

# OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ İÇİN MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KULLANIM POTANSİYELİ

**Kudret KANDEMİR\*, A. Çetin CAN\*\***

\*Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Kınıklı/Denizli

\*\*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Çamlık/Denizli

Geliş Tarihi : 23.05.2002

## ÖZET

Son zamanlarda ağırlığın azaltılması ve konforun yükseltilmesi ihtiyacı otomotiv uygulamalarında hafif malzeme kullanımına büyük ilgi uyandırmıştır. Mükemmel özgül dayanım ve rijitlik özellikleriyle magnezyum alaşımları, otomotiv endüstrisindeki uygulamalar için alüminyum ve çelik ile mukayese edilebilir düzeydedir. Bu yüzden araştırmalar magnezyum alaşımlarının özelliklerine odaklanmıştır. Bu çalışmanın amacı magnezyum alaşımlarının otomotiv endüstrisinde kullanım ve uygulanabilirliğini inceleyerek değerlendirmektir.

**Anahtar Kelimeler :** Magnezyum alaşımları, Otomotiv malzemeleri, Özgül dayanım

## POTENTIAL USE OF MAGNESIUM ALLOYS FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

### ABSTRACT

Recently, there is a high interest in using lightweight materials for automotive applications where weight reduction and improvement in comfort are needed. Magnesium alloys with excellent specific strength and stiffness properties can be comparable with steel and aluminum alloys for applications in the automotive industry. For this reason, the properties of magnesium alloys are in the focus of research. This study aims at reviewing and evaluating the prospects of magnesium alloys use and applications in the automotive industry.

**Key Words :** Magnesium alloys, Automotive materials, Specific strength

## 1. GİRİŞ

Otomotiv alanında yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarında, taşıtlardan daha yüksek yakıt verimliliğinin elde edilmesi, enerji tüketiminin azaltılması ve hava kirliliğinin önlenmesi konularındaki çalışmalar ağırlık kazanmıştır. Bunları elde etmenin yollarından biri de araçların ağırlığının azaltılmasıdır. Araçların ağırlığının azaltılması için hafif malzeme kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. Alüminyum ve Magnezyum alaşımlarının otomotiv üretiminde kullanılan malzemeler içindeki ağırlıkları artarak devam etmektedir.

Çevreyi kirletmeden korumanın en etkili yollarından biri kara ve demiryolu taşımacılığında CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılmasıdır. Avrupa ve Kuzey Amerika' da otomobil üreticileri aldıkları bir kararla 2010 yılı itibariyle yakıt tüketimini % 25 azaltmayı öngörmüşlerdir. Böylece CO<sub>2</sub> emisyonunda % 30'luk bir azalma elde edilecektir (Aghion et al., 2001).

Avrupa'da bir firma magnezyum alaşımlarının motorlu taşıt tasarımında stratejik öneminin farkına varmış, II. Dünya savaşı sonrasında başlattığı ilk magnezyum çağından sonra, birkaç yıl önce tekrar ikinci magnezyum çağını başlatmış ve magnezyum ve alaşımlarının motorlu araç tasarımındaki özel

talepleri karşılamak için bir araştırma enstitüsü kurmuştur (Friedrich and Schumann, 2001).

## 2. MAGNEZYUMUN VE ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Magnezyumun yoğunluğu  $1.74 \text{ g/cm}^3$  'tür. Alüminyuma göre % 35 daha hafiftir ve düşük sıcaklıkta ergir. Magnezyum alaşımları alüminyum alaşımları kadar dayanımı yüksek olmamakla birlikte özgül dayanım (dayanım/ağırlık) oranları daha yüksek olabilmektedir. Bunun sonucu olarak, magnezyum alaşımları hafifliğin önemli olduğu hava ve kara taşıt araçlarında ve el aletleri gibi makine ve cihazlarda kullanılmaktadır.

