

# Savunma Sanayinde Kullanılan Magnezyum Alaşımları ve Uygulama Alanları

Meltem DEMİRCİ , Ali Serdar VANLI ve Anıl AKDOĞAN

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34349, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye  
mdemirci@yildiz.edu.tr

**Özet—** Bu çalışma, global ölçekte yaygın olarak kullanılan ve avantajlı özelliklere sahip bir malzeme olan magnezyum alaşımlarının savunma sanayindeki kullanımına ait örnekleri göstermektedir. Magnezyum alaşımlarının savunma sanayinde şu anda yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımları, seramik veya kompozit malzemelerin yanında uygulama alanı gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada, magnezyum alaşımlarının kullanıldığı uygulama alanları ayrıntılı olarak irdelenmekte ve özellikleri diğer metelsel malzemelerle kıyaslanarak değerlendirilmektedir. Ayrıca savunma sanayinde magnezyum alaşımlarının kullanım alanları ve bu alanlardaki olası artışlar ile elde edilebilecek kazanımlar üzerinde durulmaktadır

## I. GİRİŞ

Basınçlı döküm, ergimiş magnezyumu tam ölçüde ve sorunsuz bir şekilde, çok kısa bir çevrim süresinde, istenilen forma dönüştürme amacıyla kullanılan oldukça yaygın bir yöntemdir. Ancak ülkemizde basınçlı döküm yöntemiyle magnezyum alaşımı parça üretimi yapabilen kurulu işletme sayısı yok denebilecek kadar az sayıdadır. Bilgi ve tecrübe eksikliğinden dolayı sanayimiz, bu sektörden uzak durmakta ve uluslar arası ölçekte yaygın olarak kullanılan ve avantajlı özelliklere sahip olan magnezyum alaşımı nihai ürünlerden ancak ithalat yolu ile yararlanabilmektedir [1]. Ümit verici bir gelişme olarak Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Döküm Laboratuvarı bünyesinde kurulmuş 2013 yılında tamamlanan entegre seri üretim hattı ile sorunsuz bir şekilde magnezyum alaşımı parçalar dökülebilmektedir. Bu konudaki çalışmaların artarak devam etmesi Ülkemiz savunma sanayi açısından da büyük önem taşımaktadır.

Magnezyumun, çelik ve çinkodan %75, alüminyumdan ise %33 daha hafif olması, birçok sektörde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanımına olanak sağlamaktadır. Ayrıca magnezyumun düşük yoğunluğundan kaynaklanan düşük eylemsizliği, hızlı hareket eden parçalar için bir avantajdır. Hafiflik aynı zamanda, imalat sırasında parçanın daha kolay taşınması ve bitmiş ürünün daha ucuza sevk edilmesi demektir. Böylece yakıt tüketimi ve emisyonlar da azaltılabilmektedir. Magnezyum alaşımları diğer metal alaşımlarıyla karşılaştırıldığında, oldukça yüksek spesifik çekme-basma dayanımına ve daha düşük elastisite modülüne ve dolayısıyla da oldukça yüksek sehim direncine sahiptir [2].

Savunma sanayine yönelik uygulamalarda kullanılması amacıyla geliştirilen malzemelerden birçok farklı özellik beklenmektedir. Bu özelliklerden biri de “hafiflik”tir. Zira hafiflik, örneğin zırhlı aracın engebeli arazi koşullarındaki çok yönlü hareket ve manevra kabiliyetini önemli derecede etkileyen bir unsurdur. Bunun için zırh malzemelerinin ağırlığını azaltmak ya da daha iyi balistik performans sağlamak için alüminyum, seramik veya kompozit malzemelerin yanı sıra magnezyum alaşımlarını da tercih etmek gerekmektedir [3].

Magnezyum  $1.74 \text{ kg/m}^3$  ile oldukça düşük bir yoğunluğa sahiptir. Magnezyum metalinin yoğunluğunu diğer metallerin yoğunluğuyla karşılaştırırsak; (alüminyumun yoğunluğu  $2.80 \text{ kg/m}^3$ , titanyumun  $4.95 \text{ kg/m}^3$  ve çeliğin  $7.80 \text{ kg/m}^3$ ) oldukça düşük olduğunu görürüz. Bu yoğunluk değeriyle magnezyum, polimerlerin yoğunluk değerlerine yaklaşmaktadır [4]. Bu yüzden ağırlığın önemli bir tasarım faktörü olduğu mühendislik uygulamaları için magnezyum alaşımları çok iyi bir tercih olmaktadır [5]. Magnezyum alaşımları oldukça hafif bir metal olmanın yanında; iyi ısı iletkenliğine, titreşim sönümleme kapasitesine, düşük akustik empedans karakteristiğine sahiptir [6]. Savunma sanayinde, magnezyum alaşım gruplarından daha çok döküm ve dövme cinsi alaşımlar tercih edilmektedir. Döküm parçaların imalatında ise özellikle basınçlı döküm prosesine uygun olan alaşımlar kullanılmaktadır.

Piyasada mevcut olan dövme magnezyum alaşımı levhaların dayanımı, alüminyum zırh alaşımlarının dayanımına eşdeğer olmaktadır. Magnezyum alaşımları ayrıca diğer metal alaşımlarıyla karşılaştırıldığında daha yüksek özgül elastisite modülüne yani oldukça yüksek sehim direncine sahiptirler. Yüksek sehim direnci genellikle balistik darbelerde gelişmiş enerji emilimine katkıda bulunur. Bu yüzden dövme magnezyum zırh uygulamaları bu olası yararlarından dolayı tercih edilebilmektedir. Tablo 1, bazı alaşımların zırh uygulamalarındaki fiziksel özelliklerini karşılaştırmaktadır [7].

