadır. Gümüşle ve nadir toprak elementleriyle beraber toryum da mevcut olduğunda aynı zamanda yüksek sıcaklık mukavemetinde artış gözlenmiştir. QE22A ve EQ21A, 205˚C'in üzerindeki sıcaklıklarda düşük akma ve çekme mukavemetine sahip olan alaşımlardır. Bu alaşımlar iyi dökülebilirlik ve kaynak edilebilirlik özelliklerine sahiptirler. Daha yüksek mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutulurlar. QE22A ve QH21A yüksek gümüş içeriğine sahip olduğundan dolayı alaşımlandırılması pahalı olup, daha düşük gümüş içeriğine sahip olan EQ21A'in alaşımlandırılması daha ucuzdur [6].

WE54 ve WE43 alaşımları

Yüksek akma ve çekme mukavemetine sahip olan bu alaşımlar 250 ve 300˚C'in üzerindeki sıcaklıklarda iyi özellikler sergilerler. WE54 alaşımı, yüksek sıcaklıklarda yaklaşık 1000 saat süreyle özelliklerini kaybetmezken WE43 ise yüksek sıcaklıklarda 5000 saat süreyle özelliklerini korumaya devam ederler. Her iki alaşım da iyi kaynak edilebilirlik ve dökülebilme özelliği gösterirler ancak mekanik özelliklerin optimizasyonu açısından yaşlandırma ısıl işlemine gerek duyulur. Ytrium içeren bu iki alaşım oldukça pahalıdır. Her iki alaşım da korozyona karşı dirençli olup korozyon davranışları aluminyum esaslı döküm alaşımlarına benzerlik gösterir [6].

2.4.2 Magnezyum dövme alaşımları

2.4.2.1 Ekstrüde edilmiş çubuklar ve şekiller

Fazla yüksek olmayan orta mukavemetin istendiği durumlarda genellikle magnezyum-alüminyum-çinko (AZ) serisi alaşımlar kullanılır. Bu alaşımların mukavemeti alüminyum miktarı arttıkça artış göstermektedir. Şekil alabilirliğe yüksek olan AZ31B alaşımı orta derecede mukavemetiyle yaygın olarak kullanılmakla beraber yoğun bir biçimde katodik korumada kullanılmaktadır. AZ31B alaşımının daha düşük saflıktaki ticari bir çeşidi olan AZ31C ise ağırlık azaltmanın önem kazandığı yapısal uygulamalarda kullanıldığından bu alaşımda maksimum korozyon direncine gereksinim duyulmaz. M1A ve ZM21A, AZ31B'den daha yüksek hızlarda ekstrüde edilebilir ancak bu alaşımlar düşük mukavemetlerinden dolayı sınırlı kullanıma sahiptirler. ZK60A yüksek mukavemet ve iyi tokluk özelliğinin istendiği uygulamalarda kullanılır. Bu alaşıma ısıl işlem uygulanabilir ve yapay olarak yaşlandırılmış haliyle (T5) kullanılır. ZK21A ve ZK40A gibi düşük mukavemetli magnezyum alaşımları ZK60A'den daha kolay ekstrüde edilebilir; mukavemetin istendiği delikli borularda sınırlı kullanıma sahiptirler. ZC71 alüminyum ve zirkonyum içermeyen magnezyum alaşımı olup, yüksek oranda ekstrüde edilebilir ve iyi mukavamet özelliklerine sahiptirler. ZC71'in korozyon direnci AZ91C'e benzer olup, AZ91E'den daha zayıftır. HM31A alaşımı orta derecede mukavemete sahiptir. İyi bir mukavemet ve 150-425˚C sıcaklık aralığında iyi bir sürünme direncinin istendiği uygulamalarda tercih edilirler [6].

2.4.2.2 Dövme alaşımlar

AZ31B ,AZ61A ,AZ80A, M1A ve ZK60 alaşımlarıdır. HM21A aynı zamanda iyi bir dövme alaşımıdır. AZ80A alaşımının mukavameti AZ61A'den daha yüksek olup, magnezyum-alüminyum-çinko alaşımları içerisinde en düşük deformasyon hızına sahiptir. ZK60A, AZ80 alaşımıyla aynı mukavamette olup, ancak daha yüksek sünekliğe sahiptir. Özelliklerin geliştirilmesi açısından her iki alaşım da yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutulabilir [6].

2.4.2.3 Sac ve levhalar

Bunlar haddelenmiş magnezyum-alüminyum-çinko alaşımları (AZ veya PE) ve magnezyum-toryum (HK ve HM) alaşımlarıdır. AZ31B alaşımı sac ve levha üretiminde en yaygın olarak kullanılan alaşımlardır. Bu alaşım 100 °C'in üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmaktadır. HK31A ve HM21A alaşımları 315-345˚C sıcaklık aralığında kullanıma uygundur. HM21A oldukça yüksek mukavemet ve sürünme direncine sahiptir. Örneğin HK31A kalın levhadan üretilen hava rotoru aşırı sürünmeden dolayı hasara uğrarken HM21A'den üretilen aynı parça iyi bir performans ve servis ömrü göstermiştir. PE alaşımı korozyon ve aşınmaya karşı dirençli olan özel kaliteli bir levhadır [6].

2.5 Alaşım elementlerinin etkisi

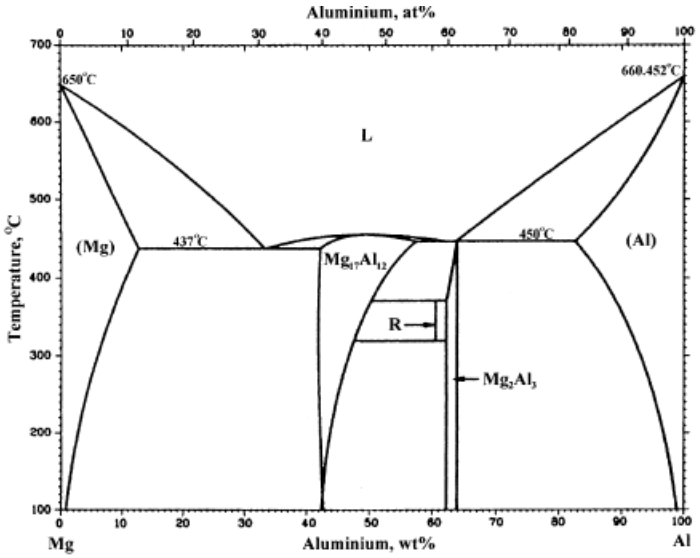
Katı eriyik ve/veya çökelme sertleşmesi ile magnezyum alaşımlarına mukavemet kazandırmak için çeşitli alaşım elementleri kullanılmaktadır. Genel eğilim olarak alüminyum çekme mukavemetini ve sertliği artırmakta, dökülebilirliği iyileştirmekte ancak mikro porozite eğilimi artmakta; kalsium tane yapısını inceltmekte, sürünme direncini artırmakta ancak sıcak yırtılma ve yapışma gibi dökülebilirliği olumsuz yönde etkilemekte; mangan çekme mukavemetini artırmakta, tane incelmesini sağlamakta, kaynak edilebilirliği iyileştirmekte; nadir toprak elementleri sürünme direncini, korozyon direncini ve yüksek sıcaklık mukavemetini artırmakla ancak bu olumlu özelliklerle birlikte maliyet yükselmekte; silis sürünme direncini artırırken dökülebilirliği olumsuz yönde etkilemekte; çinko çekme mukavemetini artırmakta ve dökülebilirliği iyileştirmekte ancak mkro porozite ve sıcak yırtılma eğilimini artırma gibi alüminyum gibi benzer davranış sergilemekte; son olarak zirkonyum çekme mukavemetini artırmakta ve tane incelmesi için çok etkili olup ancak alüminyum veya

silis içeren alaşımlarda tercih edilmemektedir [23]. Ticari magnezyum alasımlarında kullanılan alasım elementlerinin etkisi aşağıda belirtilmiştir.

2.5.1 Alüminyum

Alaşım elementleri içinde alüminyum en etkili elementlerden biridir. Alüminyum ilavesi alaşımın çekme dayanımını ve sertliğini artırmakta birlikte katılaşma aralığını genişletmektedir. Alüminyum ilavesi ağırlıkça % 6'nın üzerinde olduğunda alaşım ısıl işlem uygulanabilir hale gelir ancak ticari alaşımlarda alüminyum ağırlıkça %10'un altında tutulur. Ağırlıkça % 6 alüminyum içeren alaşım optimum dayanım ve süneklilik sergilemektedir.

Magnezyum-alüminyum denge faz diyagramı Şekil 2.4'de görülmektedir. Ötektik sıcaklığında alüminyumun maksimum çözünürlüğü ağırlıkça % 13 olup, ağırlıkça % 33 alüminyum içeren alaşımda α-Mg ile metaller arası bileşik olan $Mg_{17}Al_{12}$'den oluşan ötektik faz meydana gelmektedir. Ticari alaşımlarda alüminyum içeriği maksimum katı çözünürlüğün altında olduğu için α-Mg ana faz olarak katılaşır [24].



Şekil 2.4: Magnezyum-alüminyum denge faz diyagramı [24].

Ticari döküm proseslerinde soğutma hızlarına bağlı olarak genellikle ağırlıkça % 2'den fazla alüminyum içeren alaşımlarda katılaşma esnasında bir miktar ötektik faz oluşmaktadır. Bu nedenle yaygın olarak kullanılan AZ91, AM50 ve AM60 gibi basınçlı döküm magnezyum alaşımlarında önemli miktarlarda ötektik faza rastlanır. Ötektik altı magnezyum-alüminyum alaşımları bileşim ve soğutma hızına bağlı olarak geniş bir morfolojiye sahiptirler. Alüminyum içeriği ötektik bileşime yakın

(ağırlıkça %33 alüminyum) olan alaşımlar düzenli lamelli yapıda veya lifli ötektik mikrayapıda bulunurlar [24].

2.5.2 Demir

Alaşımda az miktarlarda bulunuyor olsa bile korozyon direncini önemli ölçüde azaltan empüritelerden biridir. Ticari magnezyum alaşımlarında demir içeriği ortalama olarak ağırlıkça % 0,01 ila % 0,03 arasında olmalıdır. Maksimum korozyon direnci için demir içeriğinin üst limiti % 0,005 olmaldır [6].

2.5.3 Mangan

Mangan alaşımın çekme mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olmamakla beraber akma mukavemetini kısmen arttırmaktadır. Manganın en önemli fonksiyonu AlMnFe gibi ikinci faz partikülleri oluşması ile magnezyum alaşımında demir içeriği azaltmakta ve mikroyapıyı saflaştırdığı için korozyon direncini artırmasıdır. Mangan içeren ticari alaşımlar nadir olarak ağırlıkça %1,5'un üzerinde mangan içerirler ve alüminyumun varlığında magnezyumdaki manganın çözünürlüğü ağırlıkça % 0,3'e kadar düşmektedir [6].

2.5.4 Çinko

Magnezyum alaşımlarında çinko alüminyum ile birlikte bulunduğunda etkinliği yüksek olmaktadır. Çinko alüminyumla beraber oda sıcaklık mukavemetinin artırılmasında kullanılır; ağırlıkça % 7-10 arasında alüminyum içeren magnezyum alaşımlarına çinkonun ağırlıkça % 1'den fazla miktarda ilave edilmesi durumunda sıcak çekme mukavemeti artmakta, çinko aynı zamanda nikel ve demir empürütelerinin zararlı korozif etkisini ortadan kaldırılması amacıyla kullanılmaktadır. Çinko alüminyumla beraber süneklikte azalma olmaksızın mukavemeti artırmada kullanılmaktadır [6].

2.5.5 Zirkonyum

Zirkonyumun latis parametresi (a=0.323 nm c=0.514 nm) magnezyumun latis parametresine (a=0.320 nm, c=0.520 nm) çok yakın olmasından dolayı zirkonyum magnezyum alaşımlarında güçlü bir tane inceltici etkisi bulunmaktadır. Katılaşmanın başlangıcında zirkonyumca zengin katı partiküller magnezyum tanelerinin katılaşma sırasında heterojen çekirdeklenmeyi sağlamaktadır. Ancak zirkonyum, alüminyum

veya mangan içeren alaşımlarda pek kullanılmaz çünkü zirkonyum bu elementlerle kararlı bileşikler oluşturmakta ve bu şekilde katı eriyikten uzaklaşmaktadır. Zirkonyum yapıda katı eriyik halinde bulunması durumunda tane inceltici etkisi oluşmaktadır [6].

2.5.6 Bakır

Bakır magnezyum alaşımlarında ağırlıkça % 0,05'den fazla olması durumunda korozyon direncini olumsuz yönde etkilemektedir. Bakır magnezyumda sınırlı çözünebilirliğe sahiptir. Süneklikten ödün verilmesi koşuluyla magnezyuma yapılan bakır ilavesi oda ve yüksek sıcaklık mukavemetini arttırdığı gözlenmiştir [6].

2.5.7 Nikel

Nikel magnezyum alaşımlarında korozyon direncini önemli miktarda azalmaya yol açan empüritelerden biridir. Magnezyum alaşımlarında korozyona karşı maksimum direnç için ağırlıkça %0,005'e kadar nikel içeriğine izin verilmiştir [6].

2.5.8 Nadir toprak elementleri

Bu elementler alaşımın yüksek sıcaklık mukavemetini, sürünme ve korozyon direncini arttırmak amacıyla ilave edilirler. Ancak bu elementler öncelikle oldukça pahalı olduklarından daha çok ileri teknoloji alaşımlarında kullanılırlar. Bunların yapıdaki varlığı alaşımın katılaşma hızını artırırarak dökümde daha az porozite oluşumunu sağlar ve kaynak çatlamalarını engellemektedir [6].

3. KATI HAL GERİ KAZANIM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ MİKROYAPI, MEKANİK VE KOROZYON ÖZELLİKLERİ

Magnezyumun yüksek mukavemet/ağırlık oranına, mükemmel dökülebilirliğe ve geri kazanılabilir bir metal olması sebebiyle elektronik, otomotiv ve havacılık gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Tüm bu alanlarda kullanılan magnezyumun döküm ve plastik şekil verme gibi üretim yöntemleri sırasında talaş ve hurda formunda çok büyük miktarda atık oluşmaktadır [25-27]. Günümüzde yaygın olarak kullanılan geri kazanım yöntemi talaş ve hurdaların tekrar yeniden ergitilmesidir. Ancak yüksek enerji tüketimi ve oksidasyonla metal kaybından dolayı düşük geri kazanım verimliliği ergitme işleminin dezavantajlarıdır [25]. Literatürde katı hal geri kazanım yöntemi ile magnezyum talaş ve hurdalarının etkili bir şekilde geri kazanılabiliceği hakkında çalışmalar bulunmaktadır [2, 26, 28]. Katı durumda gerçekleştirilen bu geri kazanım yönteminin avantajı herhangi bir koruyucu ortam veya önleme ihtiyaç duyulmamasıdır [27]. Sıcak ekstrüzyon [27, 29], haddeleme [30] ve eş kanallı açısal pres (EKAP) [26] gibi plastik deformasyon yöntemleri ile magnezyum talaşlarının katı hal geri kazanımı mümkün olmaktadır. Tane incelmesi ve oksit çökeltilerinin dağılımı sayesinde elde edilen bu ürünlerin mukavemeti de yüksek olmaktadır [26].

Nakanishi ve arkadaşları (1998) sıcak ekstrüzyon yöntemi ile ZK60 talaşlarından üretilen malzemelerin çekme ve akma mukavemetine ekstrüzyon sıcaklık ve oranının etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, elde edilen ürünün mukavemet ve sünekliğini etkileyen en önemli parametrenin ekstrüzyon sıcaklığının olduğunu, artan ekstrüzyon sıcaklığı ile mukavemetin azaldığı ve sünekliğin arttığı belirlenmiştir. Yüksek mukavemetli malzeme üretmek için talaşlar arasındaki bağlanmanın yetersiz olduğu sıcaklık aralığının dışında kalan düşük ekstrüzyon sıcaklığında ekstrüzyon gerçekleştirilmedir [31].

Wang ve arkadaşları (2006) katı hal geri kazanım yöntemi ile AZ91D talaşlarından üretilen malzemenin original döküm yapısındaki AZ91D malzeme ile

karşılaştırılabilir mukavemet ve sünekliğe sahip olduğunu ve yaşlandırma işlemi ile mukavemetin arttığını belirmişlerdir [32].

Chino ve arkadaşları (2006) sıcak ekstrüzyon yöntemi ile AZ31 talaşlarından üretilen malzemelerin mekanik ve korozyon özelliklerine tekrarlı ekstrüzyon işleminin etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada artan tekrarlı ekstrüzyon sayısına bağlı olarak tane yapısının inceldiği ve bu sayede akma ve çekme mukavemetinin arttığı ancak her bir ekstrüzyon sonucu alaşımın oksit içeriği artmasına rağmen ekstrüzyon sırasında kalıbın aşınması ile alaşımda artan demir içeriğinin korozyona karşı duyarlılığı artırdığı gözlenmiştir [33].

Chino ve Mabuchi (2007) sıcak ekstrüzyon yöntemi ile AZ31 talaşlarından üretilen malzemelerin mekanik ve korozyon özelliklerine ekstürüzyon oranın etkisini incelemiş ve bu çalışmada yüksek ekstrüzyon oranında (1600:1) oksitlerin yapıda uniform dağıldığı, aynı oranda ektrüzyon işlemine tabi tutulan döküm yapısındaki AZ31 malzemeye göre akma ve çekme mukavemetinin yüksek olduğu, düşük ekstrüzyon oranında (45:1) ekstrüzyon yönünde paralel dağılan oksitten dolayı korozyon direncinin önemli miktarda arttığı gözlenmiştir [34].

Hu ve arkadaşları (2008) katı hal geri kazanım yöntemi ile çeşitli talaş boyutlarındaki AZ91D talaşlarından üretilen malzemelerin mikroyapısı ve mekanik özelliklerini incelemiş ve dinamik yeniden kristalleşmeden dolayı ince taneli yapının elde edildiğini, artan toplam talaş yüzey alanına bağlı olarak oksit içeriğinin arttığını, oksit içeriğinin düşük olması durumunda dispersiyon sertleşmesi ile mukavemetin iyileştiğini ancak aşırı oksit içeriğinin sünekliği olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir [25].

Wu ve arkadaşları (2009) sıcak ekstrüzyon yöntemi ile çeşitli talaş boyutlarındaki AZ31B talaşlarından üretilen tüm malzemelerin mukavemeti tane incelmesinden dolayı original döküm yapısındaki AZ31B malzemeden daha yüksek olduğunu, talaşların toplam yüzey alanının artması ile mukavemetin arttığını, tane boyutu, oksit içeriği ve yoğunluğun geri kazanılan malzemelerin sünekliğini etkilediğini bildirmişlerdir [28].

Shu-yan ve arkadaşları (2010) AZ31B talaşlarından üretilen malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin uygulanan soğuk pres, sıcak pres ve ardından sıcak ekstrüzyon veya çift ekstrüzyon işlem gibi çeşitli geri kazanım yöntemlerine bağlı

olduğunu vurgulamışlardır. Bu çalışmada, soğuk presleme ve ardından sıcak ekstrüzyon işlemi ile elde edilen malzemenin sıcak presleme ve ardından çift ekstrüzyon işlem ile üretilen malzemeye nazaran ince taneli olduğunu ve daha yüksek mukavemete sahip olduğu belirtilmiştir. Sıcak presleme işlemi ile porozite değeri düşük daha kompakt yapı elde edilerek sünekliğin arttığı, ancak çift ekstrüzyon işlemi ile oksitlerin kırılıp yapıya dağılması ile sünekliğin daha da artabileceği ileri sürülmüştür [29].

Tao ve arkadaşları (2010) sıcak ekstrüzyon ve ardından ECAP işlemi ile AZ91 talaşlarından üretilen malzeme ile aynı şartlara maruz kalan referans AZ91 blok malzemenin mekanik özelliklerini incelemiş ve bu çalışmada geri kazanılan malzemenin referans malzemeye nazaran daha yüksek mukavemete sahip olduğunu ve bu iyileşme tane boyutu incelmesi ile oksit dağılımına atfedilir [26].

Dong-hua ve arkadaşları (2011) katı hal geri kazanım yöntemi ile AZ91D hurdalarından üretilen malzemenin düşük sıcaklık mekanik özelliklerini incelemiş ve dinamik yeniden kristalleşmeden dolayı ince taneli yapının elde edildiğini, azalan sıcaklık ile çekme mukavemetinin arttığını ancak süneklik ve darbe direncinin azaldığını belirtmişlerdir [27].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Deneysel Malzemeler

Bu çalışmanın amacı, geleneksel geri kazanım yöntemine alternatif olarak düşük maliyetle, ergitme ve mekanik öğütme olmaksızın elle karıştırma ve ardından sıcak ekstruder işlemi ile magnezyum talaşının geri kazanımı ve üretilen magnezyum malzemelerinin mekanik ve korozyon davranışına talaş içeriğinin, talaş boyutunun, magnezyum ve alüminyum toz içeriğinin etkisini incelemektir. Bu çalışmada ticari kalitede saf magnezyum talaşı, AZ91 alaşım talaşı, saf magnezyum tozu (16 μm) ve saf alüminyum tozu (27μm) magnezyum malzeme üretimi için başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. Üretilen magnezyum malzemeleri metalografik inceleme, sertlik ölçümü, basma deneyi, aşınma ve korozyon deneylerine tabi tutulmuştur.