Magnezyumun, saf olarak dayanımı azdır ve soğuk şekillendirme kabiliyeti düşüktür. Soğuk şekil değiştirme yoluyla dayanımı çok az yükseltilebildiğinden, alaşımları daha çok kullanılır. Magnezyumun ana alaşım elementleri, alüminyum ve çinkodur. Her ikisinin de magnezyum içinde çözünebilirliği sıcaklık artarken artar. Böylece, çökeltme sertleşmesi olanağı doğar. Mangan da aynıdır; ancak magnezyumla ara bileşik meydana getirmez; fakat örneğin % 2 gibi yüksek mangan miktarında  $\alpha$ -mangan çökeltmesi olur ve bu çökeltme dayanımı artırır (Topbaş, 1993).

Magnezyum alaşımlarının hem dövülebilir (plastik şekil verilebilir) hem de dökülebilir (plastik şekil verilemez) ve her ikisinin de ısıtım işlem uygulanabilir ve uygulanamaz sınıfları vardır. Dayanımlarının artırılması, alaşımlama soğuk deformasyon, pekleşme, tane boyutunun küçültülmesi, çökeltme serleştirmesi ile sağlanır (Erdoğan, 1998).

Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının üstünlükleri (Mordike and Ebert, 2001);

- Metalik yapısal malzemelerin tümünden daha az yoğunluktadır,
- Yüksek özgül (spesifik) dayanıma sahiptir,
- İyi dökülebilirlik, yüksek basınçlı kalıp döküme uygundur,
- Yüksek hızlarda torna ve freze ile işlenebilir
- Kontrol altındaki bir atmosferde iyi kaynak edilebilir,
- Yüksek saflıkta kullanıldığında korozyon direnci iyileşir,
- Kolay üretilebilir,
- Polimer malzemelerle karşılaştırıldığında
  - Daha iyi mekaniksel özelliklere sahiptir,
  - Zamanla gevrekleşme özelliği daha düşüktür,

- Daha iyi elektriksel ve ısıtım iletkenlik özelliği,
- Geri kazanım.

Magnezyumun olumsuzlukları (Mordike and Ebert, 2001);

- Elastisite modülü düşüktür,
- Soğuk şekillendirilebilirlik ve tokluk sınırlıdır,
- Yüksek sıcaklıklarda dayanım ve sürünme direnci sınırlıdır,
- Katılma esnasında yüksek miktarda çekme olur,
- Yüksek kimyasal aktiviteye sahiptir,
- Bazı uygulamalarda korozyon direnci sınırlıdır.

### 2. 1. Magnezyum ve Alaşımlarının Özgül Dayanım ve Özgül Rijitlik Değerlerinin Diğer Malzemeler ile Karşılaştırılması

Malzemelerin özgül dayanım ve özgül rijitlik değerleri hafiflik istenen konstrüksiyonlar için önemlidir.

Çekme zorlamasında özgül dayanım :  $\frac{R_e}{\rho}$ ,  
değerleri

Eğme ve burma zorlamasında özgül dayanım :  $\frac{R_e^{2/3}}{\rho}$ ,  
değeri

Çekme zorlamasında özgül rijitlik değeri :  $\frac{E}{\rho}$ ,

Eğme ve burma zorlamasında özgül rijitlik :  $\frac{E^{1/2}}{\rho}$   
değeri

olarak alınır.