Tablo-1 Bazı alaşımların fiziksel özellikleri [7]

Metal	Alaşımı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Elastik Modülü (GPa)	Özgül Modül (GPa/g/cm <sup>3</sup> )
Magnezyum	AZ31B	1.77	45	25.4
Alüminyum	5083AL	2.66	70	26.3
Çelik	RHA	7.83	205	26.1

## II. SANAYİNDE KULLANILAN MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

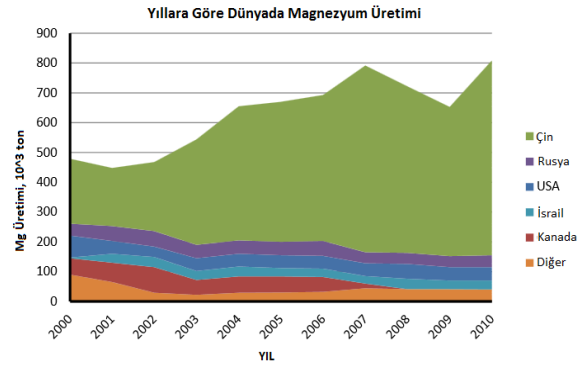
Magnezyum ve alaşımlarının otomotiv, iletişim ve savunma sanayindeki önemi oldukça artmaktadır. Düşük yoğunluk bu malzemenin savunma sanayinde uygulanmasını oldukça çekici kılmaktadır [4].

Saf magnezyum, yüksek sıcaklıklardaki uçuculuğu ve nemli ortamlarda korozyona uğraması sebebiyle kullanılamamaktadır. Bu yüzden magnezyum alaşımlarının kullanımı havacılık ve otomotiv parçaları tasarlarken önemli olmaktadır. Özel alaşımlar, belirli uygulamalar için daha iyi sonuçlar göstermektedir ve daha uzun ömürlü olabilmesi için kaplamaya gerek duyulmaktadır. Özellikle kaplama teknolojisindeki gelişmelerle daha uzun ömürlü ve korozyon direnci yüksek parçaların üretilebilmesi, savunma sanayinde magnezyum alaşımlı parçaların geliştirilmesini arttırmaktadır [5].

Yüksek dayanımlı magnezyum alaşımları üretebilmek için katı çözelti ve çökeltme sertleştirmeleri gibi çeşitli çalışmalarda bulunmaktadır. AZ31, ZK60 ve nadir toprak elementi içeren alaşımlar bu iyileşmeyi gösterebilmektedir [4]. AZ61 ve AZ91 alaşımları AZ31'den daha iyi korozyon dayanımı göstermektedir. Bunun temel sebebi içindeki Al yüzdesinin artmasıdır. AZ91 içindeki 9% Al içeriği ile birlikte magnezyum alaşımları arasında en iyi korozyon dayanımını göstermektedir. AZ31 magnezyum alaşımının savunma sanayinde kullanımı ile daha iyi sonuçlar elde etmek istiyorsak, korozyon direncini artırmanın yanı sıra, mekanik özelliklerini ve balistik performansını da yükseltmemiz gerekmektedir. AMX602 ve ZAXE1711 alaşımları bu konuda oldukça başarılı kabul edilmektedir [7].

Savunma sanayinde magnezyum alaşımlarının kullanıldığı temel ürünler:

- I. Ateşli Silahlar: Alıcı, şarjör, tüfek dipçığı, silah gövdesi vb.
- II. Roketler ve Füzeler: Füze gövdesi, dümen gövdesi vb.
- III. Kara araçları: Tanklar, kaptan ayna, topçu ayna, vites kutusu, motor filtresi tabanı, hava dağıtıcı blok, yağ pompası gövdesi, su pompası gövdesi, ısı eşanjörleri, yağ filtresi gövdeleri, silindir kafası kapakları, koltuk çerçevesi vb.
- IV. Hava araçları: Helikopterler ve uçakların rotor göbeği, ters tepki sistemi, vites kutuları vb.
- V. Personel Ekipmanları: Giyilebilir kumaş antenler, bilgi ekranı, bilgisayar ve video alıcılar, kasklar vb.



Şekil 1. Dünyada birincil magnezyum üretimi [9]

Magnezyum için ilk önem verilen konu uçak bileşenlerinde olmuştur (1940) [8]. Bununla beraber dünyada magnezyum metalinin üretimi ve kullanım alanları da gün geçtikçe artmaktadır. Bu artış ile ilgili grafikse Şekil 1'de verilmiştir [9].

## III. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ UYGULAMA ALANLARI

### A. Ateşli Silahlar

Hafiflik ve sağladığı dayanım sebebiyle, tüfek ve tabanca gövdesi ile şarjör yuvası gibi bazı ateşli silah parçaları magnezyum alaşımlarından basınçlı döküm yöntemi ile üretilebilmektedir.