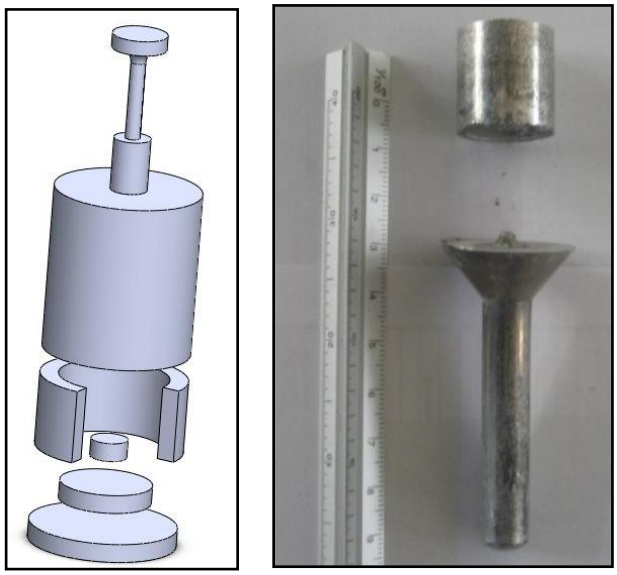
4.2 Deneysel Malzemelerin Üretim Yöntemi

Talaşlar elek analizinden geçirilerek her bir talaşın partikül boyut dağılımı belirlenmiştir. Saf magnezyum talaşlarının ortalama partikül boyutları sırasıyla 372 μm, 572 μm, 739 μm, 1154 μm olarak; AZ91 alaşım talaşları için de 220 μm ve 779 μm olarak ölçülmüştür. Magnezyum tozunun partikül boyut dağılımı ise Malvern Mastersizer 2000-S cihazı ile 16 μm olduğu tespit edilmiştir.

Talaşlar arasında bağlanmayı artırmak için talaşların her birinin içerisine çeşitli oranlarda ortalama boyutu 16 μm olan saf magnezyum tozu ilave edilmiş ve homojen bir karışım sağlamak amacıyla bu yeni talaş/toz karışımları seramik havanda elle karıştırılmıştır.

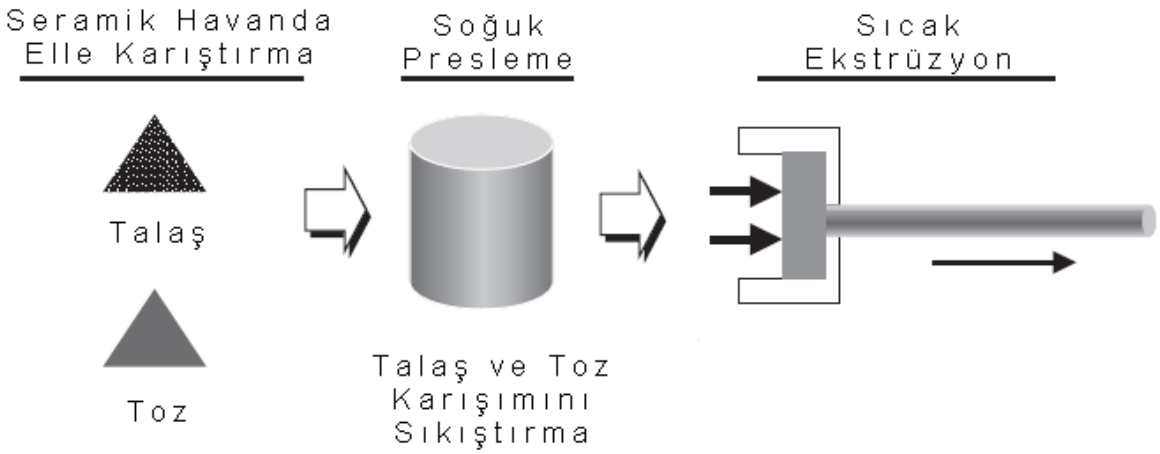
Bu çalışmanın 2.etabında ise magnezyum ile alüminyum arasındaki metalurjik uyumun hem mukavemet hem de korozyona etkisini incelemek için hem 739 μm boyutundaki saf magnezyum talaşına hem de 16 μm boyutundaki magnezyum tozuna farklı oranlarda ortalama partikül boyutu 27 μm olan alüminyum tozu ilave edilmiş ve bu karışımlar seramik havanda elle karıştırılmıştır. Elde edilen karışımlar Şekil 4.1 a' da verilen kalıp içerisinde 700 MPa basınç altında 10 dakika süreyle tek yönlü

olarak soğuk preslenerek 30 mm çapında ve 20 mm yüksekliğinde disk haline getirilmiştir. İncelenen malzemelerin üretimine ait akım şeması Şekil 5.2'de verilmiştir. 250°C'in üzerindeki sıcaklıklarda magnezyum talaşlarının ekstrude edilmesi durumunda elde edilen malzemenin basma mukavemeti artmakta ve talaşlar arasındaki bağlanmama ihtimali azalmaktadır [35]. Bu nedenle bu çalışmada, mikroyapı homojenliğini sağlamak, mikroyapı bileşenleri arasındaki metalurjik bağlanmayı artırmak, oksit tabakasını kırmak, tamamen yoğun ve son şekle sahip malzeme üretmek için [25, 36] 30 mm çapındaki diskler 100 ton kapasiteli dikey eksenli hidrolik pres yardımı ile 9:1 oranda 350°C'de sıcak ekstrüde edilerek 10 mm çapında 50 mm uzunluğunda malzemeler elde edilmiştir (Şekil 4.1 b). Ekstrüzyon işlemi için tasarlanan fırın kontrol ünitesi ve ekstrüzyon kalıbı Şekil 4.3'de verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.1: (a) Soğuk preslenen parçanın şematik görüntüsü, (b) soğuk preslenen ve 350˚C'de ekstrüde edilen malzeme.



Şekil 4.2: İncelenen malzemelerin üretimine ait akım şeması.



(a) (b)

Şekil 4.3: Bu çalışma için tasarlanan (a) fırın kontrol ünitesi ve (b) ekstrüzyon kalıbı.

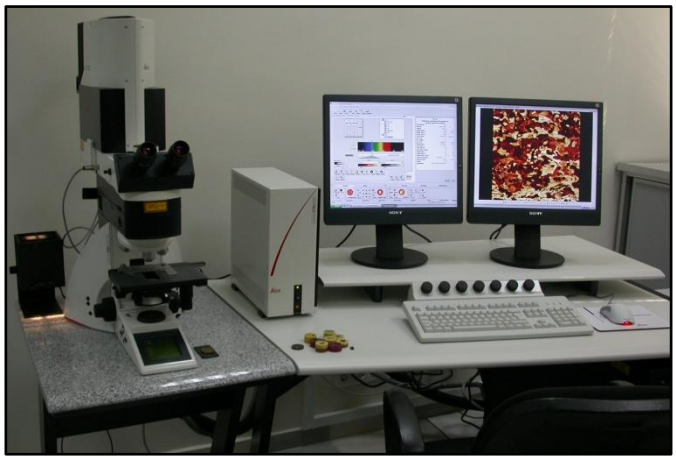
Üretilen malzemeler mikroyapı (metalografik incelemeler, X-ışınları difraksiyon çalışmaları, yoğunluk ve elektrik iletkenlik ölçümleri), mekanik (sertlik, basma ve aşınma) ve korozyon deneylerine tabi tutulmuştur.

4.3 Mikroyapı Karakterizasyon Çalışmaları

Mikroyapı karakterizasyonu metalografik incelemeler, X-ışınları difraksiyon (XRD) çalışmaları, yoğunluk ve elektrik iletkenlik ölçümleri ile gerçekleştirilmiştir.

4.3.1 Metalografik incelemeler

Metalografik incelemeler, standart metalografik yöntemler ile hazırlandıktan sonra Leica marka TCS-SL ve ICC 50HD model ışık mikroskobunda gerçekleştirilmiştir. Metalografik prosedür, reçineye alınan malzemeleri sırasıyla 60, 120, 240, 400, 600, 800 ve 1200 mesh SiC zımparada nazik olarak zımparalamadan sonra elmas solüsyonla parlatma işlemini içermektedir. Şekil 4.4'de çalışmada kullanılan ışık mikroskobunun fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 4.4: Leica marka ışık mikroskobu.

4.3.2 XRD incelemeleri

İncelenen malzemelerin XRD difraksiyon paternleri CuK_α radyasyonu kullanılarak $2\theta = 30 - 90^o$ aralığında, 2^o/dak tarama hızında ve 0.02^o adım tarama boyutunda GBC MMA 027 model X-ısınları cihazında elde edilmiştir.

4.3.3 Yoğunluk ve elektrik iletkenlik öçümleri

Yoğunluk ölçümleri basit bir yöntem olan hacim-kütle arasındaki ilişki kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntemle yoğunluk ölçümü, sıvının yer değiştirmesi Arşimet (Archimedes) prensibine dayanmaktadır. Malzemelerin önce havada kuru ağırlığı (m_k), sonra da saf su (m_s) içerisindeki ağırlıkları tartılarak Eşitlik (4.1) yardımı ile yoğunluğu belirlenmiştir.

$$\rho = m_k \times \rho_{H2O} / (m_k - m_s) \qquad (4.1)$$

Elektrik iletkenliği ölçümleri, girdap akımları prensibiyle çalışan Hocking AutoSigma 3000DL model bir ölçüm cihazıyla 500 kHz frekansta ve 8 mm'lik prob kullanılarak her bir malzemede on ölçüm yapılarak mS/m (mega Siemens/metre) birimiyle belirlenen elektrik iletkenliği değerleri % IACS birimine çevrilmiştir.

4.4 Mekanik Karakterizasyon Çalışmaları

İncelenen malzemelerin mekanik karakterizasyonu sertlik ve basma deneyleri ile yapılmıştır. Ayrıca 220 μm boyutundaki AZ91 alaşım talaşı ile magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemeler üzerinde aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4.4.1 Sertlik ölçümleri

Sertlik ölçümleri metalografik malzemeler üzerinde, Vickers batıcı ucu ile mikrosertlik cihazı ile yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümü Schimatzu Model mikrosertlik cihazında 200 gr yük altında Vickers sertlik değeri ($HV_{0,2}$) cinsinden gerçekleştirilmiştir. Sertlik değerleri, en az 10 ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Sertlik izi mikroyapı bileşenlerinin (talaş ve toz) hepsini kapsadığından elde edilen mikrosertlik değeri, incelenen malzemelerin kütlesel sertliğini karakterize etmektedir. Şekil 4.5'de Shimadzu marka mikrosertlik cihazının fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 4.5: Shimadzu marka mikrosertlik cihazı**.**

4.4.2 Basma deneyi

Basma deneyleri 250N kapasiteli Dartec marka üniversal deney cihazında 1mm/dk çene hızında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Basma deneyi için 10 mm çapında ve 20 mm yüksekliğinde malzemeler kullanılmıştır. Her bir malzeme

grubunu temsilen üç adet basma deneyi yapılmış ve bunların aritmetik ortalaması deney sonucu olarak alınmıştır. Şekil 4.6'da Dartec marka üniversal deney cihazının görünümü verilmiştir.



Şekil 4.6: Dartec üniversal test cihazı.

4.4.3 Aşınma deneyi

220 µm boyutundaki AZ91 alaşım talaşı ile magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin aşınma davranışları ileri-geri aşınma test cihazında incelenmiştir. İleri-geri aşınma testi, levha üzerinde bilye temas geometrisine sahip, ASTM G133 standardında [37] tanımlanan ileri-geri aşınma test cihazında normal atmosferik şartlarda (20 ± 2 ^{o}C, % 30 ± 5 nem) gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri ekstrüzyon yönündeki malzeme yüzeyine dört farklı kayma hızında (0.0128m/s, 0.0245 m/s, 0.0375 m/s, 0.0567 m/s) ve 10 mm kayma mesafesine sahip 10 mm çapında çelik bilyenin 1.0 N normal yük altında sürtünmesi ile gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyi sonrasında malzeme yüzeyleri üzerinde gelişen aşınma izleri yüzey profilometresi (Veeco Dektak 6M) ile analiz edilmiştir ve yüzey profilleri vasıtasıyla aşınma iz alanları hesaplanmıştır. Aşınma izleri daha sonra hızlandırma voltajı 15kV olan HITACHI marka TM-1000 model taramalı elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir.

4.5 Korozyon Deneyi

İncelenen malzemelerin ağırlık kaybı korozyon deneyleri bir cam beher içerisinde bulunan % 3.5'luk NaCl çözelti içinde yüzeyi temizlenmiş malzemelerin 36 saat süreyle tutulmasıyla yapılmıştır. Malzemelerin yüzey alanına bağlı olarak çözelti miktarı 0,6 ml/mm^2 olacak şekilde ayarlanmıştır. Korozyon deneyleri sırasında belirli zaman aralıklarında (3, 6, 12, 18, 24 ve 36 saat) çözeltiden çıkarılan malzemeler

sırasıyla damıtılmış su ve alkol içinde ultrasonik olarak temizlendikten sonra 0,1 mg hassasiyete sahip elektronik terazide tartılmıştır. Korozyon deneyleri sırasında belirli zaman aralıklarında korozyon çözeltisinin pH değeri WTW pH/Cond 340i pHmeter ile, çözelti iletkenliği ise TetraCon 325 probu kullanarak ölçülmüştür. Deney sonuçları, malzemelerin birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybına göre gr/cm^2 cinsinden değerlendirilmiştir. Korozyon deneyi sonrası malzemelerin korozyon yüzeylerinin incelenmesi, SEM ile yapılmıştır.

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEMELER

İncelenen malzemeler, saf magnezyum talaşı/magnezyum tozu (MT/mt), AZ91 alaşım talaşı/magnezyum tozu (AZMT/mt), saf magnezyum talaşı/alüminyum tozu (MT/at) ve magnezyum tozu/alüminyum tozu (mt/at) karışımları olarak hazırlanmış olup, Çizelge 5.1'de sınıflandırılması yapılmıştır.

Çizelge 5. 1: Hazırlanan malzemelerin sınıflandırılması.

Malzeme	Boyut Oranı (μm/μm)	Sembol
Saf magnezyum talaşı/Magnezyum tozu	372/16	MT370/mt
	572/16	MT570/mt
	739/16	MT740/mt
	1154/16	MT1150/mt
AZ91 alaşım talaşı	220/16	AZMT220/mt
	779/16	AZMT780/mt
Saf magnezyum talaşı/Alüminyum tozu	739/27	MT740/at
Magneyum tozu/Alüminyum tozu	16/27	mt16/at

5.1 Mikroyapı Karakterizasyon Sonuçları Ve Değerlendirilmesi

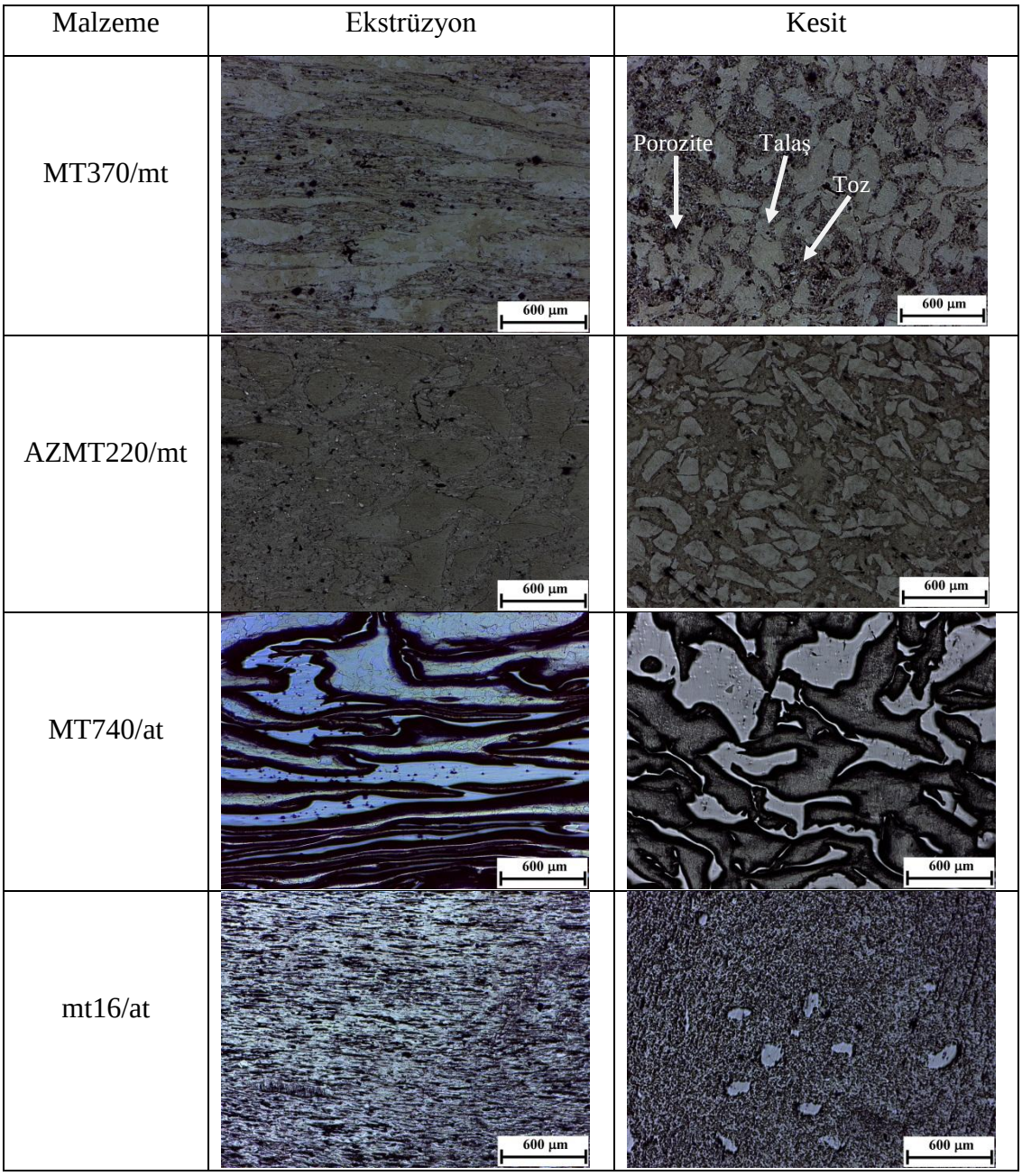
İncelenen malzemelerin optik mikroskopta görüntülenen mikroyapıları EK B'de toplu olarak verilmiştir. Her bir malzeme grubuna ait (MT370/mt, AZMT220/mt, MT740/at ve mt16/at) ekstrüzyon ve kesit mikroyapı görüntüleri örnek olarak sırasıyla Şekil 5.1'de görülmektedir. Talaş ile magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin mikroyapısında, genel olarak açık renkli bölgeler talaşı, koyu renkli bölgeler magnezyum tozu, içi boş siyah renkli bölgeler ise poroziteden oluşmaktadır. Mikroskobik incelemeler, talaş ve tozun ekstrüzyon yönünde birbirine

alternatif olacak şekilde uzamış katmanlı yapıda olduğunu, farklı boyutlardaki talaştan üretilen magnezyum malzemelerinde aynı oranda talaş/toz içeriği kullanılmasına rağmen talaş boyutu arttıkça üretilen magnezyum malzemelerinde daha yoğun talaşın olduğunu (Şekil B.1- Şekil B.6) ortaya çıkarmıştır. Makroskobik incelemeler saf magnezyum talaşlarından üretilen malzemelerin daha kompakt yapıda olduğunu, ancak AZ91 alaşım talaşından üretilen malzemelerin yüzeyinde ise talaşlar arasında süreksizlik ve kirliliğin artan talaş boyutu ile arttığını göstermektedir (Şekil 5.2).