Şekil 2. Magnezyum alaşımı tüfek gövdesi

Alüminyum dövme alaşımı ile üretilen silah gövdeleri nispeten ağır olmaktadır, bu sebeple magnezyum ilavesiyle hazırlanan özel Al alaşımının (stronsiyum içeren AISi9MgMn tipi bir enjeksiyon döküm alaşımı) silah gövdesi imalatında kullanılması ile ağırlık azaltımına gidilmiştir. Bu alaşımla hazırlanan silah gövdesinin ortalama ağırlığı yolluk ve hava cebi ile birlikte 840 gr, sevkiyata hazır net ağırlığı ise ortalama 254 gr olarak kaydedilmiştir. %0.20-0.30 Mg oranı bu alaşım için ideal olmaktadır. Magnezyum oranındaki artış ile alaşımın dayanım özellikleri artış göstermektedir ancak %0.50'in üzerinde bir Magnezyum oranı ile daha yüksek dayanım elde edilememektedir. Çünkü fazla Mg, Mg<sub>2</sub>Si fazı olarak çökelmekte ve dayanıma katkı sağlamamaktadır [10].

Standart 120 mm veya 100 mm'lik havan mermilerini ateşlemede mühimmata destekleyici olarak magnezyum katılmaktadır. Bu amaçla AZ80, AZ61 ve AZM alaşımlarının tozlarından faydalanılmaktadır. Ayrıca Mg yandığında beyaz ışık ve yoğun ısı ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple, ince ve atomize magnezyum tozları alevlendirici ve ordu donatım malzemesi olarak özellikle tehlike işareti ve aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır [11].



Şekil 3. Tabanca gövdesi [10]



Şekil 5. Falcon GAR-1

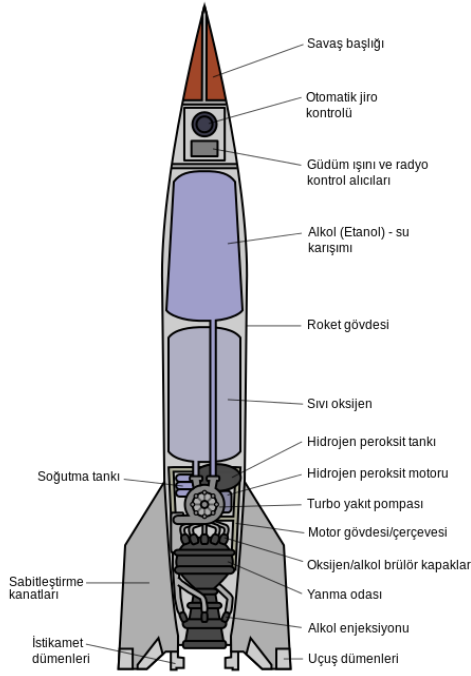


Şekil 6. Bir F-102A uçağı üç adet Falcon GAR-1 füzesi fırlatırken

### B. Roketler ve Füzeler

Balistik füzelere; nükleer, kimyasal, biyolojik silahlar veya konvansiyonel savaş başlıkları atmak için kullanılır. Anti-balistik füzelere ise bu füzelere karşı koymak için tasarlanmıştır. Balistik Füzelere; kısa menzilli balistik füze (KMBF), orta menzilli balistik füze (OMBF) ve kıtalararası balistik füze (KABF) olarak sınıflandırılmaktadır [12].

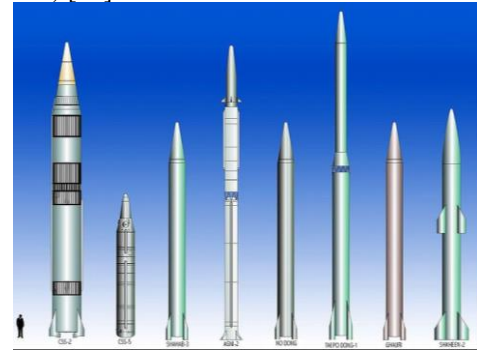
Kısa menzilli balistik füze (KMBF): Menzili 1000 km veya daha az olan balistik füzelere ve imalatlarında magnezyum alaşımı içerirler. Nazi Almanya'sının 1942'nin sonlarından itibaren geliştirdiği V-2 modeli, balistik füzelere atası sayılmaktadır. V-2 füzesinin alkol ve oksijen tankları alüminyum-magnezyum alaşımından imal edilmektedir [12].



Şekil 4. V-2 Füzesi [12]

Falcon Gar-1 havadan havaya olarak üretilen ilk füzedir ve yapısal olarak yüzde 90 magnezyumdan imal edilmiştir. Dümenleri ZK60A-T5 dövme parçası ve gövdesi 10 mm kalınlığında AZ31B-H24 plakadan ve ZK60-T5 alaşımı borulardan oluşmaktadır (Şekil 5-6) [8].

Orta menzilli balistik füze (OMBF): Kurumlara göre değişmekle birlikte ABD Savunma Bakanlığı'na göre menzili 1000 ile 3000 km arasında olan balistik füzelere OMBF sınıfına girer (Şekil 7) [12].



Şekil 7. İmalatında magnezyum alaşımlarının da kullanıldığı OMBF Füzelere

Kıtalararası balistik füze (KABF): Aşgari 5500 km ve daha fazla menzili olan balistik füzelere. Polaris (Şekil 8), katı yakıtlı bir füzedir. UGM-27 olarak adlandırılmaktadır. İmalatında magnezyum alaşımları alüminyum alaşımlarıyla birlikte kullanılmaktadır [12].



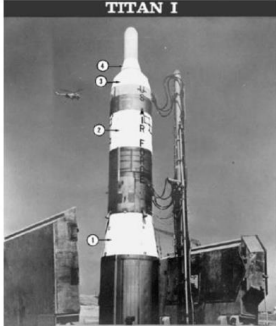
Şekil 8. Polaris A-3 Füzesi

Anti Balistik Füzelere: Nike Ajax (Şekil 9) karadan havaya olarak geliştirilen ilk anti balistik füze olmakla birlikte bu füzenin yapımında nadir toprak elementleri ile alaşımlandırılmış magnezyum alaşımı, yüksek sıcaklığa dayanım özellikleri ve hafifliği dolayısıyla tercih edilmektedir.

Magnezyum levhalar Vanguard, Jupiter, Titan 1, Thorable Star ve Atlas Agena isimli birçok uzay fırlatma aracında da kullanılmıştır (Şekil 10) [13].



Şekil 9. Nike Ajax karadan havaya olarak geliştirilen ilk füze



Şekil 10. Titan I Roketi'nde toplam 0.54 ton magnezyum alaşımı kullanılmıştır [13]

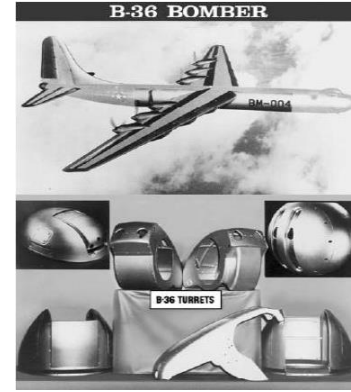
### C. Hava Araçları

Magnezyum, Boeing, Lockheed Martin, McDonnell Douglas, Airbus ve Concorde uçaklarında thrust reverserler ile motorlarda, ayrıca uçak ve helikopter vites kutularında kullanılmaktadır. Uzay araçları da magnezyum ve alaşımlarını içermektedir. Ağırlık kazanımı tasarımlarda oldukça öneme sahiptir ve bir malzemenin operasyonlardaki ağır koşullara dayanabilmesi gerekmektedir. Magnezyum yüksek sıcaklıklara dayanabilen, ozon tabakasına, yüksek enerjili partiküllerin çarpma etkisine maruz kalabilen bir malzemedir [14].

Birçok magnezyum alaşımı parça, uçak üretimi için tasarlanmış ve kullanılmıştır. 1940 yılında, tamamına yakını magnezyum alaşımından yapılmış ilk uçak olan Northrop XP-56 üretilmiştir (Şekil 11). Aynı yıllarda üretilen B36 bombardıman uçağı da birçok magnezyum alaşımı parça ihtiva etmektedir (Şekil 12) [13]. B-36 bombardıman uçağı toplam 8.6 ton ağırlığında olup yaklaşık 3.4 tonu Mg alaşımlarından oluşmaktadır. Eğer magnezyum yerine alüminyum kullanılmış olsaydı fazladan 1.1 ton'luk bir ağırlığa sahip olacaktı. Tamamen deneysel amaçla imal edilmiş olan F80C jet uçağı ise tümüyle Mg alaşımları ile konstrükte edilmiştir [11].



Şekil 11. Tamamına yakını magnezyum alaşımından üretilen ilk uçak Northrop XP-56 [13]



Şekil 12. B36 Bombardıman uçağı [13]

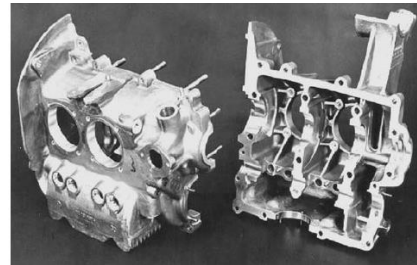
“Focke Wulf Condor 200” uçağında magnezyum plakalar; motor kaportası, gövde ve kanatların alt kaplaması, kuyruk ve kanat ünitesi arasındaki geçiş parçaları için kullanılmıştır.

Concorde uçaklarında kullanılan toplam magnezyum alaşımı 650 kg'dır ve 500 kg'ın üstü kullanılan magnezyum plakalarının ağırlığıdır. AM503 alaşımı kaynak edilebilirliği iyi olduğu için en çok tercih edilen alaşım olmuştur [15].

VW Beetle modelinin arkasındaki yük artış problemi, 1930'larda geliştirilen magnezyum alaşımından motor bloğu üretimi ile çözümlenebilmiştir (Şekil 13) [15].

Bu boksör tipi motor uçaklarda da kullanılmaktadır. Motorların görevi uçağı öne doğru iterek/çekerek, hava akımının kanatların üstünden gitmesini sağlayarak kaldırma kuvveti oluşturmaktır. Uçak motorunun ana fonksiyonu uçağı gereken hareketi sağlamaktır. Daha az yer kaplaması ve ağırlık tasarrufu için motor silindirlere karşılıklı olarak dizilmektedirler. Böylece pistonlar magnezyum silindirlere dışarıdan yerleştirilebilirler ve sonradan sökülüp takılabilmeleri kolay olmaktadır.

Boksör tipi motorlar diğer motor tiplerine göre daha gürültülü çalışırlar, magnezyum alaşımının imalat için tercih edilmesi bu gürültüyü absorbe etme özelliğinden dolayı da faydalı olmaktadır.



Şekil 13. Beetle motoru; alaşımı: AS41 (1973'te AS21 olarak değiştirilmiştir), Ağırlık: 9.7 kg, Boksör Motor, Hava Soğutmalı [15]

Magnezyum alaşımları, uçak üretiminin yanında helikopter üretimi için de tasarlanmış ve kullanılmıştır. S55 helikopterlerinde ZW3 alaşımı 115 kg civarında kullanılmıştır. MD500, Eurocopter EC120, NH90 ve Sikorsky S92 gibi birçok helikopterin dişli kutularında ZE41 alaşımı kullanılmaktadır [10]. Helikopterlerde rotor göbeği, ağırlığın önemli olmasından dolayı mümkün olan yerlerde hafif metallere, alüminyum ve magnezyum alaşımlarından imal edilmektedir. Ana rotor göbeği çelikten yapılmıştır, swashplate montajı, magnezyum alaşımı dişli göbeğine perçinlenmiş alüminyum plakalarından oluşmaktadır. Magnezyum

yuvalarının kırılmalık bakımlarına önem verilmelidir (Şekil 14-15) [16].