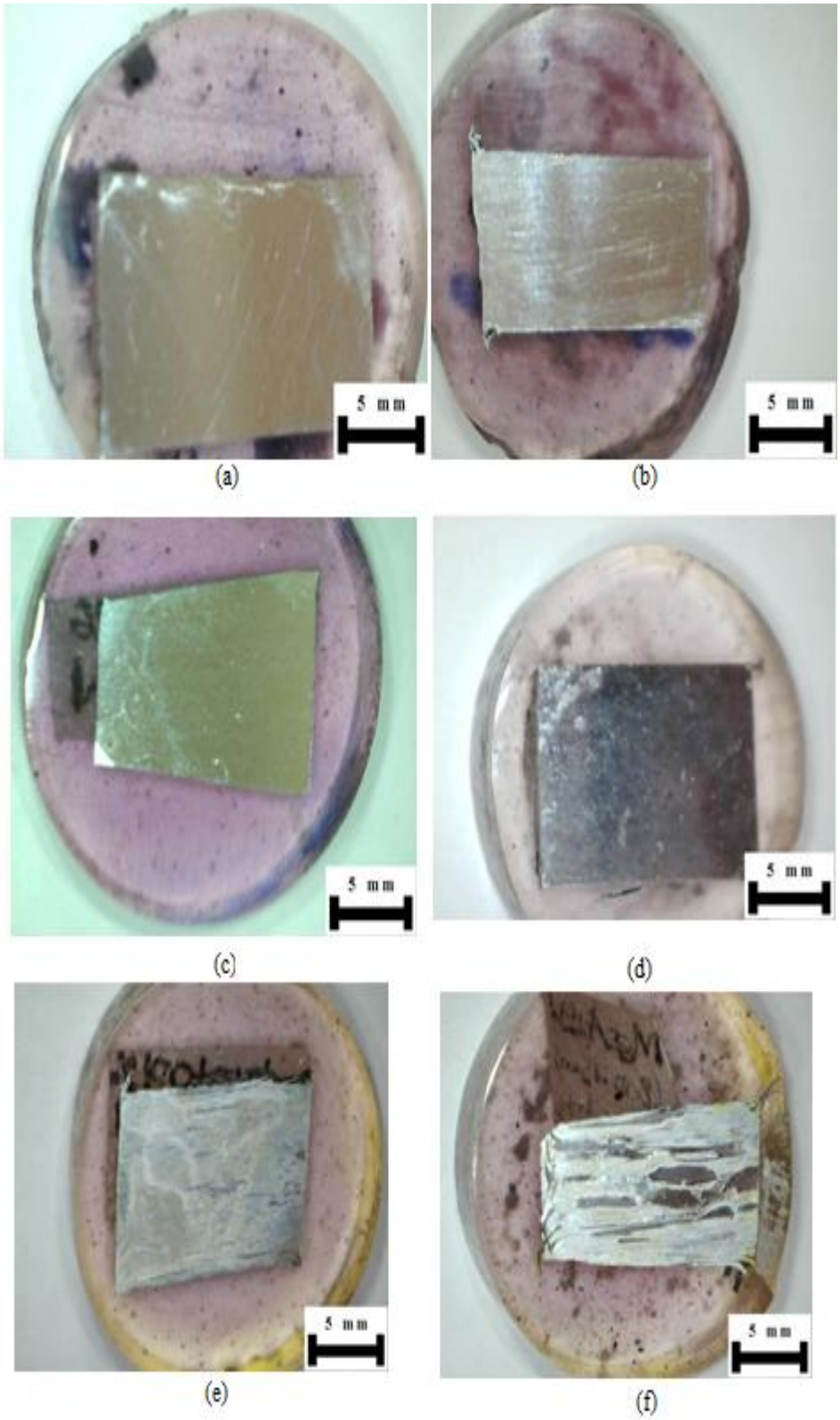
Ağırlıkça % 100 magnezyum tozu, % 50 ve % 75 saf magnezyum talaşı içeren MT740/mt, MT1150/mt malzemelerin XRD analiz sonuçları (Şekil 5.3) göz önüne alındığında sadece magnezyum piki mevcut olup, bunun dışında herhangi bir mikroyapı bileşenine ait pik tespit edilmemiştir. Bunun nedeni, ekstrüzyon işlemi ile oksitin kırılması ve yapıda homojen dağılması sonucu [36] yapı içerisindeki hacim oranının düşük olması olabilir. Ancak ağırlıkça % 25 ve % 50 AZ91 alaşım talaş içeren AZMT220/mt malzemelerin XRD paternlerinde magnezyum ve magnezyum alüminat ($MgAl_2O_4$) pikleri mevcut olup, talaş içeriğinin artması ile $MgAl_2O_4$ pik şiddetinin arttığı gözlenmiştir (Şekil 5.4). Her ne kadar literatürde [38] AZ91 alaşımında α-Mg matrisin yanı sıra β-$Mg_{17}Al_{12}$ metaller arası bileşiğinin mevcut olduğu belirtilse de XRD çalışmalarında bu bileşiğe ait pik tespit edilememiştir. AZ31B alaşım talaşlarının ergitme olmaksızın sıcak ekstrüzyon yöntemi ile geri kazanılmasını inceleyen Zhang ve arkadaşları (2011) şiddetli deformasyondan dolayı β fazı ağının azaldığını veya oluşmadığını rapor etmiştir [39]. Bu çalışmada da çeşitli oranlarda saf magnezyum tozu içeren AZ91 alaşım talaşları 350°C'de ekstrude edilerek şiddetli deformasyona uğradığı için β-$Mg_{17}Al_{12}$ metaller arası bileşiğinin oluşumu beklenmemektedir.

Saf magnezyum talaşı ile alüminyum toz karışımından (MT740/at) hazırlanan malzemelerin mikroyapıları (Şekil 5.1 ve Şekil B.8) ise açık renkli düzensiz bölgeler ile koyu renkli bölgelerin ekstrüzyon yönünde birbirine alternatif olacak şekilde uzamış katmanlı yapıdan oluşmaktadır. Saf magnezyum tozu ile alüminyum toz karışımından (mt16/at) hazırlanan malzeme grubunda da siyah gri renkli bölge α-Mg fazını, beyaz ağ yapılı bölge ise β-$Mg_{17}Al_{12}$ metaller arası bileşiği temsil etmektedir ve ağırlıkça %50 alüminyum toz içeren alaşımda β-$Mg_{17}Al_{12}$ fazına ait kümelenmeler artmaktadır (Şekil B.7). Bu çalışmadan elde edilen bulğulara benzer

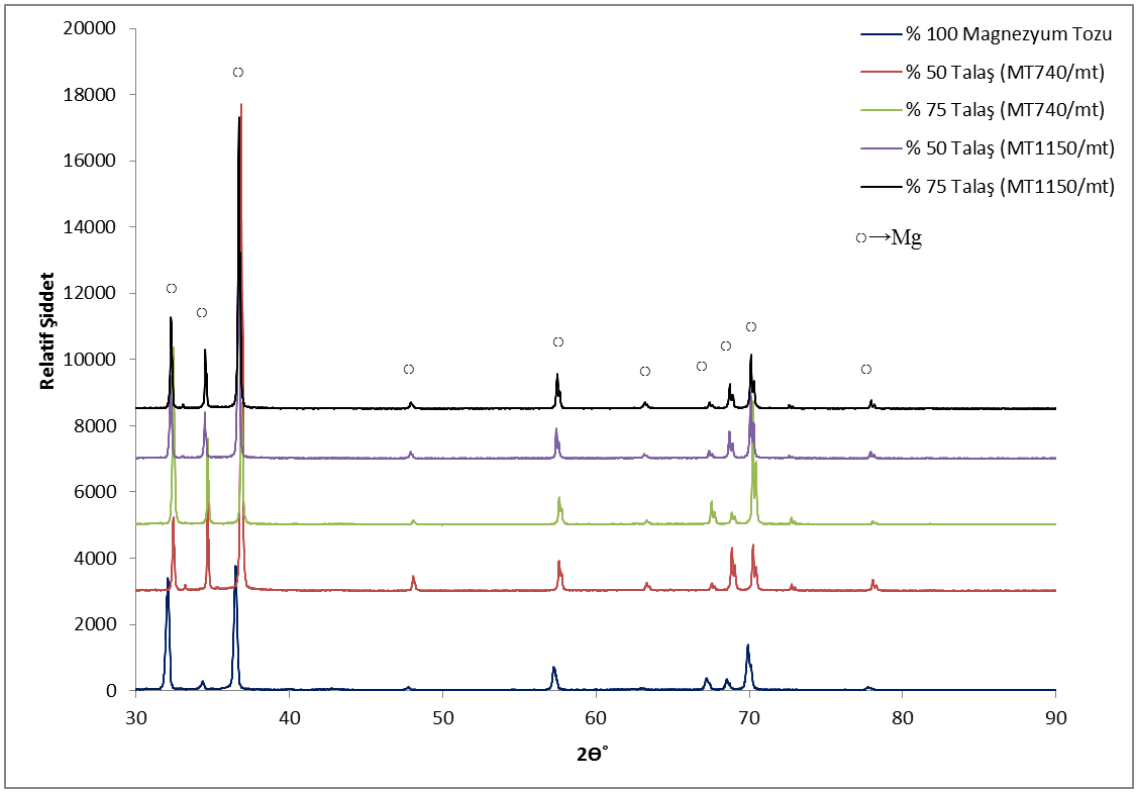
sonuçlar literatürde de belirtilmektedir [40]. MT740/at ve mt16/at malzemelerin XRD paternleri Şekil 5.5'de verilmiştir. Bu gruplarda da alüminyum, α-Mg ve β-$Mg_{17}Al_{12}$ pikleri tespit edilmiş olup, saf magnezyum talaşı/alüminyum tozu ve saf magnezyum tozu/alüminyum tozu karışımlarında aynı oranda alüminyum toz içeriği kullanılmasına rağmen saf magnezyum talaşından üretilen malzemelerde talaş ile toz arasındaki boyut farkından dolayı saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemede α-Mg pik şiddetinin belirginliği artmıştır (Şekil 5.5).



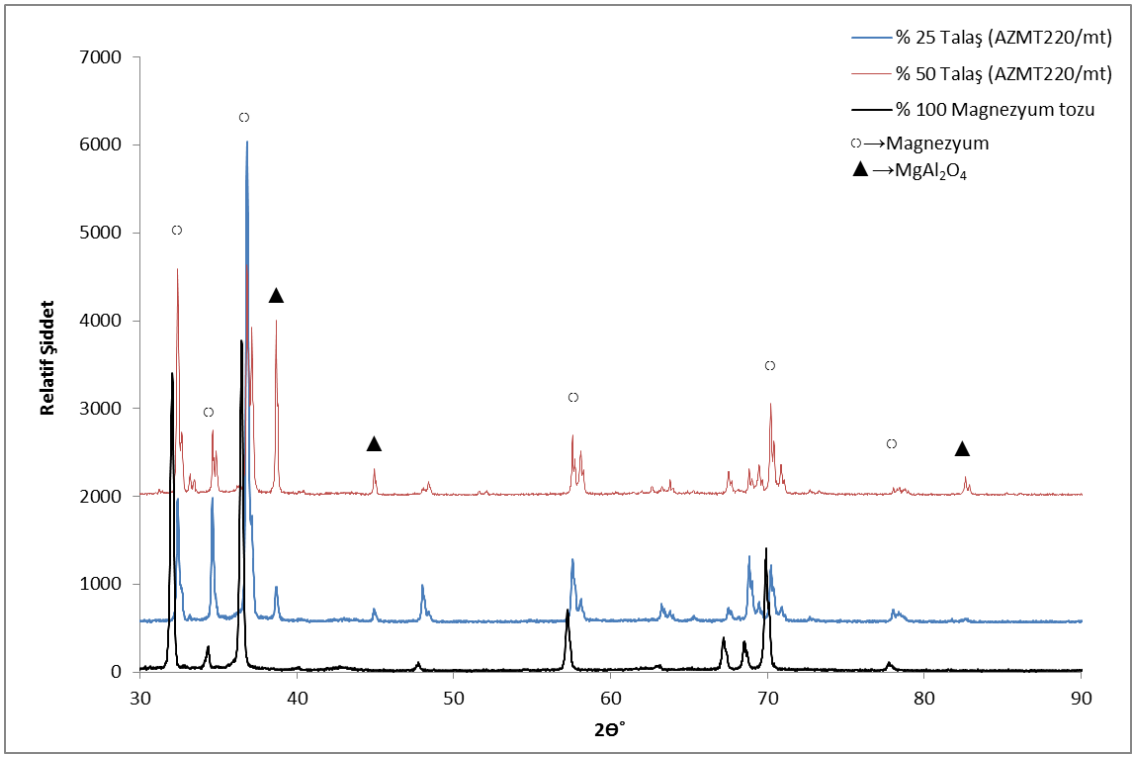
Şekil 5.1: Ağırlıkça % 50 talaş içeren her bir malzeme grubuna ait ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri.



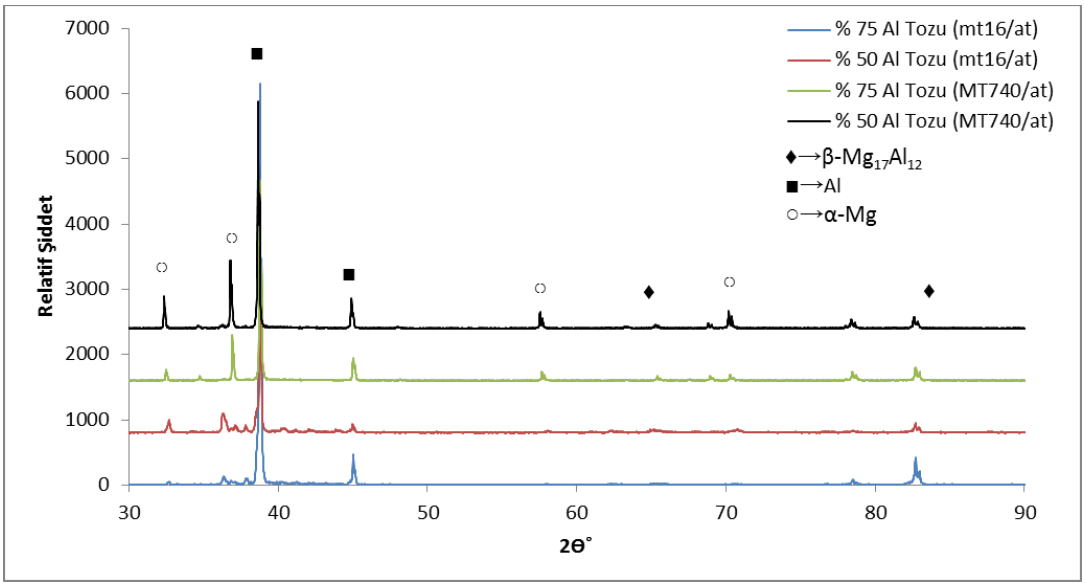
Şekil 5.2: Ağırlıkça %100 talaş içeren (a) MT370/mt, (b) MT570/mt, (c)MT470/mt, (d) MT1150/mt, (e)AZMT220/mt, (f) AZMT780/mt malzeme gruplarına ait ekstrüzyon yönündeki genel mikroyapı görüntüleri.



Şekil 5.3: Ağırlıkça % 100 magnezyum tozu, % 50 ve % 75 talaş içeren MT740/mt, MT1150/mt malzemelerin XRD paternleri.

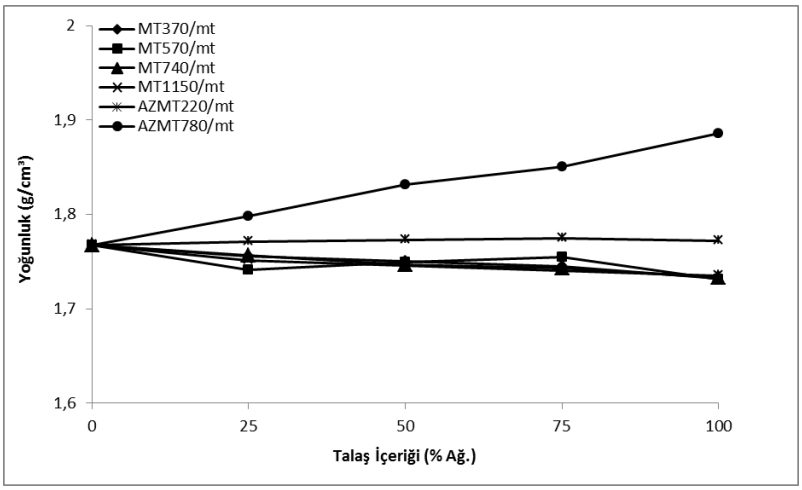


Şekil 5.4: Ağırlıkça % 100 magnezyum tozu, % 25 ve % 50 talaş içeren AZMT220/mt malzemelerin XRD paternleri.

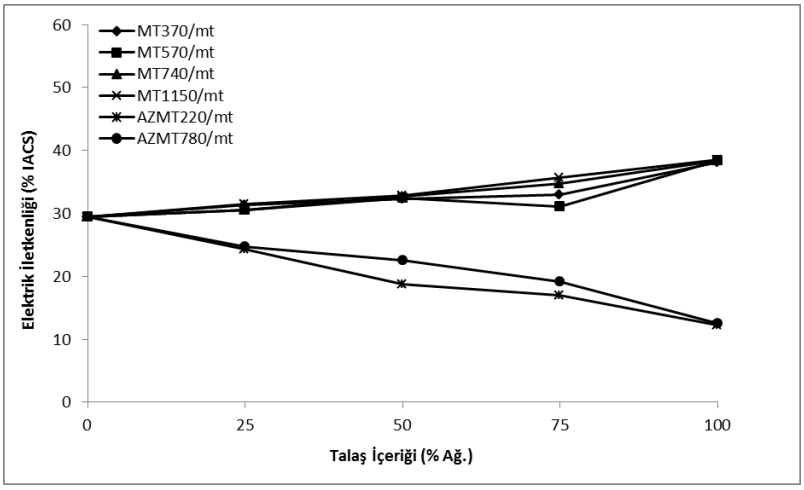


Şekil 5.5: MT740/at ve mt16/at malzemelerin XRD paternleri.

Talaş içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin yoğunluk ve elektrik iletkenliği ölçümleri sırasıyla Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de verilmektedir. Yüksek yoğunluk ve düşük elektrik iletkenliği, oksit ve makro-yapısal kirlilik (Şekil 5.2) ve talaş ile toz arasındaki boyut farkından kaynaklanan zayıf temastan dolayı kaba talaştan üretilen AZMT780/mt malzemeden elde edilmiştir. Elektrik iletkenliği ve yoğunluk arasında bir ilişki söz konusu olduğundan AZ91 alaşım talaşından üretilen AZMT220/mt ve AZMT780/mt malzemelerde talaş içeriği arttıkça oksit kirliliği (Şekil 5.4) artmakta ve bunun sonucunda da yoğunluk artmakta (Şekil 5.6) ve mikroyapı bileşenleri arasındaki temasın azalmasıyla elektrik iletkenliği azalmaktadır (Şekil 5.7). Saf magnezyum talaşından üretilen MT370/mt, MT570/mt, MT740/mt ve MT1150/mt malzemelerde ise hem talaş içeriğine hem de talaş boyutuna göre yoğunluk çok fazla değişmez iken (Şekil 5.6) elektrik iletkenliği ise artan talaş içeriğine bağlı olarak artmaktadır (Şekil 5.7). Bu durum oksitin yapıda çok az ve/veya uniform dağılması sonucu mikroyapı bileşenleri (talaş ve/veya toz) arasındaki bağlanmanın iyi olmasından kaynaklanabilir.



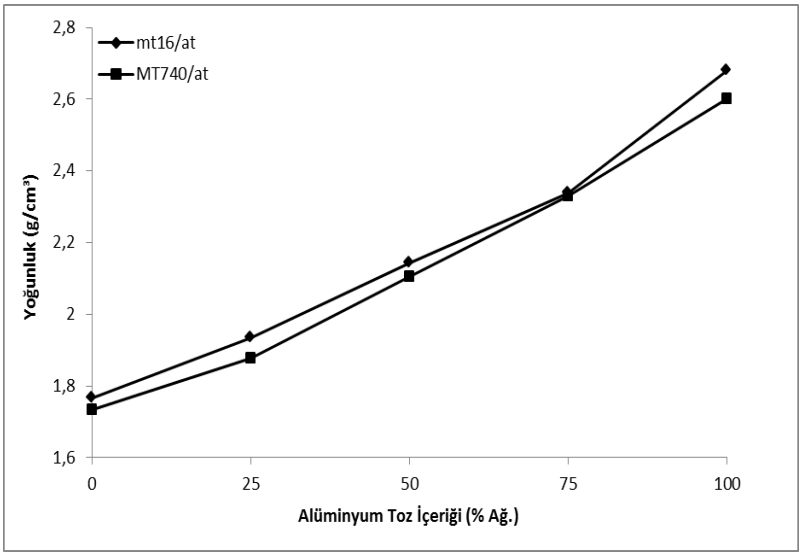
Şekil 5.6: Talaş içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin yoğunluk değişimi.



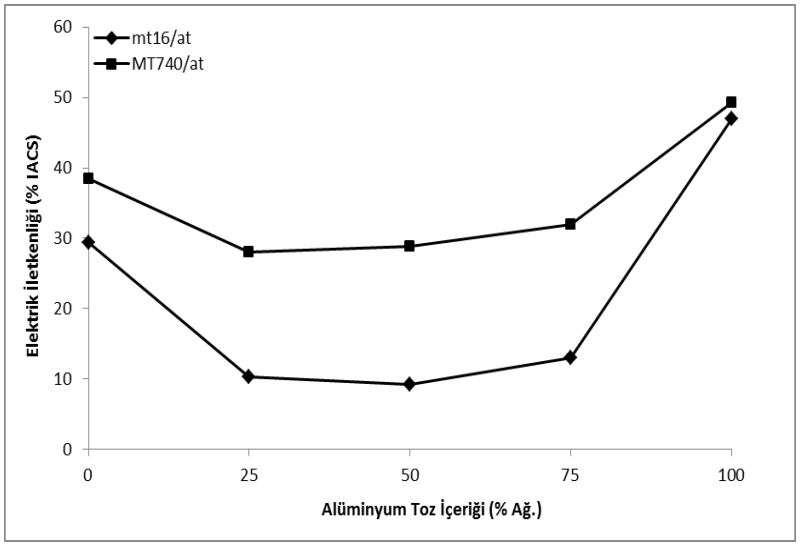
Şekil 5.7: Talaş içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin elektrik iletkenliği değişimi.

Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak MT740/at ve mt16/at malzemelerin yoğunluk ve elektrik iletkenliği ölçümleri sırasıyla Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da verilmektedir. Alüminyumun magnezyuma nazaran yüksek yoğunluğa sahip olmasından [40] dolayı alüminyum toz içeriğinin artması ile hem talaştan üretilen MT740/at malzemede hem de saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzemede yoğunluk artmaktadır (Şekil 5.8) ve düşük yoğunluk saf magnezyum talaşı ile alüminyum toz arasındaki boyut farkından kaynaklanan zayıf temastan dolayı saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemeden elde edilmiştir. Magnezyum ve alüminyum alaşımlarında elektrik iletkenliği ölçümleri, mikroyapı bileşenlerinin matris içerisinde çözünmesi ve matrisin safiyeti gibi mikroyapı gelişimi hakkında önemli bilgiler vermektedir [41]. Metallerin saflığı arttıkça elektrik iletkenliğinin arttığı göz

önüne alınacak alınırsa [42], MT740/at ve mt16/at malzemelerde alüminyum toz içeriği ağırlıkça % 25, % 50 ve % 75 olması durumunda matrisin saflığı azalmakta (Şekil 5.5) ve dolayısı ile düşük elektrik iletkenliği gözlenmiştir. Düşük elektrik iletkenliği saf magnezyum tozu ile alüminyum tozundan üretilen mt16/at malzemeden elde edilmiştir (Şekil 5.9). Bu durum yüksek elektrik iletkenliğine sahip saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemenin saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzemeye nazaran daha saf ve/veya daha az metaller arası bileşiği içeriyor olmasından kaynaklanabilir.



Şekil 5.8: Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak MT740/at ve mt16/at malzemelerde yoğunluk değişimi.



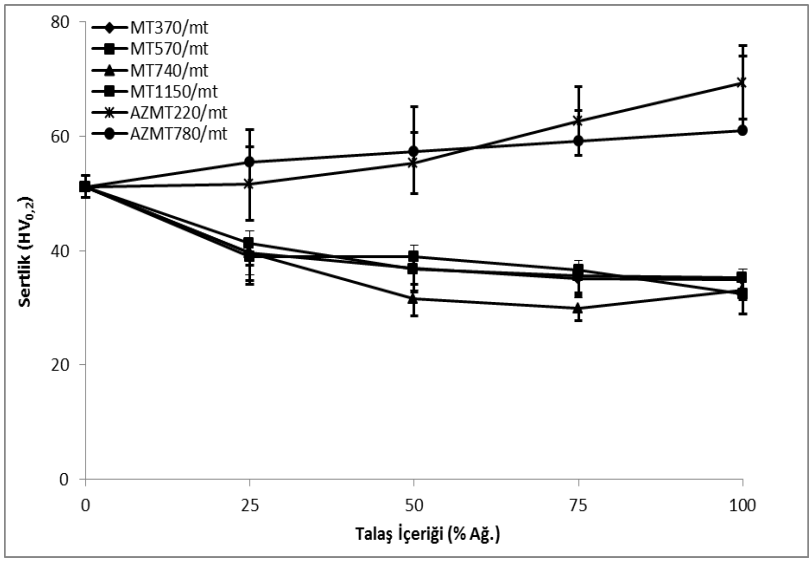
Şekil 5.9: Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak MT740/at ve mt16/at malzemelerde elektrik iletkenliği değişimi.

5.2 Mekanik Özellik Karakterizasyon Sonuçları Ve Değerlendirilmesi

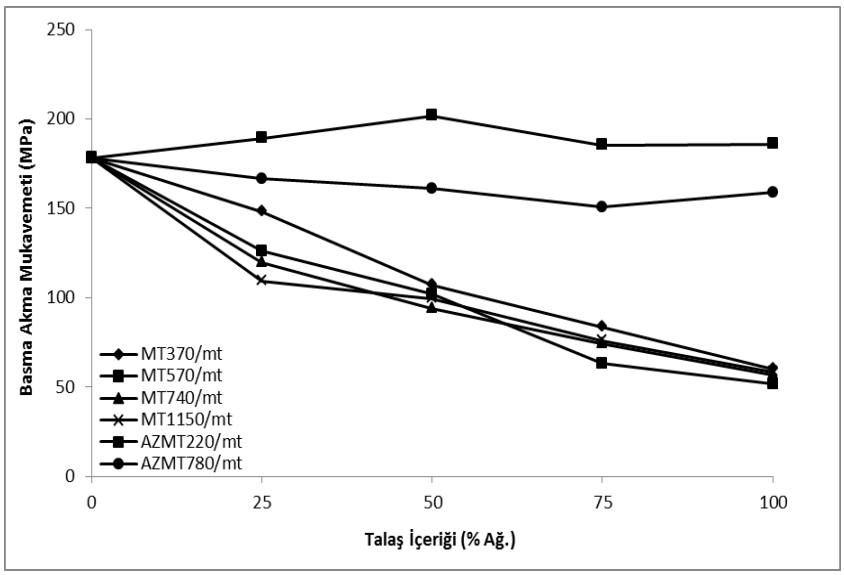
5.2.1 Sertlik ve basma deney sonuçları ve değerlendirilmesi

Talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin sertlik, akma ve basma mukavemetinin değişimi sırasıyla Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmektedir. Saf magnezyum talaşına göre AZ91 alaşım talaşı daha yüksek sertlik ve yüksek oksit içeriğine (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4) sahip olmasından dolayı, AZMT220/mt ve AZMT780/mt malzemelerin sertlik ve basma mukavemeti genel olarak saf magnezyum talaşından üretilen MT370/mt, MT570/mt, MT740/mt ve MT1150/mt malzemelerden daha yüksektir. Ayrıca alüminyum içeriği az olan magnezyum talaşına nazaran alüminyum içeriği yüksek magnezyum talaşının ergime noktası düşük olmasından dolayı [43], bu çalışmada kullanılan ekstrüzyon sıcaklığı (350°C) saf magnezyum talaşlarına göre AZ91 alaşım talaşının deformasyon sıcaklığından $0{,}5xT_{erg}$ (T_{erg}=Ergime sıcaklığı) çok yüksek olup, AZ91 alaşım talaşından üretilen malzemede deformasyon sertleşmesi ve yumuşamasının aynı anda gerçekleştiği plastik deformasyon davranışı sergilemesi beklenmektedir. Dahası magnezyum alaşımı dinamik yeniden kristalleşme ve kolay tane incelmesine izin verecek kadar düşük istif hata enerjisi enerjisine (78 $mJ \cdot m^{-2}$) sahip olmasından dolayı [25] AZ91 alaşım talaşından üretilen AZMT220/mt ve AZMT780/mt malzemelerde talaş içeriğinin artması ile sertlik ve basma mukavemetinin artması tane incelmesinin AZ91 alaşım talaşından üretilen malzemelerde daha fazla olduğu düşünülmektedir. Saf magnezyum talaşının saf magnezyum tozuna göre çok daha düşük sertliğe sahip olduğundan dolayı saf magnezyum talaşlarından üretilen MT370/mt, MT570/mt, MT740/mt ve MT1150/mt malzemelerde genel eğilim olarak talaş içeriğinin artması ile sertlik ve basma mukavemeti azalmaktadır. Saf magnezyum talaş grubundan üretilen malzemelerin sertlik ve basma mukavemetine talaş boyutunun etkisi belirgin olarak görülmemesine rağmen ince talaştan üretilen MT370/mt malzeme daha yüksek sertlik ve basma mukavemeti değerleri sergilemiştir. İnce talaştan üretilen MT370/mt malzemenin yüksek mukavemet değerlerine sahip olması toplam talaş yüzey alanı ile oksit içeriği arasındaki paralel ilişkiden kaynaklandığı [28] düşünülmektedir. AZMT220/mt ve AZMT780/mt malzeme grubunda ise talaş içeriğine bağlı olarak sertlik ve basma mukavemeti

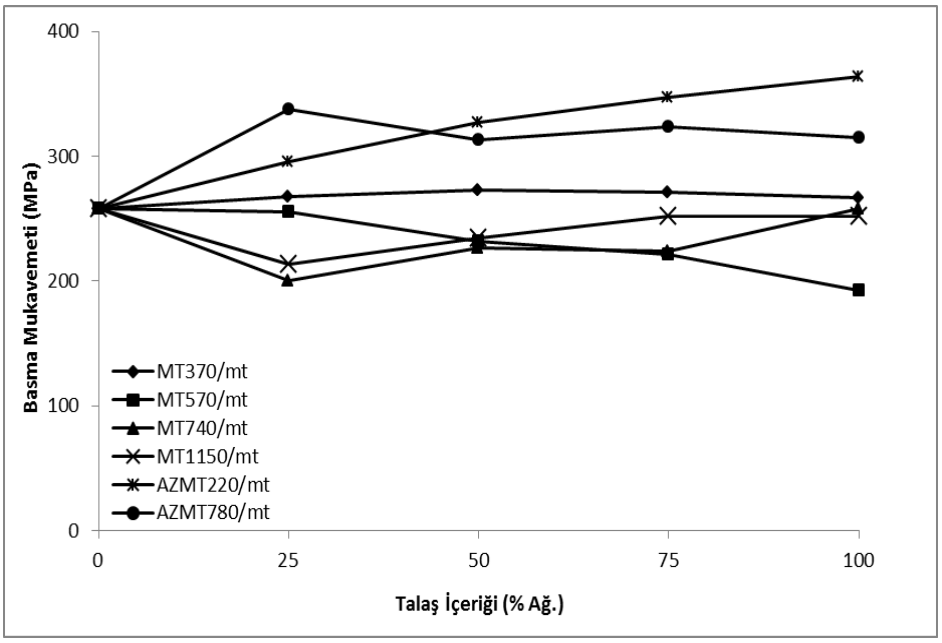
artarken, basma akma mukavemeti değerlerinde kayda değer bir fark görülmemiştir. Ancak AZ91 alaşım talaş grubunda aynı oranda talaş ve magnezyum toz içeriği kullanılmasına rağmen kaba talaştan üretilen AZMT780/mt malzeme ince talaştan üretilen AZMT220/mt malzemeye nazaran daha düşük mukavemet değerlerine sahip olması, talaş ile toz arasındaki boyut farkının büyük olmasından dolayı yapıdaki heterojenlikten, makro yapısal kusurların fazla olmasından kaynaklanabilir (Şekil 5.2 ve Şekil 5.4). Bu sonuç mikroyapı karakterizasyon sonuçları (Şekil 5.6 ve Şekil 5.7) ile de uyumludur.



Şekil 5.10: Talaş içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin sertlik değişimi.

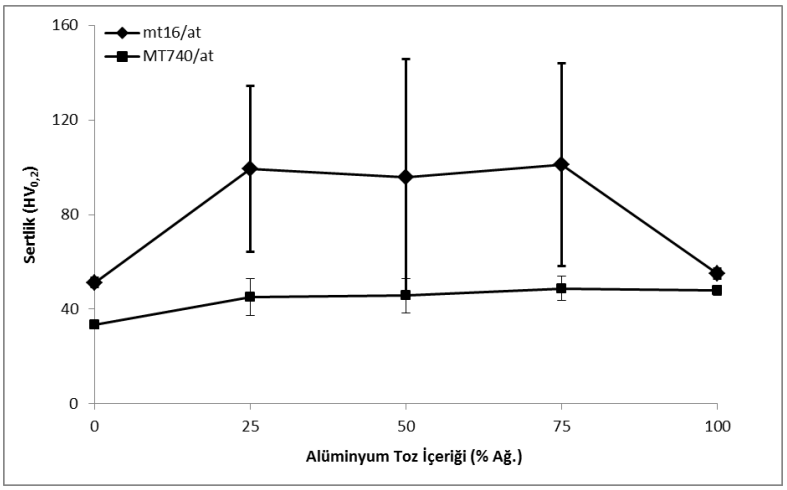


Şekil 5.11: Talaş içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin basma akma mukavemetinin değişimi.

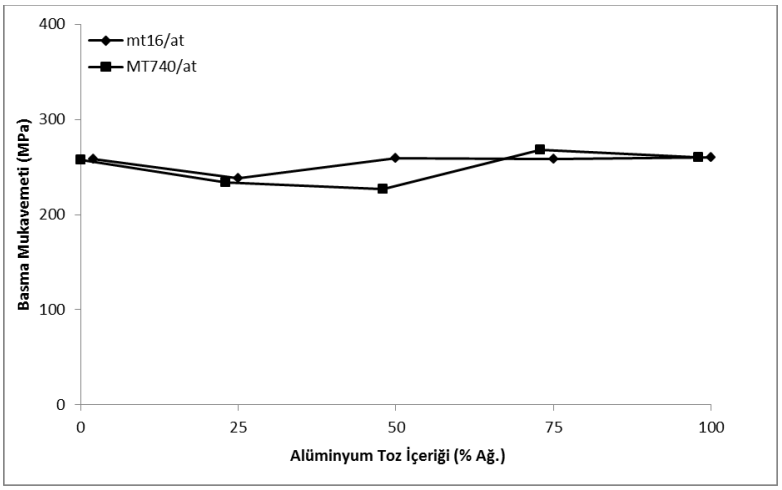


Şekil 5.12: Talaş içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin basma mukavemetinin değişimi.

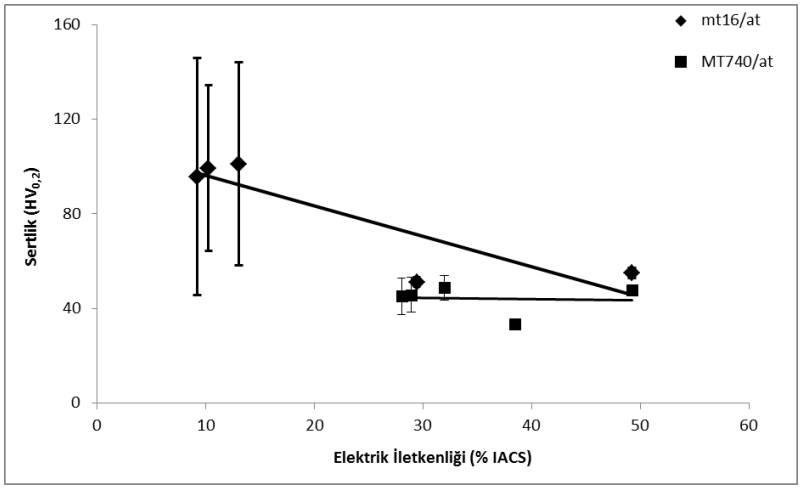
Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzeme ile saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzemenin sertlik ve basma mukavemetinin değişimi sırasıyla Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'de verilmektedir. Gerek saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzeme ve gerekse saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzemede alüminyum toz içeriği ağırlıkça % 25, % 50 ve % 75 olması durumunda düşük elektrik iletkenliği (Şekil 5.9) ve yüksek sertlik değerleri (Şekil 5.13) elde edilmiştir. İncelenen MT740/at ve mt16/at malzemelerin elektrik iletkenliğinin sertlik üzerindeki etkisi Şekil 5.15'de verilmiştir. Artan elektrik iletkenliği ile sertlikte azalma saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemeye nazaran saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzemede daha şiddetlidir. Aynı iletkenlik değerinde saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzemenin saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemeye göre standart sapması yüksek sertlik değerlerine sahip olması saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzemede daha yoğun metaller arası bileşiğinin kümelenmesi ile ilgili olabilir (Şekil 5.9 ve Şekil B.7) [40]. Ancak hem saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemede hem de saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzemenin artan alüminyum toz içeriğine bağlı olarak basma mukavemetinde kayda değer bir fark görülmemiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.13: Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin sertlik değişimi.



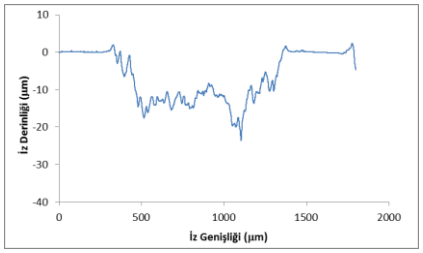
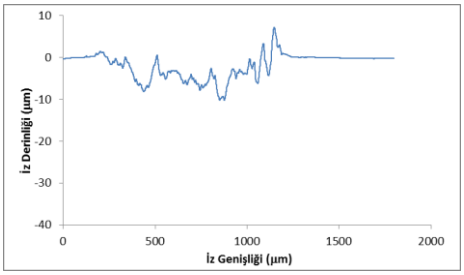
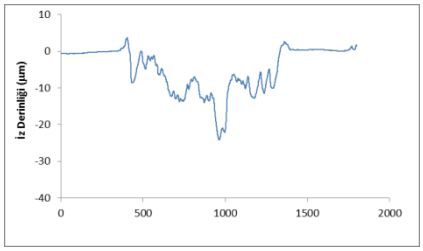
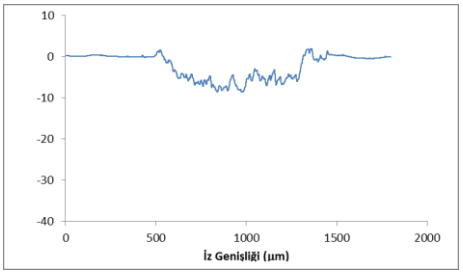
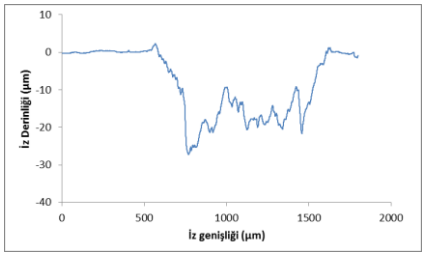
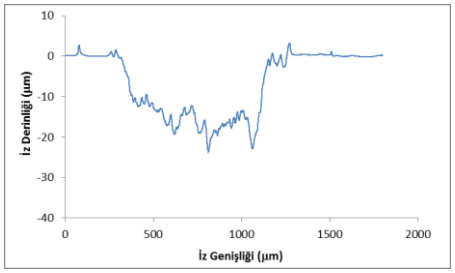
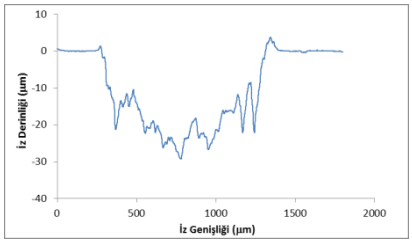
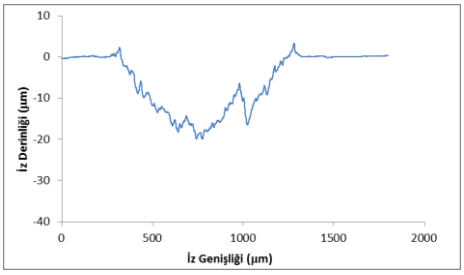
Şekil 5.14: Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak talaş ve magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin basma mukavemeti değişimi.



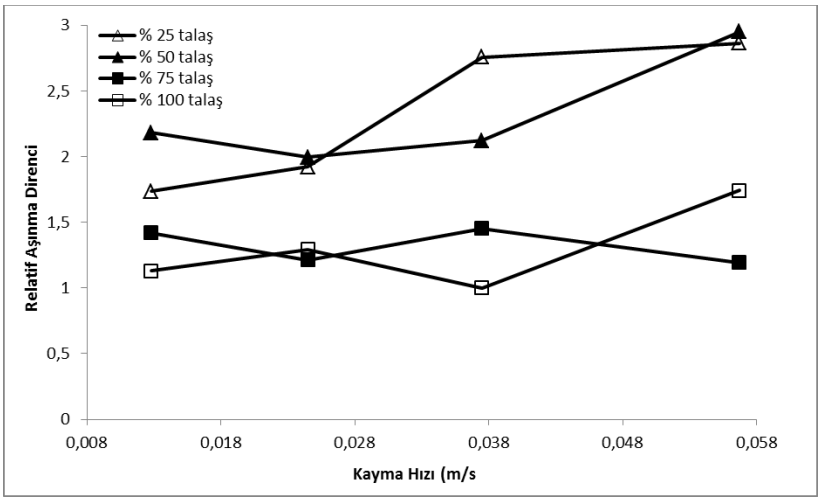
Şekil 5.15: İncelenen MT740/at ve mt16/at malzemelerin sertliğinin elektrik iletkenliğine bağlı olarak değişimi.

5.2.2 Aşınma deney sonuçları ve değerlendirilmesi

Bu çalışmada 220 μm boyutundaki AZ91 alaşım talaşı ile magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin iki boyutlu profilometre görüntüleri en düşük ve en yüksek kayma hızları için Şekil 5.16'da verilmiştir. Malzeme yüzeyinde oluşan aşınma iz genişliği ve derinliği bilgilerinden yararlanılarak aşınma iz alanları belirlenmiştir. En çok aşınan malzemenin (0,0375 m/s kayma hızı altında ağırlıkça %100 talaş içeren alaşım) aşınma direnci 1,0 kabul edilerek diğer malzemelerin aşınma dirençleri relatif olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada incelenen malzemelerin kayma hızına bağlı olarak relatif aşınma dirençlerinin değişimi Şekil 5.17'de verilmiştir. Çelik bilye ile yapılan aşınma testlerinde artan kayma hızına bağlı olarak yüksek sertlik ve basma mukavemetine sahip olan ağırlıkça % 75 ve % 100 talaş içeren AZMT220/mt malzeme hemen hemen benzer aşınma direnci sergilerken, düşük sertlik ve mukavemet sergileyen ağırlıkça % 25 ve % 50 talaş içeren AZMT220/mt malzemenin ise aşınma direnci yükselmektedir (Şekil 5.17).