Şekil 14. UH60 Blackhawk Şanzıman Gövdesi

R-6 Helikopteri (Şekil 16), magnezyum alaşımlarının kullanılmasıyla imal edilen ilk helikopterlerdendir. R-6 tasarlanırken temel amaç, alüminyum kullanımını minimize etmek olmuştur. Magnezyum alaşımından sıcak dövülmüş çerçeveler ve ekstrüzyondan geçmiş kırımlar kuyruk borusunun imalatında; döküm magnezyum alaşımları da bağlantı parçalarının ve çerçevelerin imalatında kullanılmıştır. R-6 helikopterleri deniz şartlarında dahi kullanılsa da, tüm magnezyum yüzeyler dikkatle boyandığında korozyon sorunu yaşanmamaktadır. Magnezyum denemesinin uygun olmadığı tek kısım yakıt tankı bölümü olmuştur. Magnezyum yakıt tankları 45 saniye çalkalanma ve titreşim testlerinden sonra olumsuz sonuçlar vermiştir [17].

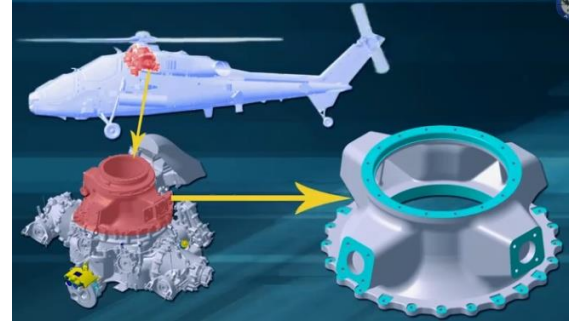


Şekil 15. Helikopter Rotor Göbeği [16]



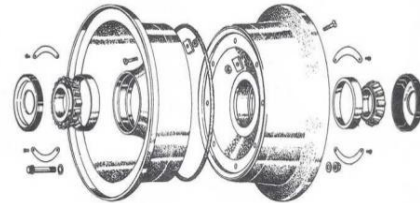
Şekil 16. R-6 Helikopteri

Ülkemizde, "Havacılıkta Kullanılan Magnezyum Döküm Teknolojisi Geliştirilmesi (MÜGE) Projesi" ile helikopter platformlarında kullanılmak üzere magnezyum alaşım döküm teknolojisi ve sürecinin kazanılması ile Türkiye'de ilk defa helikopterlerde yüksek yorulma direncine sahip hafif dişli kutusu gövde parçalarının üretilmesi ve döküm sürecinin doğrulanması gerçekleştirilmiştir. ATAK helikopterinin dişli kutusu üst gövdesinin (Şekil 17) yerli tasarım ve döküm süreci ile üretilmesi ve magnezyum döküm sürecine ait tasarım parametrelerinin belirlenmesi ile Teknik Veri Paketi (TVP) hazırlanmıştır [18].



Şekil 17. ATAK helikopterinin dişli kutusu üst gövdesi [18]

Uçak iniş jantları (Şekil 18) alüminyum ve magnezyum alaşımlarından imal edilmekte, dövme ve döküm proseslerinden geçirilmektedir. Bu yöntemle elde edilen jantlar daha az bakım gerektiren, güçlü ve hafif bir tekerlek elde etmemizi sağlamaktadır. [19,20]. Magnezyum alaşımlarından QE22, uçak iniş jantları, şanzıman gövdeleri ve helikopter rotor bağlantı parçaları için uygulanmıştır. Bu alaşım 250°C'de tüm magnezyum alaşımlarından daha üstün çekme dayanımı göstermektedir. Ancak bu alaşım, kimyasal kompozisyonunda bulunan gümüş sebebiyle daha pahalı olmaktadır. Henüz başarılı olmasa da bu gümüşü bakır elementine değiştirmek için çalışmalar devam etmektedir [4]. Alüminyum alaşımları korozyondan eloksal kaplama uygulamasıyla, magnezyum alaşımları ise kromatlama işlemiyle korunmaktadır [19,20].



Şekil 18. Ayrılmış / Bölünmüş Uçak İniş Jantı

Mg-5Y-4RE-Zr ise havacılık ve savunma sanayinde yaygın olarak kullanılan bir başka alaşımdır. Bu alaşım ile dişli ve helikopter gövdeleri ile motor parçaları imal edilebilmektedir. QE22'ye benzer bir şekilde içindeki itriyum elementinden dolayı, bu magnezyum alaşımı da oldukça pahalıdır [5].

Magnezyum alaşımları ayrıca radar soğurucu malzeme olarak da kullanılmaktadır. Radar dalgası bu soğurucu malzemeye çarptığında boşlukla karşılaşmış gibi davranır. Dalganın elektromanyetik enerjisi ısıya dönüştürülür. Bu malzemeler, pahalı ve ağır olmalarının yanı sıra rüzgâr direnç katsayısını da arttırmaktadır. Bu sebeple magnezyumun kullanılması ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Magnezyum-çinko levhalardan yapılan çalışmalar mevcuttur (Patent numarası RU 2456722). Radara yakalanmaması için Stealth uçakları bu plakalar ile kaplanır. F117 uçağı da bu uygulamaya örnektir. F117, radara yakalanmama özelliğini, farklı yönlerde yansıtma gerçekleştiren farklı açılı plakalarla ve malzeme özellikleriyle sağlamaktadır. Uçak, tasarımı sayesinde radar ekranında bir kuş kadar iz bırakmaktadır [12, 21].

D. Kara Araçları

Husky M-116: Taşıyıcı, kargo, çıkarma (1957-1973) aracında (Şekil 19) 28 kg magnezyum alaşımı, 2.5 m<sup>2</sup> alanındaki zemin kaplaması için kullanılmış olup, bu araç 28.2 x 2.4 cm AZ31 alaşımı ekstrüzyon parçalarından oluşmaktadır [8].



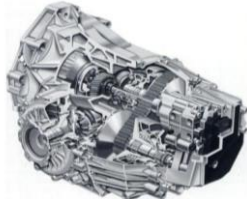
Şekil 19. Husky M-116 [8]

HMMWV "run flat" tekerlekler (Şekil 20), savunma sanayinde magnezyum alaşımlarının kullanıldığı başka bir örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Magnezyum alaşımından döküm yolu ile imal edilen bu tekerlek, HMMWV askeri araçların lastiklerinin içine yerleştirilmekte ve lastik patlasa da aracın hareketinin devam etmesini sağlamaktadır. Tekerlekler hızlı bir şekilde döndüğü sırada ekstra ağırlıklar jiroskopik etkiyi arttırdığından, daha hafif olan magnezyum alaşımı tercih edilmiştir [22].



Şekil 20. HMMWV "Run-Flat" Tekerlekler [8]

Şanzıman gövdelerinde magnezyumun kullanılmasıyla elde edilen en büyük kazanım ise ağırlıktan olmaktadır. Alüminyum alaşımlarıyla karşılaştırdığımızda %20-25 oranında ağırlıktan tasarruf sağlanmaktadır. VL300 magnezyum gövdesi olan ilk CVT (sürekli değişken şanzıman) şanzımandır (Şekil 21). Bu şanzımanın, alüminyumla karşılaştırıldığında yaklaşık 8 kg daha hafif olduğu görülmektedir. Ancak magnezyumla üretilen şanzıman gövdelerindeki kaburga kullanımının fazlalığı (bu akustik için avantajlı olmaktadır) ve et kalınlığındaki artış, alüminyuma göre elde edilen sertlik değerindeki azalmayı telafi etmek için gerekmektedir [15].

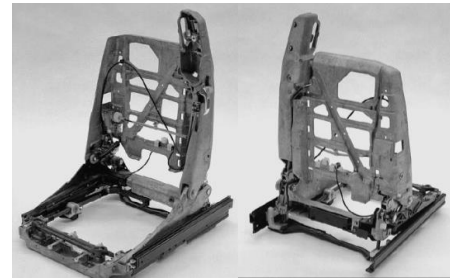


Şekil 21. VL300 CVT şanzıman gövdesi [15]

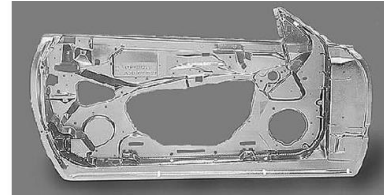
Magnezyum alaşımlarından koltuk çerçeveleri de üretilmektedir. Koltuk çerçeveleri çarpma anında yüksek dinamik zorlanmalara dayanmalıdır. Bu sebeple kaza anında çerçevelerin esnemesi gerekmektedir. Koltuk çerçevesi üretiminde çeliğe kıyasla %78 ağırlıktan kazanım, magnezyuma olan ihtiyacı açıkça göstermektedir. Ayrıca magnezyum alaşımlarının çeliğe göre daha düşük toleranslarda

üretilebilmeleri ve eğim açılarının daha küçük olması gibi avantajları da mevcuttur. Koltuk çerçevesi imalatı beş adet magnezyum alaşımı döküm parçasından oluşmaktadır. Yüksek dayanım ihtiyacından dolayı, arkılığı destekleyici yapı ve koltuk çerçevesi (4 parça) AM50 alaşımından yapılmaktadır. Sırtlık kabuğu imalatında daha düşük maliyetinden dolayı AM20 alaşımı tercih edilmektedir (Şekil 22) [15].

Magnezyum alaşımlarına ait bir diğer uygulama da kapı çerçevesi (Şekil 23) imalatı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlar statik ve dinamik yüklenmelere dayanıklı olmalıdırlar. Mg/Al kapılar hibrit kapı olarak tanımlanmaktadır, bu kapıların iç kısımları magnezyumdan, dış bölümleri alüminyum panellerden ve alüminyum ekstrüzyon çubuklarından oluşmaktadır. Alüminyum dış panel tüm kapı için destekleyici yapı olarak görev yapmaktadır. İç kısımdaki Mg alaşımı parça soğuk kamaralı basınçlı döküm ile AM60 alaşımı kullanılarak imal edilmektedir [15].