Talaş İçeriği (% Ağ.)	Kayma Hızı (m/s)	
	0.0128	0.0567
25		
50		
75		
100		

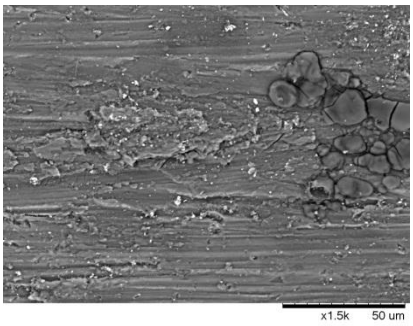
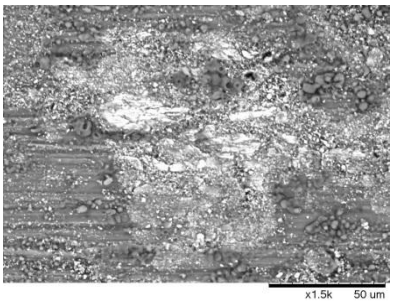
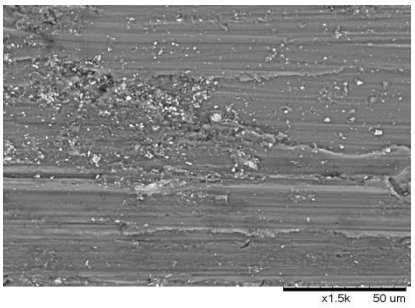
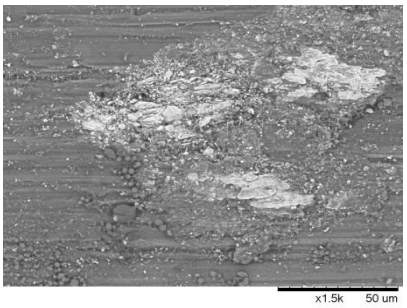
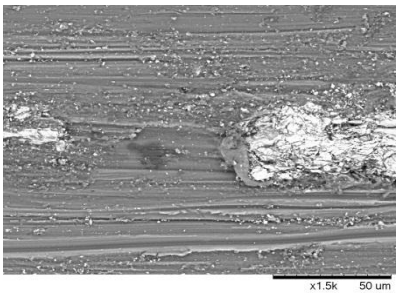
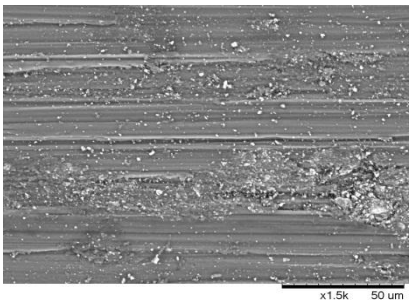
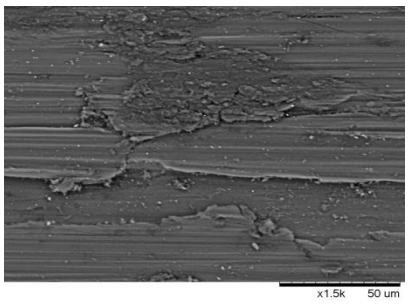
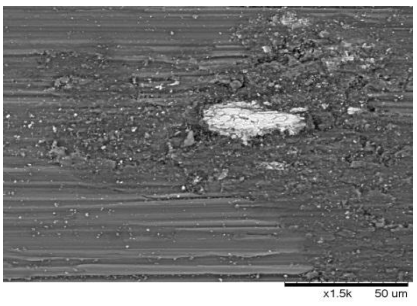
Şekil 5.16: Talaş içeriğine bağlı olarak en düşük ve en yüksek kayma hızları için AZMT220/mt malzemelerin aşınma testi sonrası 2 boyutlu iz profilleri.



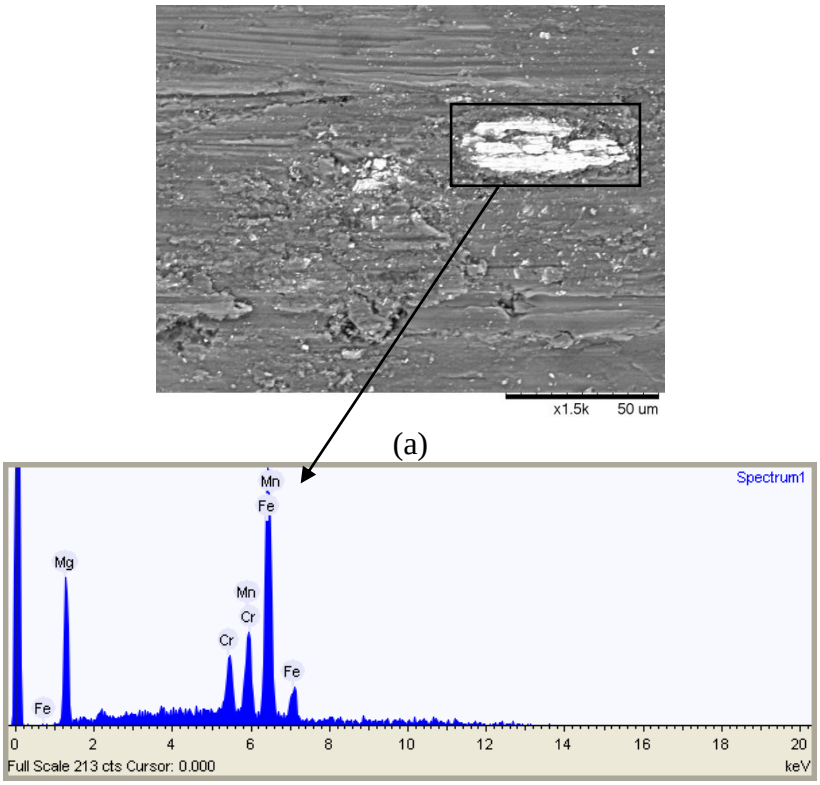
Şekil 5.17: Kayma hızına bağlı olarak AZMT220/mt malzemelerin relatif aşınma direnci değişimi.

Şekil 5.18'de talaş içeriğine bağlı olarak en düşük ve en yüksek kayma hızları için AZMT220/mt malzemelerin yüzeylerinde oluşan aşınma izlerinin yüksek büyütmeli taramalı elektron mikroskop görünümleri yer almaktadır. Şekil 5.18' den de görüleceği gibi talaş içeriğine bağlı olarak AZMT220/mt malzemenin aşınma yüzeyinde, şiddeti kayma hızına göre değişen kayma yönünde yivler ve yüzeyden malzeme kaybını işaret eden hasar bölgeleri mevcuttur. Genel eğilim olarak ağırlıkça % 75 ve % 100 talaş içeren AZMT220/mt malzemelerde kayma hızı arttıkça aşınma yüzeyi nispeten orta boyutlu hasar bölgeleri içerirken (Şekil 5.18), ağırlıkça % 25 ve % 50 talaş içeren AZMT220/mt malzemelerde ise kayma hızına bağlı olarak aşınma yüzeyine ait hasar bölgelerinin boyutu nispeten küçük ve daha az pürüzlüdür (Şekil 5.18). Mikroyapı bileşenleri aynı olan malzemelerde elektrik iletkenliğinin artması bağlanmanın önemli miktarda iyileştiğini göstermektedir. Ağırlıkça % 75 ve % 100 talaş içeren AZMT220/mt malzemelere nazaran nispeten düşük mukavemet ve yüksek elektrik iletkenliğine sahip ağırlıkça % 25 ve % 50 talaş içeren AZMT220/mt malzemelerin aşınma yüzeyinde hafif abrasiv aşınma mekanizması olan pulluklama aşınma izini temsil eden yivlerden kenara doğru malzeme transferi oluşmuştur. Ancak yüksek mukavemet ve düşük elektrik iletkenliği sergileyen ağırlıkça % 75 ve % 100 talaş içeren AZMT220/mt malzemelerin aşınma yüzeyinde şiddetli abrasiv aşınma mekanizması olan mikrokesme şeklinde yüzeyden malzeme talaş olarak ayrılmaktadır [2].

Şekil 5.19’ dan da görüleceği gibi özellikle düşük talaş içeriğine sahip AZMT220/mt malzemelerde kayma hızı arttıkça çelik bilyeden malzemelerin aşınma yüzeyine malzeme transferi olmaktadır. Şekil 5.19 a’da görülen ve açık renkli adacıklar şeklinde oluşan yapılarda gerçekleştirilen EDS analiz sonucunda bu adacıkların Fe, Cr, Mn ve O bakımından zengin (örnek olarak demir oksit verilebilir) oldukları belirlenmiştir (Şekil 5.19 b). Aung ve arkadaşları [44] 0,01 - 0,1 m/s kayma hızlarında çalışan AZ91D magnezyum alaşımlarında abrasiv ve delaminasyon aşınma mekanizmalarının yanısıra en baskın aşınma mekanizmasının oksidasyon olduğu, bu çalışmanın sonucu ile uyumlu olarak, rapor etmiştir.

Talaş İçeriği (% Ağ.)	Kayma Hızı (m/s)	
	0.0128	0.0567
25		
50		
75		
100		

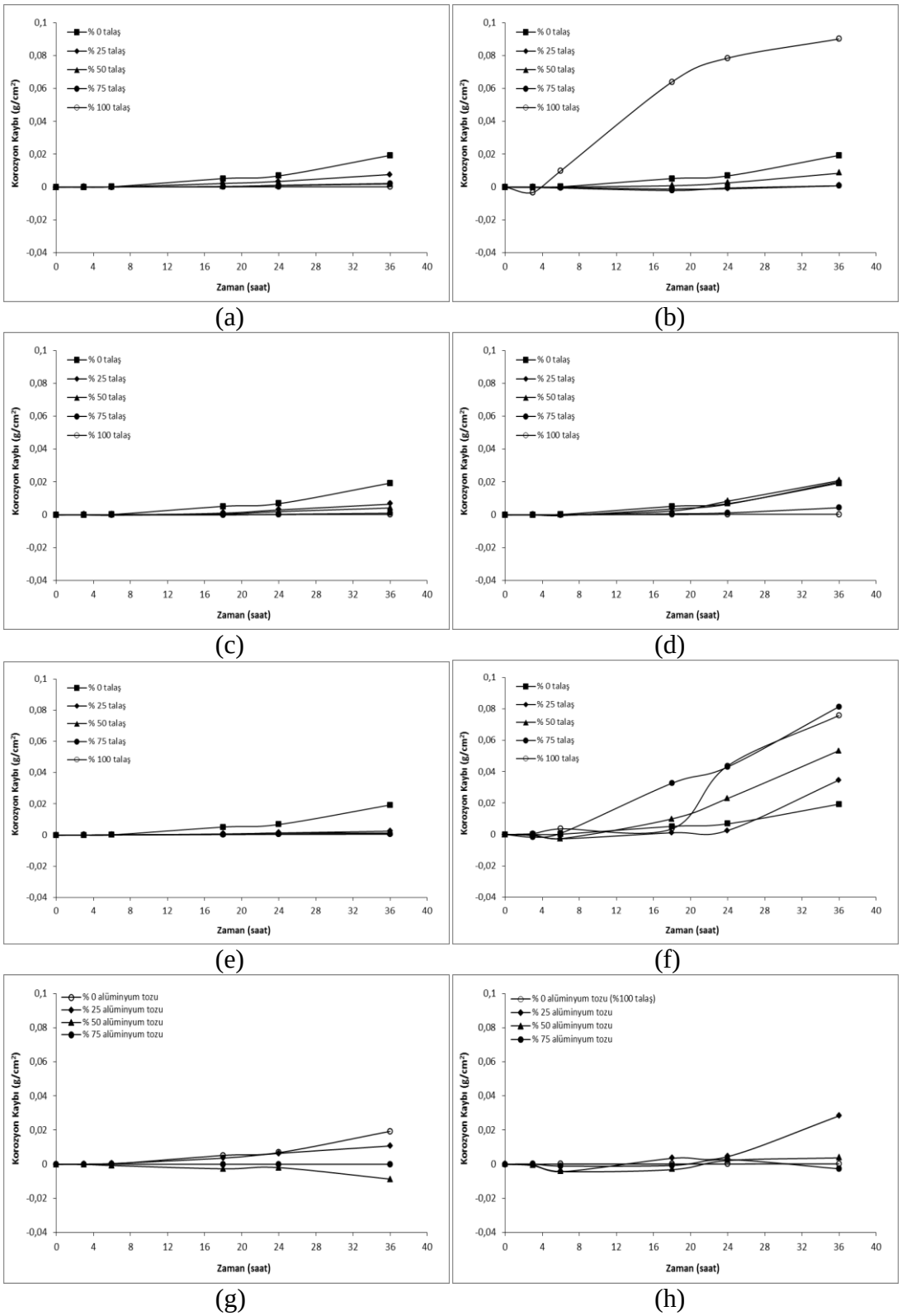
Şekil 5.18: Talaş içeriğine bağlı olarak en düşük ve en yüksek kayma hızları için AZMT220/mt malzemelerin yüzeyinde oluşan aşınma izlerine ait taramalı elektron mikroskobu görünümleri.



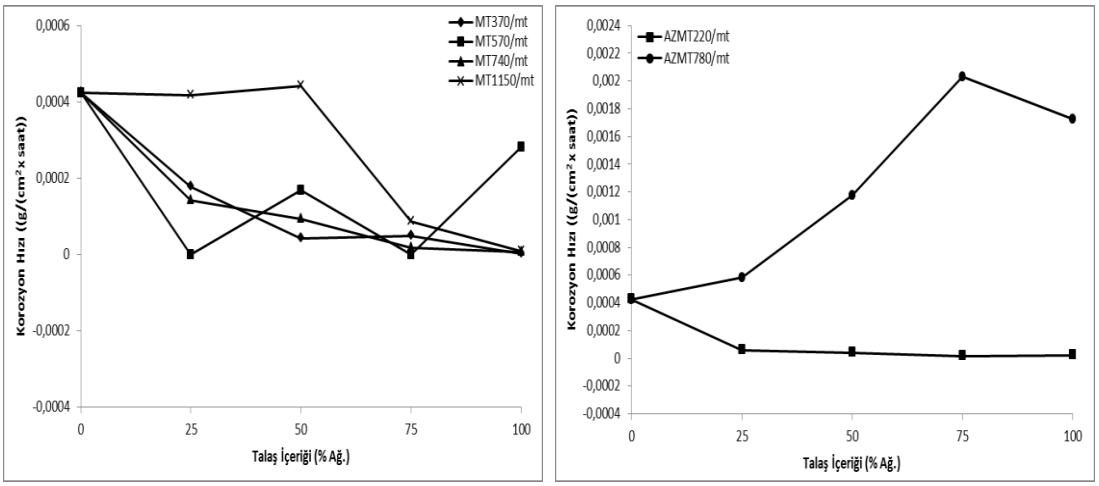
Şekil 5.19: Aşınma testlerinde ağırlıkça % 50 talaş içeren AZMT220/mt malzeme yüzeyine sürten çelik bilye tarafından oluşturulan taramalı elektron mikroskop (a) aşınma izi görüntüsü ve (b) iz içerisinde açık renkli adacıklardan alınmış EDS analiz sonucu.

5.3 Korozyon Deney Sonuçları Ve Değerlendirilmesi

Korozyon deneylerinin sonuçları, incelenen malzemelerin birim yüzey alanı başına ağırlık kayıplarının (normalize ağırlık kaybı) zamana göre değişimi Şekil 5.20'de verilmiştir. Şekil 5.20'de görüldüğü gibi korozyon çözeltisi içinde artan tutma süresine bağlı olarak normalize ağırlık kaybı artmaktadır. Bu doğruların eğiminden korozyon hızı (g/(cm^2*saat)) belirlenmiştir. Korozyon hızının talaş ve alüminyum toz içeriğine bağlı olarak değişimi Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de sunulmuştur.



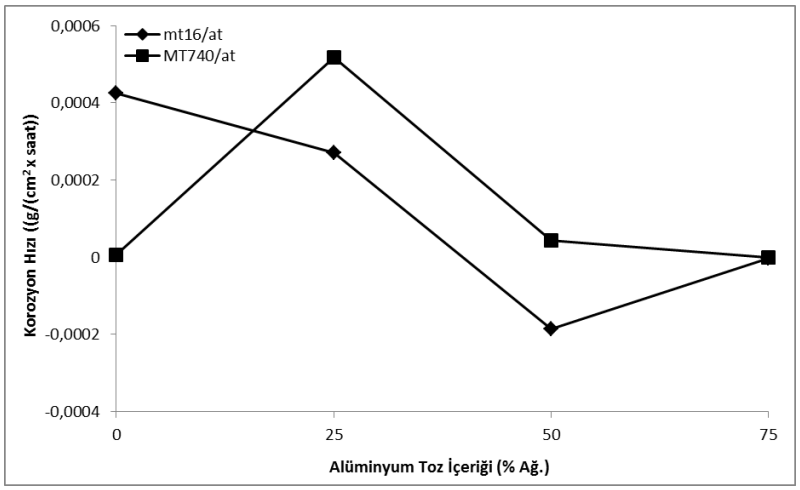
Şekil 5.20: Talaş ve alüminyum toz içeriğine bağlı olarak (a) MT370/mt, (b)MT570/mt, (c) MT740/mt, (d) MT1150/mt, (e) AZMT220/mt, (f) AZMT780/mt, (g) mt16/at ve (h) MT740/at malzemelerin ağırlık kayıplarının zamana göre değişimi.



(a) (b)

Şekil 5.21: (a) Saf magnezyum talaşı ile magnezyum toz ve (b) AZ91 alaşım talaşı ile magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin talaş içeriğine bağlı olarak korozyon hızının değişimi.

Saf magnezyum talaşı ile magnezyum toz karışımından hazırlanan malzemelerde artan talaş içeriğine bağlı olarak korozyon saldırısının azaldığı gözlenmiştir (Şekil 5.21 a). Bununla birlikte kararsız korozyon davranışı sergileyen MT570/mt malzeme hariç genel eğilim kaba talaştan üretilen MT1150/mt malzeme, ince talaştan üretilen MT370/mt ve MT740/mt malzemelere nazaran nispeten yüksek korozyon hızı sergilemektedir (Şekil 5.21 a). AZ91 alaşım talaşı ile üretilen malzemelerde ise aynı oranda talaş ve magnezyum toz içeriği kullanılmasına rağmen talaş ile toz arasındaki boyut farkının büyük olmasından dolayı yapısal heterojenlik, makro kusur (Şekil 5.2) ve kirlilik oranı yüksek olan kaba talaştan üretilen AZMT780/mt malzemenin artan talaş içeriğine bağlı olarak korozyon hızı artarken, ince talaştan üretilen AZMT220/mt malzeme saf magnezyum talaşından üretilen malzemelere benzer olarak talaş içeriği arttıkça korozyon hızı azalmaktadır (Şekil 5.21 b). Chino ve arkadaşları [45], magnezyum talaşlarının ergitme olmaksızın sıcak ekstrüzyon yöntemi ile geri kazanılması durumunda ekstrüzyon yönünde paralel dağılan oksit ağ yapısının magnezyum alaşımlarının korozyon direncini olumlu yönde etkilediğini, Cl^- iyonlarının magnezyum metaline nüfuziyetini güçleştirdiğini ve talaş boyutunun oksit konsantrasyonunu kontrol eden önemli faktörlerden biri olduğunu rapor etmiştir, bu çalışmada da bu bulgu ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 5.21).



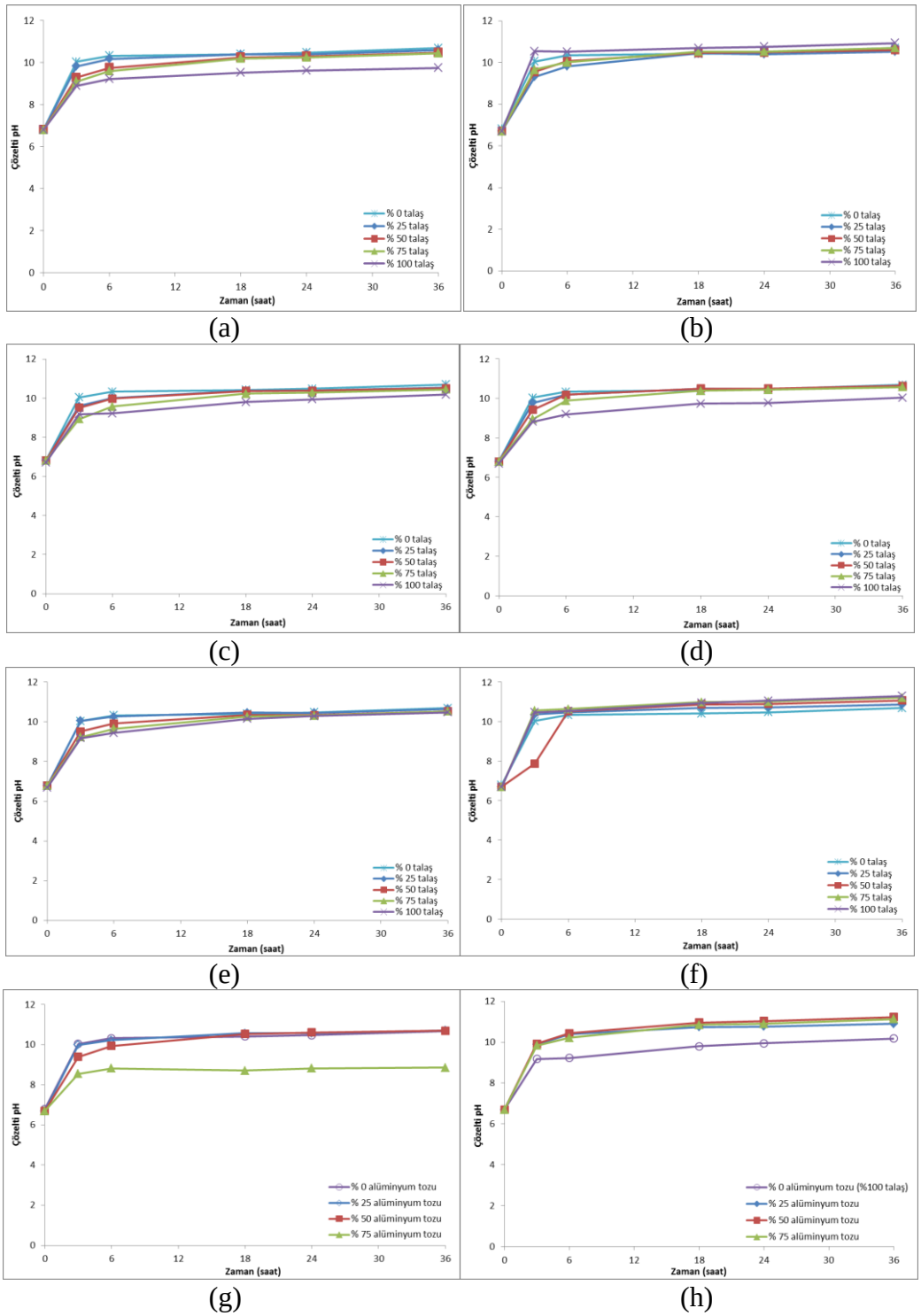
Şekil 5.22: Saf magnezyum tozu ve saf magnezyum talaşından hazırlanan malzemelerin alüminyum toz içeriğine bağlı olarak korozyon hızının değişimi.

Alüminyum toz içeriğinin artması ile saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzemenin korozyon hızı azalırken, saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemede ise artan alüminyum toz içeriğine bağlı olarak önce korozyon hızı artmakta daha sonra ağırlıkça % 100 talaş içeren MT740 malzemenin korozyon hızına ulaşılmıştır (Şekil 5.22). Nordlien ve arkadaşları (1996) magnezyum alaşımlarından alüminyum içeriğinin % 4'ün üzerinde olması durumunda oksit tabakasının sürekli iskelet yapısında ve alüminyum oksit tabakasının $Mg(OH)_2$ ve MgO tabakalarından daha iyi pasifleştirme özelliğine sahip olduğunu bildirmişlerdir [46]. Böylece alüminyum ilavesi ile oksit tabakasındaki alümina oluşumu ile mt16/at ve MT740/at malzemelerin korozyon direncinin arttığı düşünülmektedir. Diğer taraftan ağırlıkça % 25 alüminyum toz içeren saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemede oksit oluşumu için alüminyumun tükenmesi toplam çözünen alüminyum element miktarını azaltmakta ve böylece korozyon hızı artmış olabilir. Ancak alüminyum toz içeriğinin % 25'in üzerinde olması durumunda tekrar korozyon hızı azalmaktadır.

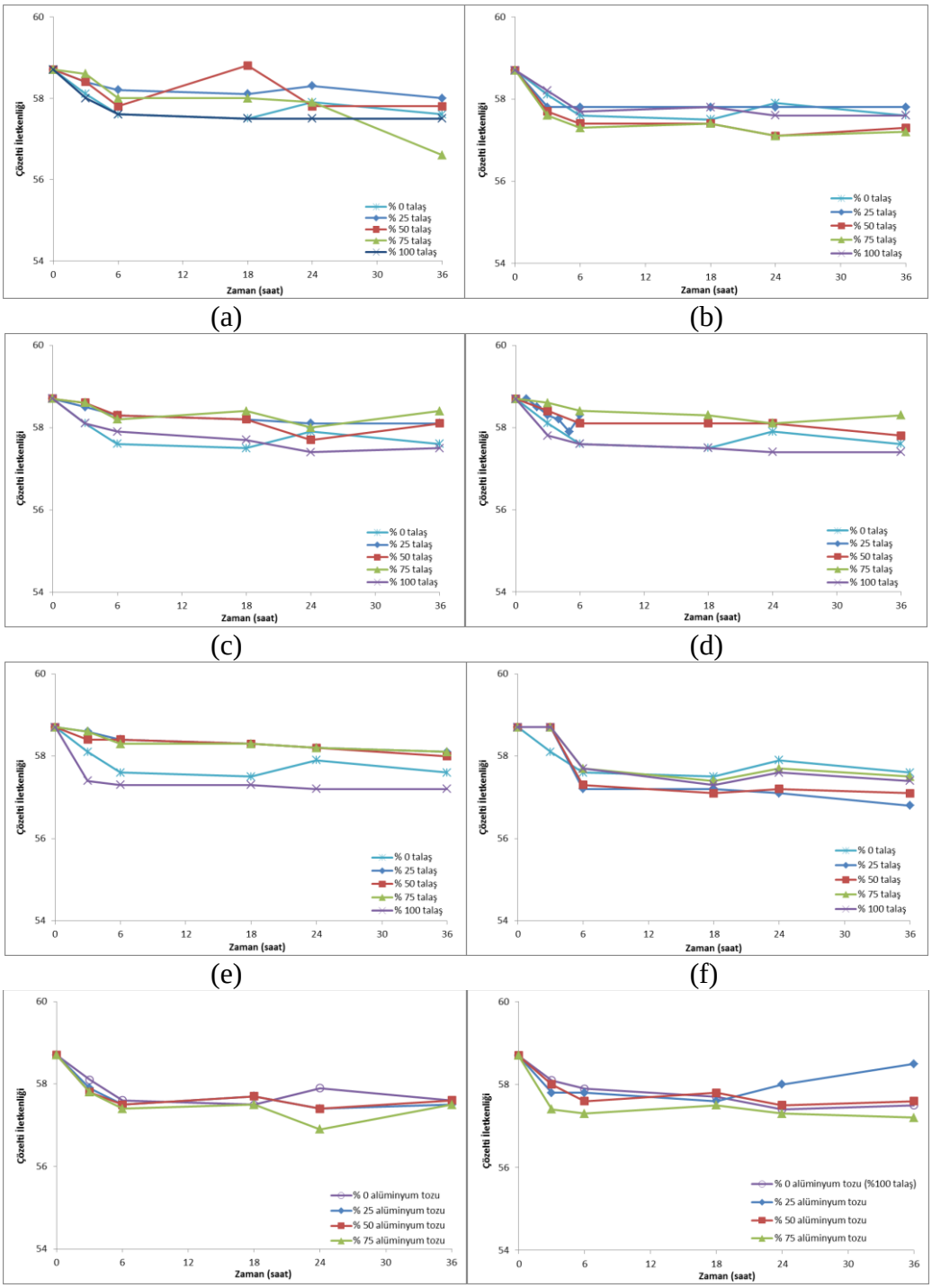
Saf magnezyum talaşı ve ince AZ91 alaşım talaşından üretilen malzemelerin korozyon deneyleri süresince genel eğilim azalan talaş içeriğine bağlı olarak çözeltinin pH değeri daha hızlı ve daha yüksek değerlere artarken (Şekil 5.23), iletkenliği de (Şekil 5.24) artan talaş içeriğine bağlı olarak daha hızlı ve daha düşük değerlere azalmıştır.

Korozyon davranışları incelenen saf magnezyum talaşı ve AZ91 alaşım talaşından üretilen malzemelerin SEM'de çekilmiş korozyon yüzey görünümleri sırasıyla Şekil

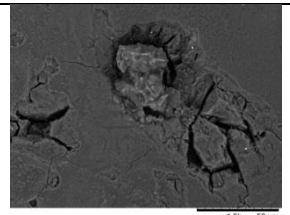
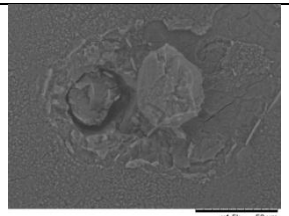
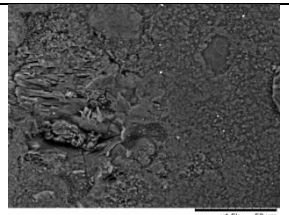
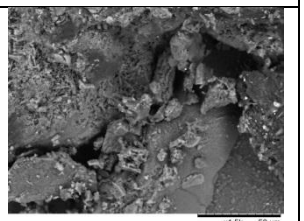
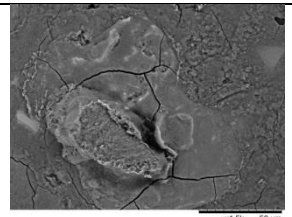
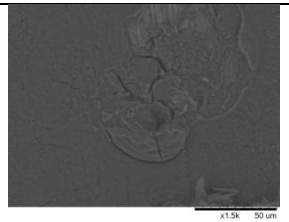
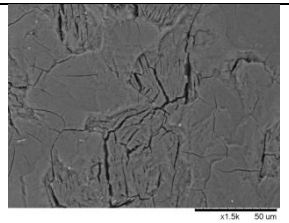
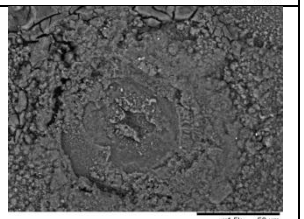
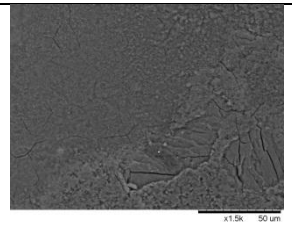
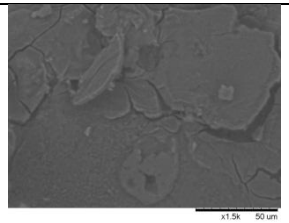
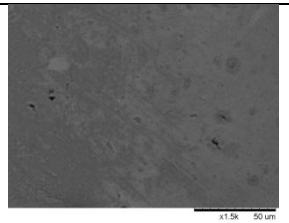
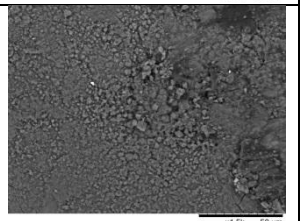
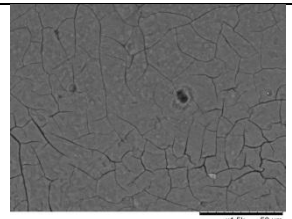
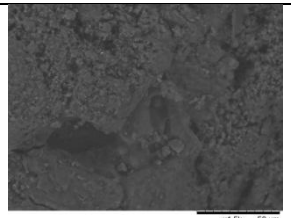
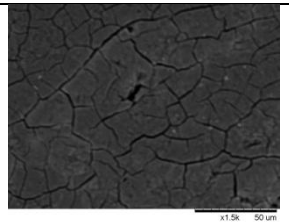
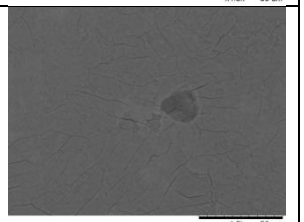
5.25 ve Şekil 5.26'da verilmiştir. Bu malzemelerin tümünde lokalize korozyon ve korozyon oyuklarının oluştuğu görülmektedir. Mikroskobik incelemeler, genel eğilim olarak saf magnezyum talaşından üretilen MT370/mt, MT740/mt, MT1150/mt malzemeler ile ince AZ91 alaşım talaşından üretilen AZMT220/mt malzemelerde artan talaş içeriğine bağlı olarak pürüzlülük azalmakta olup ve korozyona uğramayan bazı bölgelerin ekstrüzyon yönüne paralel dağıldığı gözlenmektedir. Ayrıca, talaş/toz temas sınır bölgeleri fiziksel korozyona engel olarak düşünülebilir. Talaş boyutunun incelmesi ile daha yoğun temas sınırı oluşmakta ve toplam talaş yüzey alanı artmaktadır. Toplam talaş yüzey alanı yüksek olan magnezyum alaşımlarında oksit miktarının yüksek olacağı Wu ve arkadaşları (2009) tarafından bildirilmiştir [28]. Bu çalışmada da genel eğilim olarak ince talaştan üretilen malzemelere nazaran kaba talaştan üretilen malzemelerin yüzeyinde daha yoğun korozyon saldırısı olduğu görülmektedir. Bu nedenle daha az fiziksel engel ve daha az oksit içeren kaba talaştan üretilen malzemelerin korozyon hızı yüksek olmaktadır. Ancak kaba talaştan üretilen AZMT780/mt malzemelerde artan talaş içeriğine bağlı olarak aşırı kirlilik (Şekil 5.2) lokalize olmuş galvanik korozyon bölgeleriyle sonuçlanan oyukların çekirdeklenmesini teşvik ederek korozyon saldırısının şiddeti artmaktadır (Şekil 5.26).



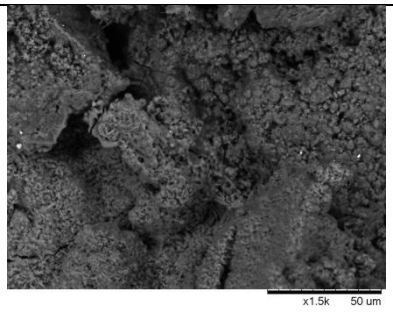
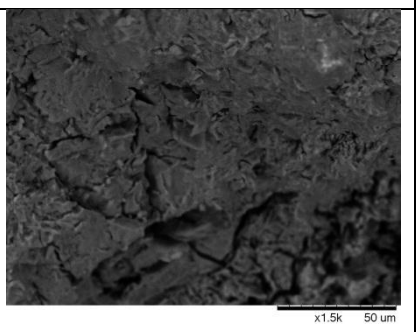
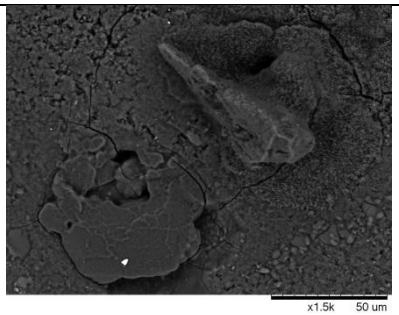
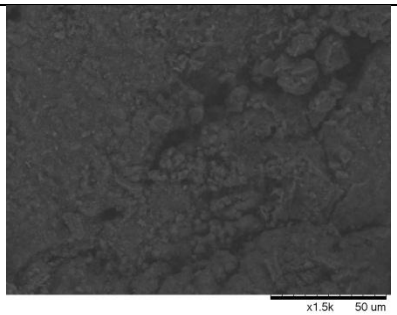
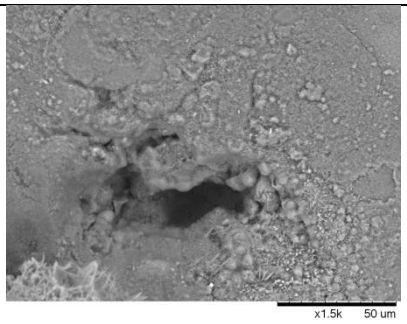
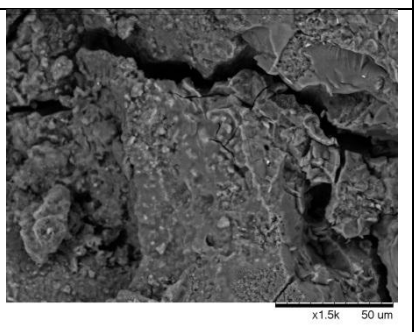
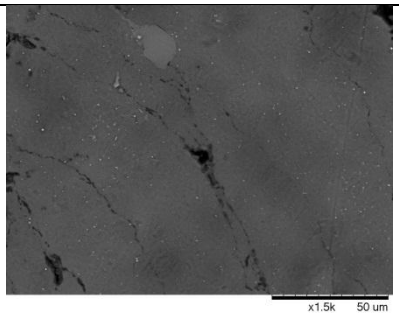
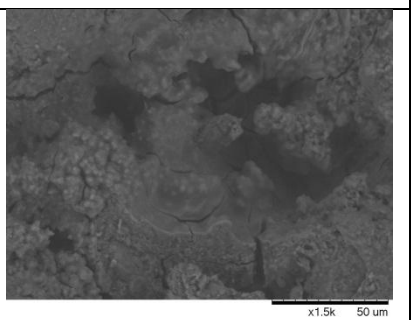
Şekil 5.23: Talaş ve alüminyum toz içeriğine bağlı olarak (a) MT370/mt, (b)MT570/mt, (c) MT740/mt, (d) MT1150/mt, (e) AZMT220/mt, (f) AZMT780/mt,(g) mt16/at ve (h) MT740/at malzemelerin çözelti pH değerlerinin zamana göre değişimi.



Şekil 5.24: Talaş ve alüminyum toz içeriğine bağlı olarak (a) MT370/mt, (b) MT570/mt, (c) MT740/mt, (d) MT1150/mt, (e) AZMT220/mt, (f) AZMT780/mt, (g) mt16/at ve (h) MT740/at malzemelerin çözelti iletkenliği değerlerinin zamana göre değişimi.

Talaş İçeriği (% Ağ.)	Malzeme			
	MT370/mt	MT570/mt	MT740/mt	MT1150/mt
25				
50				
75				
100				

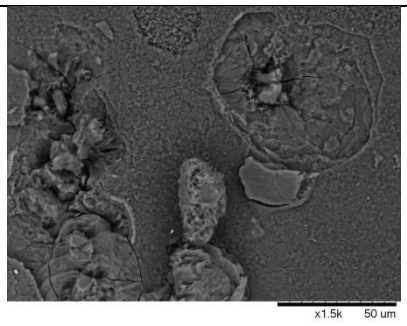
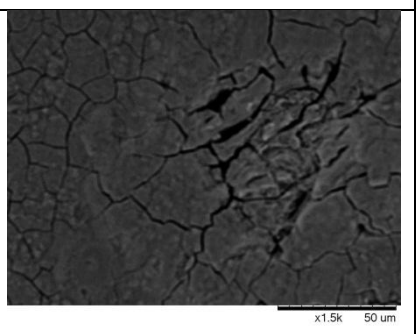
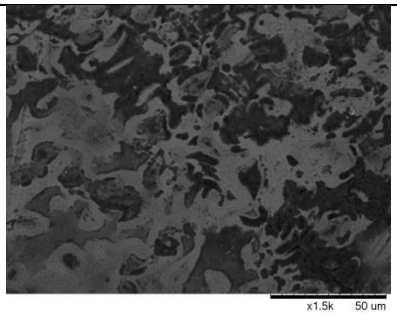
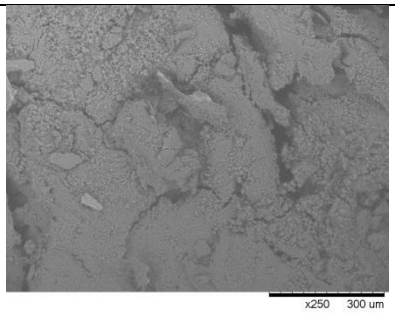
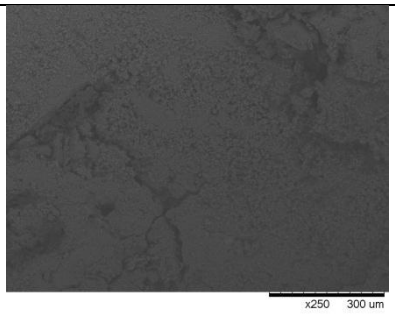
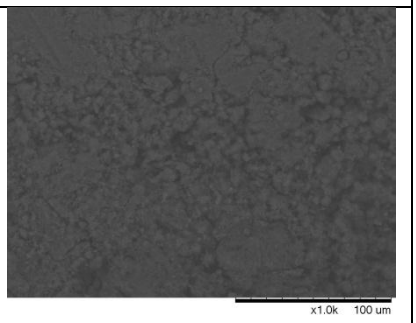
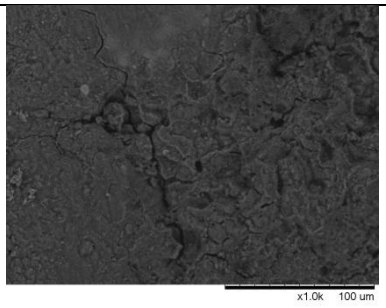
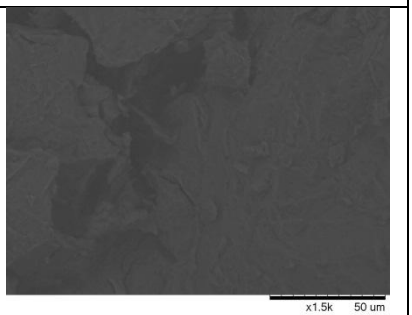
Şekil 5.25: Saf magnezyum talaşından üretilen malzemelerin talaş içeriğine bağlı olarak korozyon SEM görünümleri.