Şekil 22. Magnezyum alaşımı koltuk çerçevesi [15]



Şekil 23. Basınçlı Döküm Kapı Çerçevesi AM50 4.5 kg; 1.450 x 800 x 150 mm [15]

#### E. Personel Ekipmanları

Magnezyum alaşımları askeri personel ekipmanlarında ve iletişim cihazlarında da kullanılmaktadır. Cep telefonu, dizüstü bilgisayar ve LCD ekran gövdesi, magnezyum alaşımları kullanarak imal edilebilmektedir. Magnezyum, askeri haberleşme cihazlarında mükemmel performans göstermektedir. Ayrıca, alüminyum gibi EMI (elektromanyetik parazit) ve RFI (radyo frekans paraziti) koruması özelliklerine sahiptir; ancak alüminyumdan daha düşük ağırlıkta ürünler elde edilebilmektedir. Bu yüzden magnezyum gövdeden yapılmış bir iletişim cihazı alüminyumdan yapılmış cihazdan daha iyi özellikler göstermekte ve %30 ağırlık kazancı sağlamış olmaktadır [23]. Aşağıda, magnezyum alaşımlarından imal edilmiş bazı personel ekipmanlarının savunma sanayinde kullanılması ile ilgili çeşitli örnekler sıralanmıştır.

Giyilebilir kumaş antenler: İletken lifler ile elde edilen kumaş antenler sayesinde cep telefonu, Global Pozisyonlama Sistemi (GPS) gibi cihazların çekiş güçlerinin katlanarak artması beklenmektedir. Finlandiya merkezli bir savunma ve havacılık çözümleri şirketi tarafından geliştirilen kumaş anten, kişisel uydu haberleşmesini başka bir boyuta taşıyarak yakın

geleceğin iletişim şeklini belirlemektedir. Kıyafetin bir parçası gibi görünen anten, uydu telefonları da dâhil olmak üzere cep telefonları ve GPS cihazlarıyla birlikte kullanılabilir. İletken liflerin üretiminde en basit yöntem, kumaşların örgüsüne dokuma sırasında magnezyum veya başka metallerin iplikçiklerini katmak; başka bir yöntem ise kumaşı sıvı haldeki alüminyum ya da magnezyum gibi metallere batırmaktır [23, 24].

Asker tarafından giyilen bilgi ekranı ve bilgisayar: Bu cihazlar (Şekil 24) az yer kaplamalı, hafif ve sağlam olmalı, az güç harcamalıdır. Ayrıca kamera, video görüntülerini, harita ve GPS verilerini görüntüleme yeteneğine sahip olmalıdırlar. Bu cihazların çerçeveleri AZ91 magnezyum alaşımından basınçlı döküm yöntemi ile üretilebilmektedir. Su, toz, sıcak ve diğer dış koşullara karşı da oldukça dayanıklı olmaları gerekmektedir [23, 25].



Şekil 24. Kola giyilebilen led ekranlar [25]

Asker tarafından giyilen video alıcısı: Amaç, görevi gönderilen askerleri yaygın olarak kullanılan İHA (insansız hava aracı), UGV (Bağımsız kara aracı), robotik ve zemin sensörü video sinyalleri ile görüntüleyebilmektir. Bu cihazlar (Şekil 25), küçük ve sağlam olmalı ayrıca düşük güç tüketmelidirler. Bu sebeple magnezyum ideal bir alaşım olmaktadır [23, 25].



Şekil 25. Video Alıcı [25]

Magnezyum Alaşımı Kask: Magnezyum alaşımları kullanılarak personel koruma ekipmanları da üretilmektedir. Magnezyum alaşımlarından imal edilmiş kasklar (Şekil 26) bunlara bir örnektir. AZ31, WE43 ve E675 alaşımları denenmekte ve test edilmektedir [8].



Şekil 26. Mg alaşımı kask prototipi

#### IV. SONUÇ

Magnezyum alaşımlarının savunma sanayindeki uygulamaları özellikle savaş dönemlerinde artmıştır ve her geçen gün yeni talepler doğrultusunda uygulama alanları genişlemektedir. Savunma sanayinde magnezyum alaşımları daha çok havacılık endüstrisinde, ateşli silahlar, zırhlı araçlar ile askeri roket ve füzelerin üretiminde, ayrıca personel ekipmanlarında başarıyla kullanılmaktadır. Özellikle hava araçları en büyük enerji tüketicisi olup, uçuş maliyetlerini azaltmak için en kolay ve uygun çözüm ağırlığın azaltılması olmaktadır. Bu sebeple, yapısal metaller içinde en düşük yoğunluğa sahip olan magnezyum alaşımlarının uygulama alanları; alüminyum alaşımları, seramik veya kompozit malzemelerin yanında gün geçtikçe artmaktadır. Bu sonuçlar, dünyada yaygın bir şekilde kullanılan ve avantajlı özelliklere sahip olan bir metalin, savunma sanayinde de geniş ölçekte kullanılmakta olduğuna dair örnekleri gözler önüne sermektedir.

Savunma sanayimizin gelişebilmesi ve dışa bağımlılığın azaltılabilmesi için, yeni geliştirilen tüm teknolojileri en kısa sürede uygulamaya koymamız gerekmektedir. Magnezyum gibi yeni malzemeler, bu teknolojik gelişimin çok önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Son yıllarda üretim yöntemlerinin geliştirilmesiyle, magnezyum alaşımlarından parça imalatı konusunda büyük iyileşmeler görülmüştür. Ülkemizde ise bu alanda yapılan çalışmalar ne yazık ki yeterli değildir. Bu konudaki bilgi ve tecrübe eksikliğinden dolayı sanayimiz, magnezyum imalat sektöründen uzak durmakta ve global ölçekte yaygın olarak kullanılan ve avantajlı özelliklere sahip olan magnezyum alaşımı nihai ürünlerden ancak ithalat yolu ile yararlanabilmektedir.

Ümit verici bir gelişme olarak Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Döküm Laboratuvarı bünyesinde kurulumu 2013 yılında tamamlanan entegre seri üretim hattı ile magnezyum alaşımı parçalar sorunsuz bir şekilde dökülebilmektedir. Bu konudaki çalışmaların artarak devam etmesi, Ülkemiz savunma sanayi açısından büyük önem taşımaktadır.

#### V. KAYNAKLAR

- [1] Vanlı, A. S., & Akdoğan, A., Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümü. MakinaTek (188), 368-372, (2013).
- [2] Mert, F., Özdemir, A., & Karatas, Ç., Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Döküm Yöntemiyle Kalıplanabilirliğinin Değerlendirilmesi. Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic Cilt:13 Sayı: 3 s. 165-176, (2010).
- [3] Kara, S. "Zırhlı Muharebe Araçlarında Kullanılan Zırh Plakalarında Kaynak Sonrası Isıl İşlemin Birleşim Mukavemetine Etkisinin Araştırılması" *Savunma Bilimleri Dergisi The Journal of Defense Sciences*, Sayı/Issue 2, 159-171, (2012).
- [4] National Research Council (U.S.). Opportunities in protection materials science and technology for future army applications, National Academies Press, Washington, D.C. (2011).
- [5] Fleming, S. "An Overview of Magnesium based Alloys for Aerospace and Automotive Applications" Yüksek Lisans Tezi, Graduate Faculty of Rensselaer Polytechnic Institute, New York (2012).
- [6] Cho, K., Sano, T., Doherty, K., Yen, C., Gazonas, J. M., Moy, P., Davis, B. & DeLorme, R. "Magnesium Technology and Manufacturing for Ultra Lightweight Armored Ground Vehicles" *Proceedings of the 2008 Army Science Conference*, ARL-RP-236, (2009).

- [7] Jones, T., DeLorme, R. D., Burkins, M. S., & Gooch, W. A. "Ballistic Performance Of Magnesium Alloy AZ31B" *23rd International Symposium On Ballistics Tarragona, Spain*, (2007)
- [8] Maupin, H., Nyberg, E., & Mathaudhu, S. N. "Magnesium Alloys in Army Applications: Past, Current and Future Solutions" *The Sixth Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, Atlantic City*, (2010)
- [9] Steinmetz, A., D. Investigation of an ovel passivation technique for gas atomized magnesium powders, Yüksek Lisans Tezi, IOWA State University, Ames, IOWA (2011).
- [10] Toptaş, V. Bir Alüminyum Alaşımı İle Basınçlı Döküm Yöntemi Kullanılarak Tabanca Gövdesi Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2014).
- [11] Öztürk, F., Kaçar, İ., "Magnezyum Alaşımaları ve Kullanım Alanlarının İncelenmesi" *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 1 Sayı 1, 12-20 (2012)
- [12] Vikipedi, 16 Ocak 2015
- [13] Vanlı, A.S. Magnezyum Alaşımalarının Basınçlı Dökümünde Ürün Kalitesine Etki Eden Proses Parametrelerinin Optimizasyonu, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2013).
- [14] Gupta, M. & Sharon, N.M.L., Magnesium, Magnesium Alloys, and Magnesium Composites, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey (2011)
- [15] Friedrich H.E., Mordike B.L. Magnesium Technology: Metallurgy, Design, Data, Applications, Springer Science & Business Media (2006)
- [16] Lawrence, T. "The Sikorsky R-4 Helicopter" *Advanced Materials & Processes* (2003)
- [17] Prouty, R. *Helicopter Aerodynamics Volume II*, lulu.com; First edition (2009)
- [18] Savunma Sanayi Müsteşarlığı, [http://www.ssm.gov.tr/anasayfa/hizli/duyurular/etkinlikler/torenter/Sayfalar/20140220\\_HMKTSP.aspx](http://www.ssm.gov.tr/anasayfa/hizli/duyurular/etkinlikler/torenter/Sayfalar/20140220_HMKTSP.aspx), 20 Şubat 2014
- [19] Aircraft Wheels, Tires, And Tubes, [http://navyaviation.tpub.com/14018/css/14018\\_411.htm](http://navyaviation.tpub.com/14018/css/14018_411.htm), 10 Ocak 2015
- [20] Aircraft Wheels, Tires, And Tubes, <http://www.slideshare.net/levennesen/aircraft-wheel-and-bearing-defect>, 10 Ocak 2015
- [21] <http://russianpatents.com/patent/245/2456722.html>, 20 Ocak 2015
- [22] Humvee Run-flat.An example of the element Magnesium, <http://periodictable.com/Items/012.16/index.html>, 15 Ocak 201
- [23] Phillips Plastics Corporation, New Technologies for Modernizing and Improving Ground Soldier Equipment, (January 2009)
- [24] Elektronik kumaşlar daha sağlıklı ve "hafif" bir hayat vaat ediyor, <http://bilimsol.org/bilimsol/malzeme/elektronik-kumaslar-daha-saglikli-ve-hafif-bir-hayat-vaadediyor>, 15 Ocak 2015
- [25] Her orduya lazım ileri askeri teknolojiler, [http://www.chip.com.tr/galeri/her-orduya-lazim-ileri-askeri-teknolojiler\\_1830\\_11.html](http://www.chip.com.tr/galeri/her-orduya-lazim-ileri-askeri-teknolojiler_1830_11.html), 18 Ocak 2015