Talaş İçeriği (% Ağ.)	Malzeme	
	AZMT220/mt	AZMT780/mt
25		
50		
75		
100		

Şekil 5.26: AZ91 alaşım talaşından üretilen malzemelerin talaş içeriğine bağlı olarak korozyon SEM görünümleri.

Korozyon davranışları incelenen mt16/at ve MT740/at malzemelerin SEM'de çekilmiş yüzey görünümleri Şekil 5.27'de verilmiştir. Saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzemenin korozyon saldırısına saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemeye nazaran daha az duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Genel eğilim

olarak alüminyum toz içeriği arttıkça korozyon saldırısının şiddeti azalmaktadır. Bu durum, korozyon SEM görüntüleriyle de teyit edilmiştir (Şekil 5.27).

Alüminyum Toz İçeriği (% Ağ.)	Malzeme	
	mt16/at	MT740/at
0		
25		
50		
75		

Şekil 5.27: Saf magnezyum tozu ve saf magnezyum talaşından hazırlanan malzemelerin alüminyum toz içeriğine bağlı olarak korozyon SEM görünümleri.

6. GENEL SONUÇLAR

1. Magnezyum talaşı ile magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin mikroyapı çalışmalarında, talaş ve tozun ekstrüzyon yönünde birbirine alternatif olacak şekilde uzamış katmanlı yapıda olduğunu, farklı boyutlardaki talaştan üretilen magnezyum malzemelerinde aynı oranda talaş/toz içeriği kullanılmasına rağmen talaş boyutu arttıkça üretilen magnezyum malzemelerinde daha yoğun talaşın olduğu görülmüştür. Yüksek yoğunluk ve düşük elektrik iletkenliği, kaba talaştan üretilen AZMT780/mt malzemede tespit edilmiştir. AZ91 alaşım talaşından üretilen AZMT220/mt ve AZMT780/mt malzemelerde talaş içeriği arttıkça yoğunluk artmış ve elektrik iletkenliği azalmıştır. Saf magnezyum talaşından üretilen MT370/mt, MT570/mt, MT740/mt ve MT1150/mt malzemelerde ise hem talaş içeriğine hem de talaş boyutuna göre yoğunluk çok fazla değişmez iken elektrik iletkenliği ise artan talaş içeriğine bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Saf magnezyum talaşından üretilen malzemeler üzerinde yapılan XRD analizlerinde oksit oluşumuna rastlanmamıştır. Ancak AZ91 alaşım talaşından üretilen malzemelerin XRD analizlerinde oksit oluşumu tespit edilmiştir. AZ91 alaşım talaşından üretilen AZMT220/mt ve AZMT780/mt malzemelerin sertlik ve basma mukavemeti genel olarak saf magnezyum talaşından üretilen MT370/mt, MT570/mt, MT740/mt ve MT1150/mt malzemelerden daha yüksektir. Saf magnezyum talaşlarından üretilen MT370/mt, MT570/mt, MT740/mt ve MT1150/mt malzemeler genel eğilim olarak talaş içeriği arttıkça ile sertlik ve basma mukavemeti azalma eğilimi göstermiştir. Ancak AZ91 alaşım talaşından üretilen AZMT220/mt ve AZMT780/mt malzemelerde ise talaş içeriğine bağlı olarak sertlik ve basma mukavemeti artarken, basma akma mukavemeti değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir.

2. Saf magnezyum talaşı ile alüminyum toz karışımından hazırlanan malzemelerin (MT740/at) mikroyapı incelemesi sonucunda, açık renkli düzensiz bölgeler ile koyu renkli bölgelerin ekstrüzyon yönünde birbirine alternatif olacak şekilde uzamış katmanlı yapıda olduğu belirlenmiştir. Saf magnezyum tozu ile alüminyum toz karışımından hazırlanan malzeme (mt16/at) grubunda da siyah gri renkli bölge α-Mg fazını, beyaz ağ yapılı bölge ise β-$Mg_{17}Al_{12}$ metaller arası bileşiği temsil etmektedir

ve ağırlıkça %50 alüminyum toz içeren alaşımda β-$Mg_{17}Al_{12}$ fazına ait kümelenmeler artmıştır. MT740/at ve mt16/at malzemelerin XRD analizlerinde alüminyum, α-Mg ve β-$Mg_{17}Al_{12}$ pikleri tespit edilmiştir. Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak hem saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemede hem de saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzemede yoğunluk artmış ve düşük yoğunluk saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemeden elde edilmiştir. MT740/at ve mt16/at malzemelerinde alüminyum toz içeriği ağırlıkça % 25, % 50 ve % 75 olması durumunda düşük elektrik iletkenliği ve yüksek sertlik değerleri gözlenmiştir. Aynı iletkenlik değerinde saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzeme saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemeye göre standart sapması yüksek sertlik değerlerine sahiptir. Ancak hem saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemede hem de saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzemede artan alüminyum toz içeriğine bağlı olarak basma mukavemetinde kayda değer bir fark görülmemiştir.

3. 220 μm boyutundaki AZ91 alaşım talaşı ile magnezyum toz karışımlarından hazırlanan malzemelerin çelik bilye ile yapılan aşınma testlerinde artan kayma hızına bağlı olarak yüksek mukavemet ve düşük elektrik iletkenliğine sahip olan ağırlıkça % 75 ve % 100 talaş içeren AZMT220/mt malzemenin aşınma direncinde kayda değer bir fark görülmez iken, düşük mukavemet ve yüksek elektrik iletkenliğine sahip ağırlıkça % 25 ve % 50 talaş içeren AZMT220/mt malzemenin ise aşınma direncinin arttığı gözlenmiştir.

4. Ağırlık kaybı yöntemi ile yapılan korozyon deney sonuçlarına göre saf magnezyum talaşı ile magnezyum toz karışımından hazırlanan malzemelerde artan talaş içeriğine bağlı olarak korozyon direnci artmaktadır. Bununla birlikte kararsız korozyon davranışı sergileyen MT570/mt malzeme hariç genel eğilim kaba talaştan üretilen MT1150/mt malzeme, ince talaştan üretilen MT370/mt ve MT740/mt malzemelere göre korozyon direncinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. AZ91 alaşım talaşı ile üretilen malzemelerde ise aynı oranda talaş ve magnezyum toz içeriği kullanılmasına rağmen kaba talaştan üretilen AZMT780/mt malzemenin artan talaş içeriğine bağlı olarak korozyon hızı artarken, ince talaştan üretilen AZMT220/mt malzeme saf magnezyum talaşından üretilen malzemelere benzer olarak talaş içeriği arttıkça korozyon hızının azaldığı tespit edilmiştir.

5. Korozyon çözeltisi içerisinde 36 saat tutulan magnezyum/alüminyum karışımlarından hazırlanan malzemelerin birim alan başına ağırlık kaybı değerlerinin süreye göre değişiminden elde edilen korozyon hızı sonuçlarına göre, alüminyum toz içeriğinin artması ile saf magnezyum tozundan üretilen mt16/at malzemenin korozyon hızı azalırken, saf magnezyum talaşından üretilen MT740/at malzemede ise artan alüminyum toz içeriğine bağlı olarak önce korozyon hızı artmakta daha sonra ağırlıkça % 100 talaş içeren MT740 malzemenin korozyon hızına ulaşılmıştır.

.

KAYNAKLAR

[1] **Oslanec, P., Izdnsky, K., Simancik,F.**, Possibilities of Magnesium Recycling, Bratislava, Slovak Republic. 83-88.

[2] **Shanthi, M., Lim, C.Y.H., Lu,L**., 2007. Effects of grain size on the wear of recycled AZ91Mg, Tribology International, **40**, 335-338.

[3] **Wen, L., Ji, Z., Li, X., Xin, M**., 2010. Effect of heat treatment on Microstructure and Mechanical Properties of ZM6 Alloy Prepared by Solid Recycling Process, Journal of Materials Engineering and Performance, **19**,107-111.

[4] **Kulekci, M. K.,** 2008. Magnesium and its alloys applications in automotive industry, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **39**, 851-865.

[5] **Mordike, B. L., Ebert, T.,** 2001. Magnesium properties-applications-potential, *Materials Science and Engineering,* **A 302**, 37-45.

[6] **ASM Handbook**, 1990. Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, **2**, ASM International, Materials Park, USA.

[7] **Karteri, İ**., 2010. Magnezyum Esaslı Alaşımlarda Faz Dönüşümlerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

[8] Url-1<http://www.yildiz.edu.tr./~akdoğan/lessons/malzeme> alındığı tarih 09.06.2011.

[9] **Brandes, E.A, Brook, G.B.,** 1998. Chapter 2: General and physical properties of light metal alloys and pure light metals, Smithells Light Metals Handbook, Butterworth-Heinemann, Burlington.

[10] **Trajonova, Z., Lukac, P.,** 2005. Compressive deformation behaviour of magnesium alloys. Achievements in Mechanical and Materials Engineering, 681-684.

[11] **Gupta,M., Sharon, N.M.L.,** 2011. Magnesium, Magnesium Alloys and Magnesium Composites, John Wiley & Sons, New York.

[12] **Avedesian, M. M**., 1990. Magnesium and magnesium alloys, ASM international, Materials Park , Ohio, USA.

[13] **Schoff, K. C.,** 2011. Corrosion of magnesium alloys, JCT Coatings Tech.

[14] **Eliezer, D., Alves, H.,** 2002. Corrosion and Oxidation of Magnesium alloys, Chapter 9, Handbook of Materials Selection, John Wiley and Sons, New York.

[15] **Ghali, E., Dietzel, W., Kainer, K. U.,** 2004. General and Local Corrosion of Magnesium Alloys: A Critical View, 13:7-23.

[16] **Nordlien, J.H., Ono, S., Masuko, N., Nisancioglu, K.,** 1997. A TEM investigation of naturally formed oxide films on pure magnesium, Corrosion Science, **39**, 1397–1414.

[17] **Ambat, R., Aung, N. N., Zhou, W.**,(2000). Evaluation of microstructural effects on corrosion behaviour of AZ91D magnesium alloy, Corrosion Science, **42**, 1433-1455.

[18] **Ying-liang, C., Ting-wei, Q., Hui-min, W., Zhao, Z.,** (2009). Comparison of corrosion behaviors of AZ31, AZ91, AM60 and ZK60 magnesium alloys, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, **19**, 517−524.

[19] **Çelikten, G.,** 2007. Magnezyum Alaşımı AZ91'in pH 7'deki Korozyon Davranışının Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi Yöntemiyle Araştırılması, *Yüksek Lisans Tez*i, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

[20] **Temur, D. S.,** 2008. Magnezyumun Biyokorozyonu ve Farklı Alaşım Yüzeylerine Bakteri Tutunmasının Kıyaslamalı İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[21] **Rong-chang, Z., Jin, Z., Wei-jiu, H., Dietzel, W., Kainer, K. U., Blawert, C., Wei, K.,** (2006). Review of studies on corrosion of magnesium alloys, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, **16**, 763-771.

[22] **Campbell, F.C.,** 2006. Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials, Magnesium –Beryllium, Chapter 3, Elsevier Ltd., USA.

[23] **Tzamtzis, S.,** 2011. Solidification Behaviour and Mechanical Properties of Cast Mg-alloys and Al-based Particulate Metal Matrix Composites Under Intensive Shearing, PhD thesis, Brunel University, Brunel Centre for Advanced Solidification Technology.

[24] **Dahle, A.K., Lee, Y.C., Nave, M.D., Schaffer, P.L., St.John, D.H,,** 2001. Development of as the cast microstructure in magnesium-aluminium alloys, Journal of Light Metals, **1**, 61-72.

[25] **Hu, M., Ji, Z., Chen, X., Zhang, Z.,** 2008. Effect of chip size on mechanical property and microstructure of AZ91D magnesium alloy prepared by solid state recycling, Materials Characterization, **59**, 385-389.

[26] **Tao, Y., Ming-yi, Z., Xiao-shi, H., Kun, W.,** 2010. Recycling of AZ91 Mg alloy through consolidation of machined chips by extrusion and ECAP, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, **20**, 604-607.

[27**] Dong-hua, L., Mao-liang, H., Hai-bo,W., Wang-an, Z.,** 2011. Low temperature mechanical property of AZ91D magnesium alloy fabricated by solid recycling process from recycled scraps, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, **21**, 1234-1240.

[28] **Wu, S., Ji, Z., Zhang, T.**, 2009. Microstructure and mechanical properties of AZ31B magnesium alloy recycled by solid state process from different size chips, Journal of Metarials Processing Technology, **209**, 5319-5324.

[29] **Shu-yan, W., Ze-sheng, J., Shou-fan, R., Mao-liang, H.,** 2010. Microstructure and mechanical properties of AZ31B magnesium alloy prepared by solid-state recycling process from chips, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, **20**, 783-788.

[30] **Chino, Y., Furuta, T., Hakamada,M., Mabuchi, M.,** 2006. Influence of distribution of oxide contaminants on fatigue behavior in AZ31 Mg alloy recycled by solid-state processing, Materials Science and Engineering A, **424**, 355-360.

[31] **Nakanishhi, M., Mabuchi, M., Saito, N., Nakamura, N.,** 1998. Tensile properties of the ZK60 magnesium alloy produced by hot extrusion of machined chip, Journal of Materials Science Letters, **17**, 2003-2005.

[32] **Wang,J.Y., Lin, Y.N., Chang, T.C., Lee, S.,** 2006. Recycling the Magnesium Alloy AZ91D in Solid State, Materials Transactions, **47**, 1047 – 1051.

[33] **Chino, Y., Hoshika, T., Mabuchi, M.,** 2006. Mechanical and Corrosion Properties of AZ31 Magnesium Alloy Repeatedly Recycled by Hot Extrusion, Materials Transactions, **47**, 1040 – 1046.

[34] **Chino, Y., Mabuchi, M.,** 2007. Superior corrosion resistance and mechanical properties of a Mg alloy recycled by solid state process, Materials Science Forum, **539-543**, 1656 – 1661.

[35] **Anilchandra, A.R., Basu.R., Samajdar, I., Surappa, M.K.,** 2012. Microstructure and compression behavior of chip consolidated magnesium, Jornal of Materials Research Society, **27**, 709-719.

[36] **Ying, L., Yuan-yuan, L., Da-tong, Z., Tung-wai Leo, N., Wei-ping, C.,** 2002. Microstructure and properties of AZ80 magnesium alloy prepared by hot extrusion from recycled machined chips, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, **12**, 882-885.

[37] **ASTM G133-05**, 2005. Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-On-Flat Sliding Wear, ASTM International.

[38] **Cizek L, Hanus A, Sozanska M, Tanski T, Pawlica L.,** 2007. Structure Characteristics of Magnesium Alloys with Admixture of Aluminium, Silicon and Zirconium, Acta Metallurgica Slovaca, **13**, 531-538.

[39] **Zhang, T., Shao, Y., Meng, G., Cui , Z., Wang, F.**, 2011. Corrosion of hot extrusion AZ91 magnesium alloy: I-relation between the microstructure and corrosion behaviour, Corrosion Science, **53**, 1960-1968.

[40] **Nguyen, Q. B., Fan, Y., Tun, K.S., Chan, J., Kwok, R., Kuma, J. V. M., Gupta, M.,** 2012. An investigation into the capability of unconventional amount of aluminum and nano-alumina to alter the mechanical response of magnesium, Journal of Materials Science, **47**, 234-240.

[41] **Mindivan, H.,** 2007. Silisyum Karbür Takviyeli Alüminyum Matris Kompozitlerin Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[42] **Askeland, D.R.,** 1985. The science and engineering of materials, Boston.

[43] **Xiao-peng,C., Hai-feng,L.,Yong-bing, L.,** 2007, Melting behavior of magnesium alloy chips in thixomolding process, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, **17**, 385-390.

[44] **Aung,N.N., Zhou, W., Lim, L.E.N.,** 2008. Wear behaviour of AZ91D alloy at low sliding speeds, Wear, **265**, 780–786.

[45] **Chino, Y., Hoshika, T., Mabuchi, M.,** 2006. Enhanced corrosion properties of pure Mg and AZ31 Mg alloy recycled by solid state process, Materials Science and Engineering A, **435-436**, 275-281.

[46] **Nordlien, J.H., Nisancioglu, K., Ono, S., Masuko, N.,** 1996. Morphology and Structure of Oxide Films Formed on MgAl Alloys by Exposure to Air and Water, Jornal of Electrochemical Society, **143**, 2564–2572.

EKLER

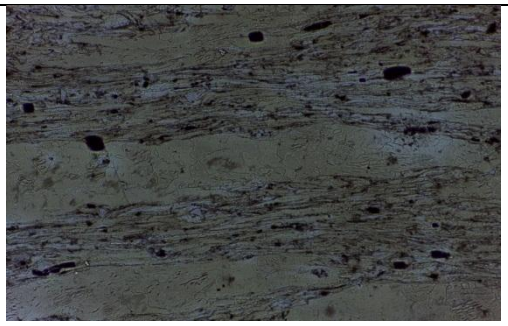
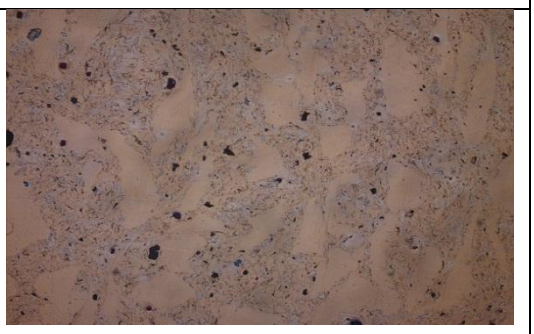
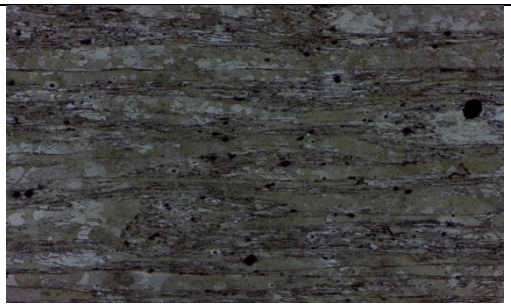
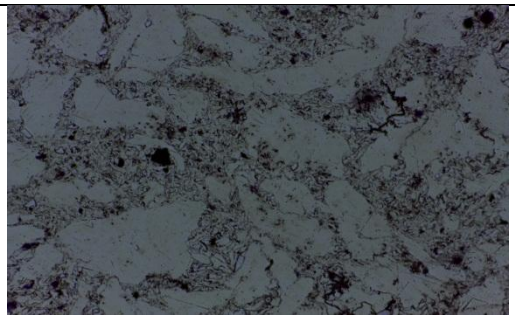
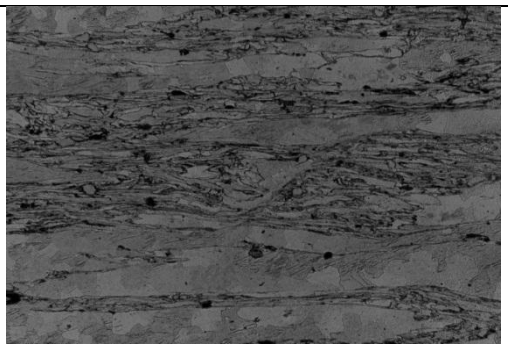
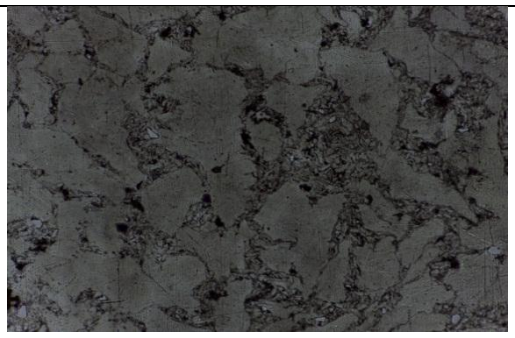
EK A: Magnezyum alaşımlarının isimlendirilmesi.
EK B: Optik mikroskopta çekilen mikroyapı görüntüleri.

EK A

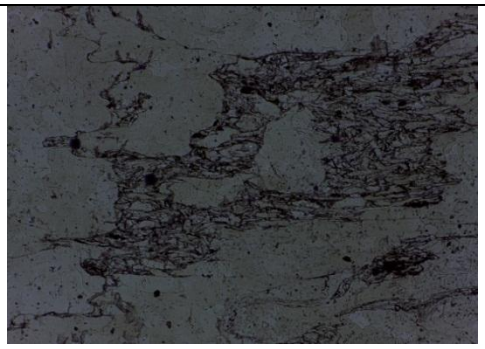
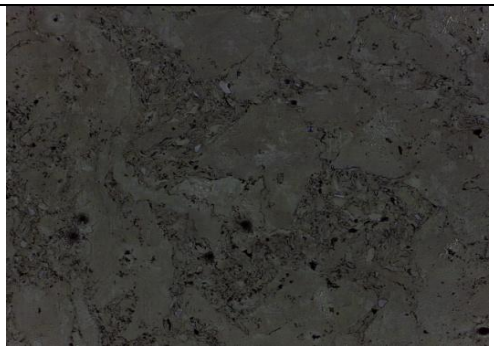
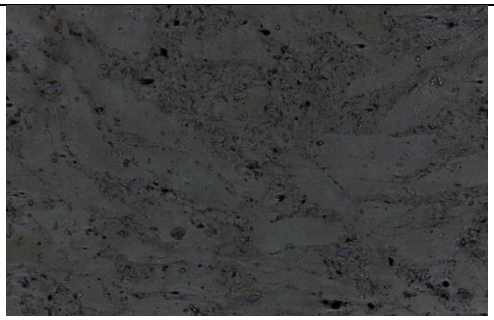
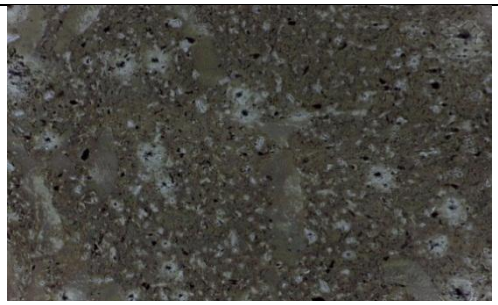
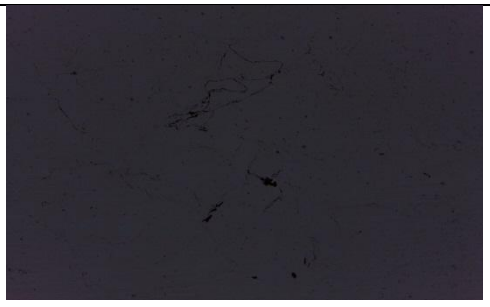
Çizelge A.1: Magnezyum alaşımlarının isimlendirilmesi.

Birinci Kısım		**İkinci Kısım**	**Üçüncü Kısım**		**Dördüncü Kısım**	
Ana alaşım elementi		Alaşımda mevcut 2 temel alaşım elementi Yüzdesi	Ana alaşım elementini aynı yüzdede içeren alaşımda mevcut farklı alaşımlar arasındaki farklılıklar(ASTM ile tescilli)		Alaşımın durumu(temper)	
A	Alüminyum					
Z	Çinko					
C	Bakır					
F	Demir	Tüm rakamlar	A	Birinci kompozisyonlar	F	Fabrikadan çıktığı haliyle
					O	Tavlanmış
			B	İkinci kompozisyonlar	H10	Doğrudan gerinim yaşlandırması uygulanmış
					H11	Doğrudan gerinim yaşlandırması uygulanmış
M	Mangan		C	Üçüncü kompozisyonlar	H23	Gerinim yaşlandırması uygulanmış, kısmen tavlanmış
					H24	Gerinim yaşlandırması uygulanmış, kısmen tavlanmış
K	Zirkonyum		D	Yüksek saflık	H26	Gerinim yaşlandırması uygulanmış, kısmen tavlanmış
N	Nikel		E	Yüksek korozyon direnci	T4	Çözelti ısıl işlemi uygulanmış
					T5	Yalnızca yapay yaşlandırılmış
Q	Gümüş		X	Deneysel alaşım(ASTM tarafından tescillenmemiş)	T6	Çözelti ısıl işlemi uygulanmış,yapay yaşlandırılmış
					T8	Çözelti ısıl işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş,çözelti ısılişlemi uygulanmış,

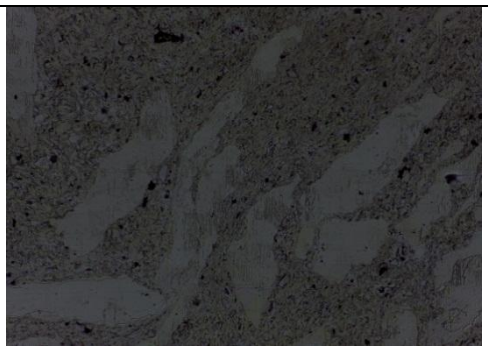
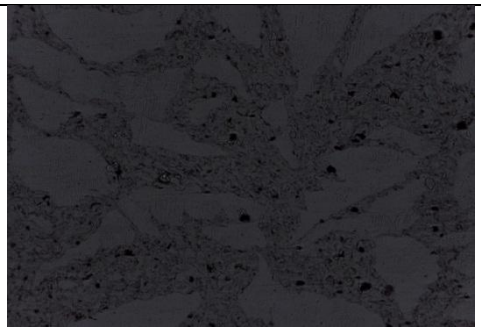
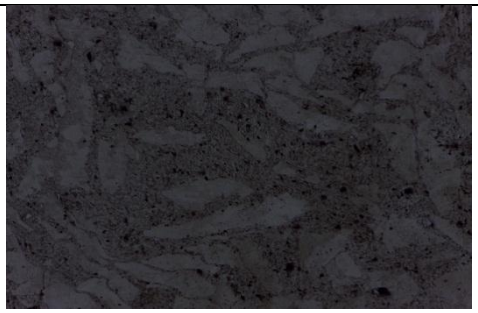
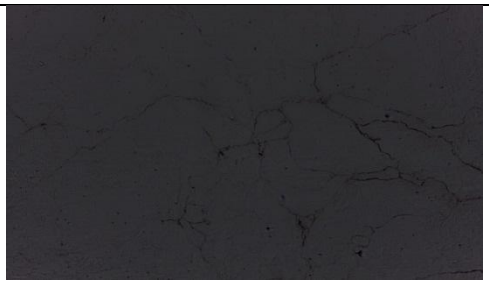
EK B

Talaş İçeriği (% Ağ.)	Ekstrüzyon	Kesit
25		
50		
75		
100		

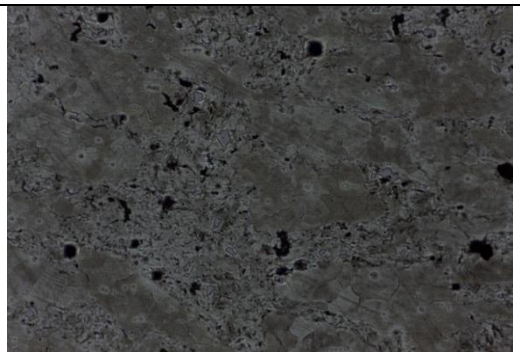
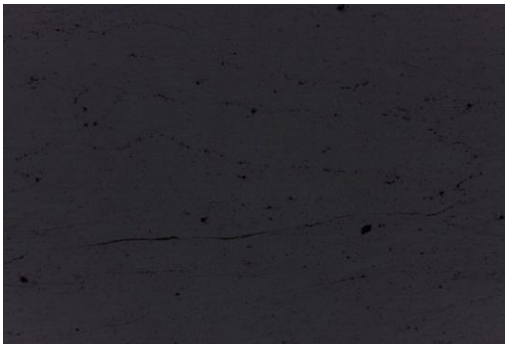
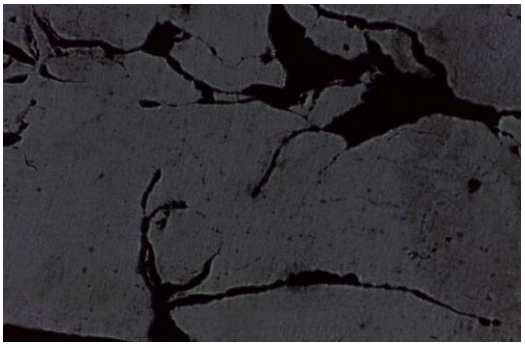
Şekil B.1: Talaş içeriğine bağlı olarak MT370/mt malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (100X).

Talaş İçeriği (% Ağ.)	Ekstrüzyon	Kesit
25		
50		
75		
100		

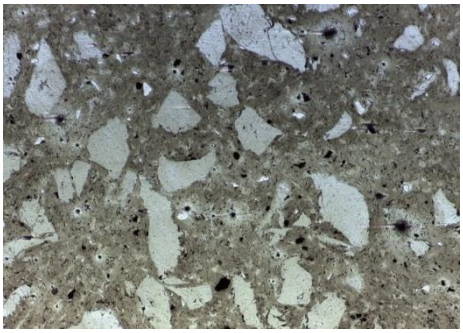
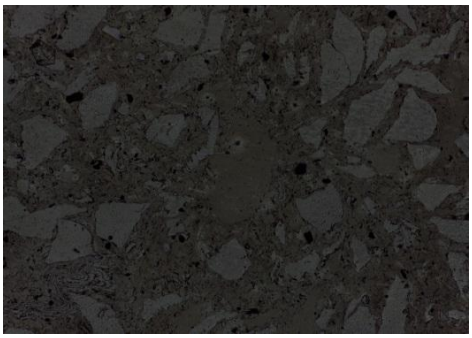
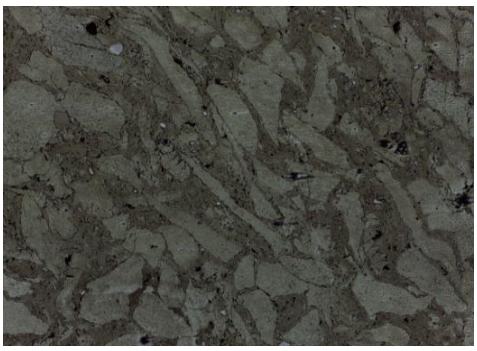
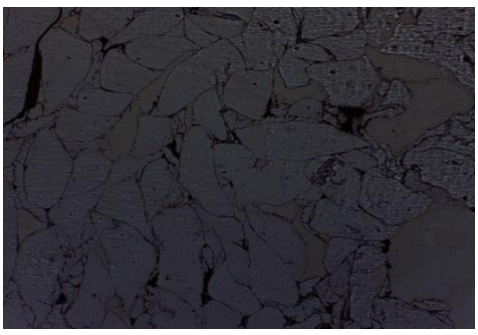
Şekil B.2: Talaş içeriğine bağlı olarak MT570/mt malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (100X).

Talaş İçeriği (% Ağ.)	Ekstrüzyon	Kesit
25		
50		
75		
100		

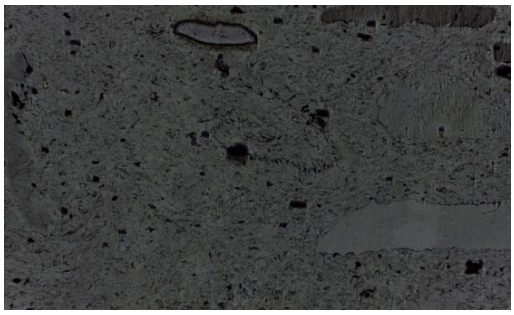
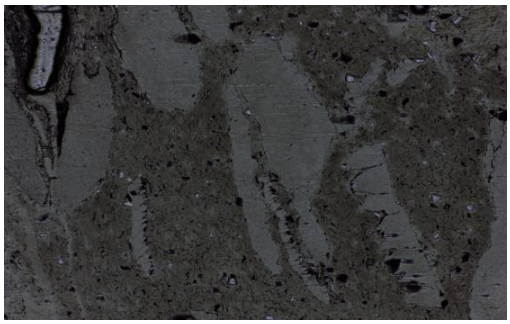
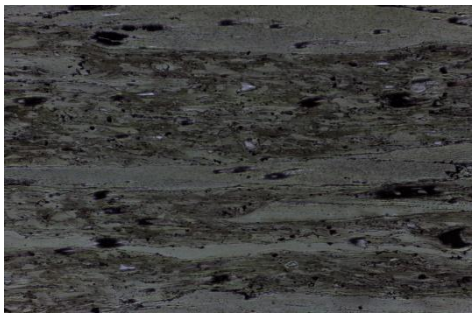
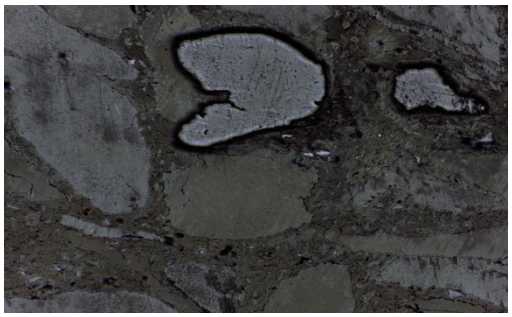
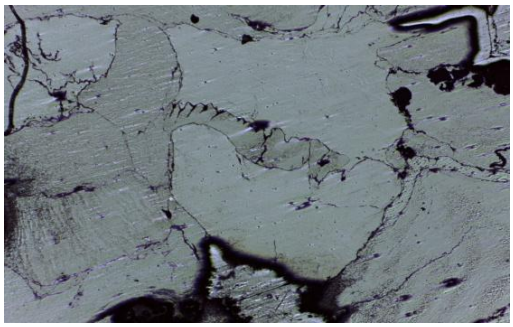
Şekil B.3: Talaş içeriğine bağlı olarak MT740/mt malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (100X).

Talaş İçeriği (% Ağ.)	Ekstrüzyon	Kesit
25		
50		
75		
100		

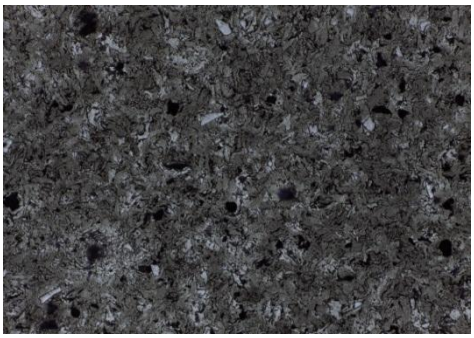
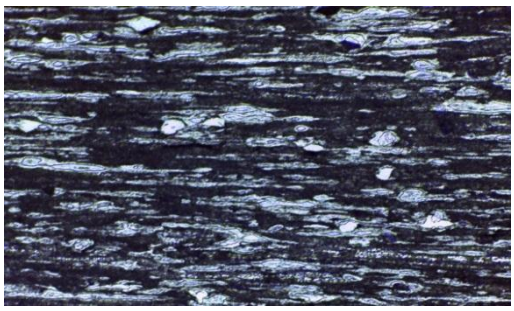
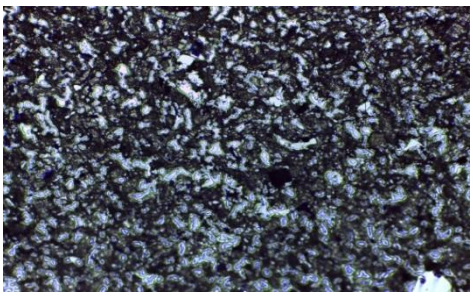
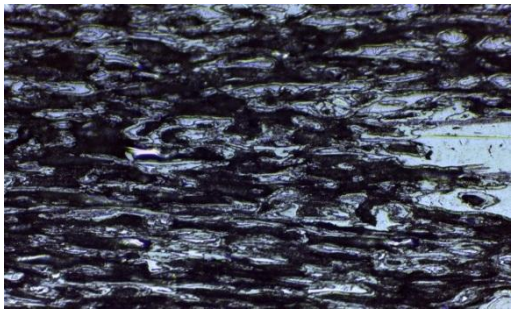
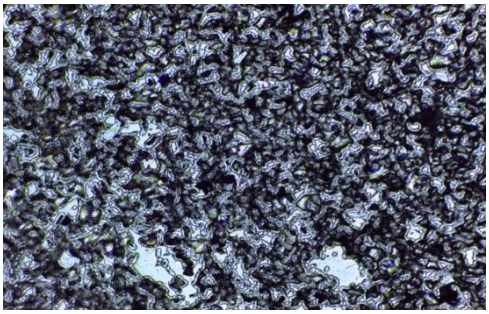
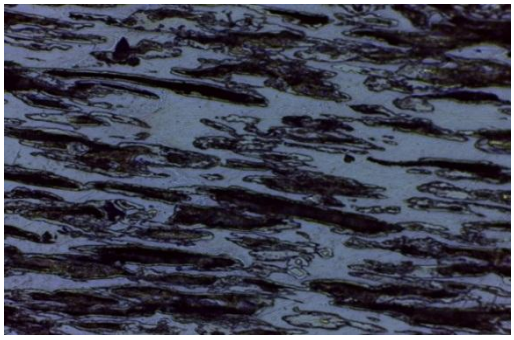
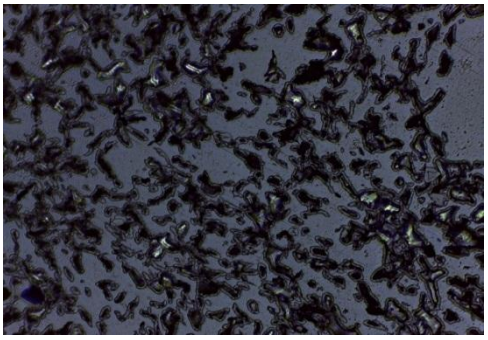
Şekil B.4: Talaş içeriğine bağlı olarak MT1150/mt malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (100X).

Talaş İçeriği (% Ağ.)	Ekstrüzyon	Kesit
25		
50		
75		
100		

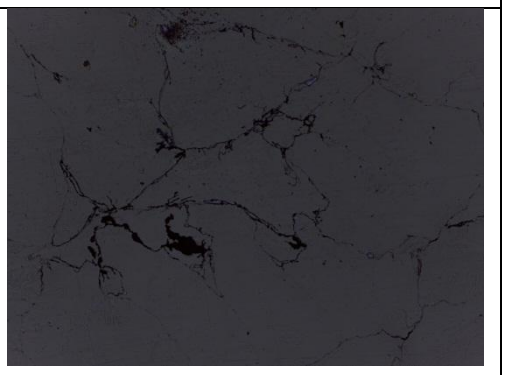
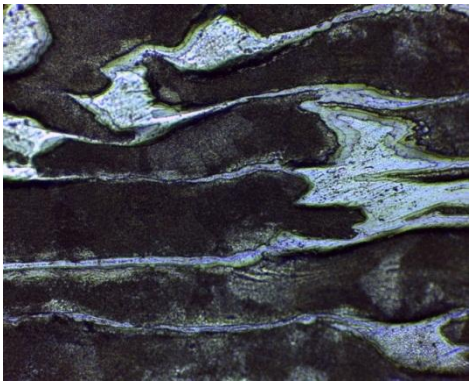
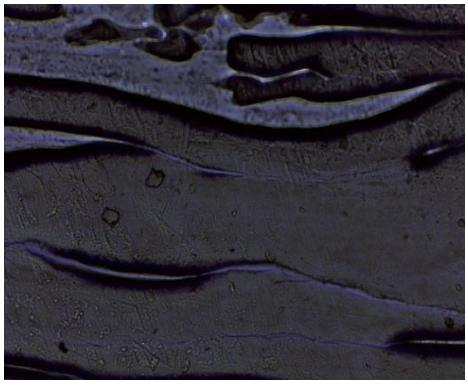
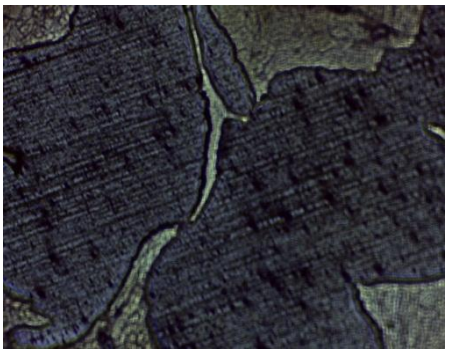
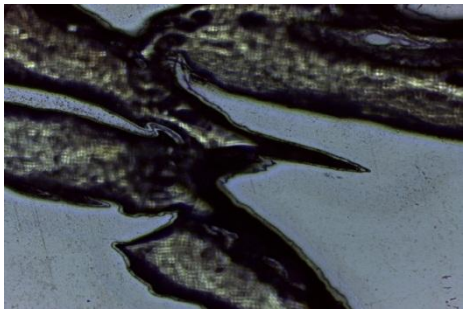
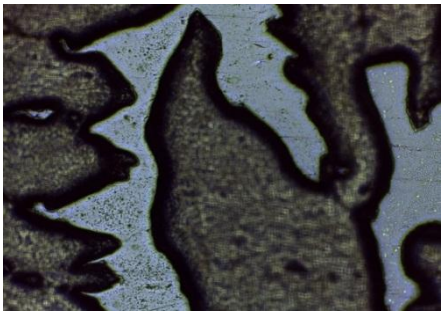
Şekil B.5: Talaş içeriğine bağlı olarak AZMT220/mt malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (100X).

Talaş İçeriği (% Ağ.)	Ekstrüzyon	Kesit
25		
50		
75		
100		

Şekil B.6: Talaş içeriğine bağlı olarak AZMT780/mt malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (100X).

Alüminyum Toz İçeriği (% Ağ.)	Ekstrüzyon	Kesit
0		
25		
50		
75		

Şekil B.7: Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak mt16/at malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (200X).

Alüminyum Toz İçeriği (% Ağ.)	Ekstrüzyon	Kesit
0		
25		
50		
75		

Şekil B.8: Alüminyum toz içeriğine bağlı olarak MT740/at malzemenin ekstrüzyon ve kesit yönündeki optik mikroyapı görüntüleri (200X).

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Nihan Taşkın
Doğum Yeri ve Tarihi:	Aksaray –30.01.1985
Addres:	Ataköy 7-8.kısım Palmiye sitesi, B-35, daire:5, Bakırköy/İSTANBUL
E-Mail:	nihan-melda@hotmail.com
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi
	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği (2005 – 2010)

Yüksek Lisans tez konusu kapsamında uluslararası konferansta yapılan yayın:

Taskin,N., Mindivan, H., Kayali,E.S., 2012. Recycling of Mg Chips with the Help of Commercially Pure Mg Powder, 15th Europan Conference on Composite Materials, Italy.