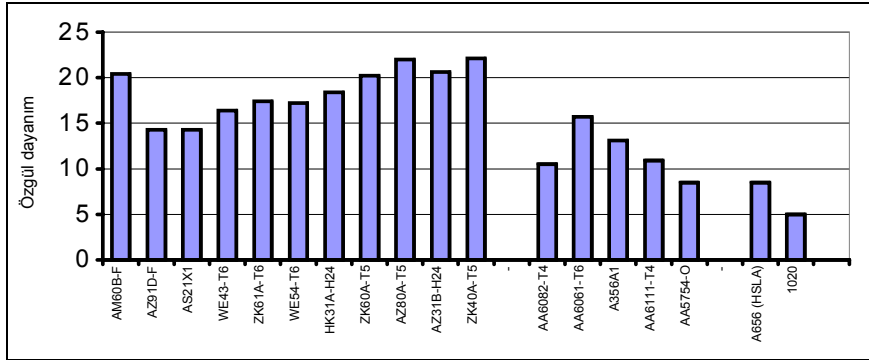
Bir malzemenin özgül dayanım değeri ne kadar yüksek olursa, aynı zorlamayı karşılamada daha hafif olur. Bir malzemenin özgül rijitlik değeri ne kadar büyük olursa o kadar çok rijit olur (az esneyebilir). Mesnetler arası mesafe uzun olan miller gibi elemanlarda, milin çökme miktarı az olması için, özgül rijitlik değerinin yüksek olması istenir iken, yaylar gibi darbeli yüklemeler altında çalışan elemanlar için özgül rijitlik değeri düşük olsun istenir. Tablo 1'de otomotiv endüstrisinde kullanılacak bazı magnezyum ve alüminyum alaşımları ile çeliklerin yoğunluk ve mekaniksel özellikleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 1, 2, 3'te verilen grafikler incelendiğinde yapısal veya döküm malzemesi olarak kullanılan magnezyum alaşımlarının özgül dayanım ve özgül rijitlik değerleri alüminyum alaşımlarından yüksek, çeliğe göre ise iki katı civarındadır. Bu özelliklerinin iyi olması magnezyum alaşımlarının yapısal malzeme olarak kullanılmasında büyük bir avantaja sahip olduğunu göstermektedir.

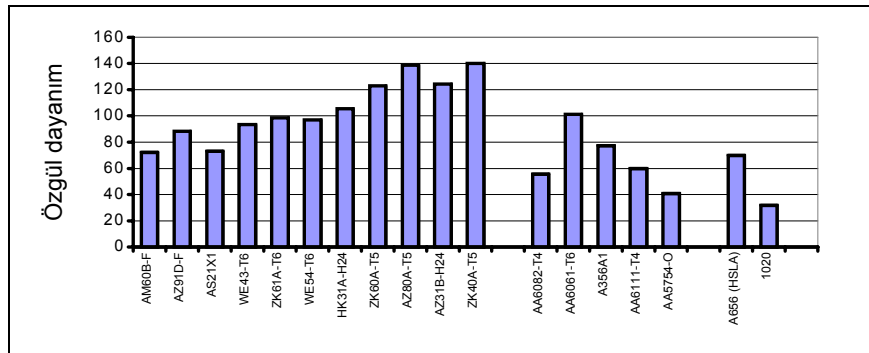
Tablo 1. Malzemelerin Yoğunlukları ve Bazı Mekaniksel Özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü*	Akma Dayanımı	Yoğunluk*	Çekme dayanımı	Uzama	Sertlik
	E (GPa)	Re (MPa)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Rm (MPa)	(%)	HB
Magnezyum alaşımları (ASTM No)						
AM60B-F Kalıp döküm	45	130	1.8	205	6	
AZ91D-F Döküm	44.8	160	1.81	230	3	
AS21X1 Kalıp döküm	45	130	1.78			
WE43-T6 Döküm	44.2	172	1.84	221	2	85
ZK61A-T6 Döküm	45	180	1.83	276	5	70
WE54-T6	44.4	179	1.85	255	2	85
HK31A-H24 Plaka	45	190	1.8	230	4	
ZK60A-T5 Dövme	45	225	1.83	300	4-6	
AZ80A-T5 Dövme	45	250	1.8	317	2-4	
AZ31B-H24 Sac	45	220	1.77	285	15	
ZK40A-T5 Ekstrüz.	45	255	1.82	275	4	
Alüminyum alaşımları (Aluminum Association)						
AA6082-T4 Ekstrüz.	70	150	2.7	330	8	
AA6061-T6 Al sac	69	275	2.7	310	12	95
A356 T6 Kum döküm	72.4	207	2.68	276	6	
AA6111-T4 Al Sac	70	160	2.7	305	25	
AA5754-O Al Sac	70	110	2.7	325	20	
Çelikler						
ASTM A656-80 (HSLA)	210	550	7.87	620		
AISI 1020 Çelik	200	250	7.87			

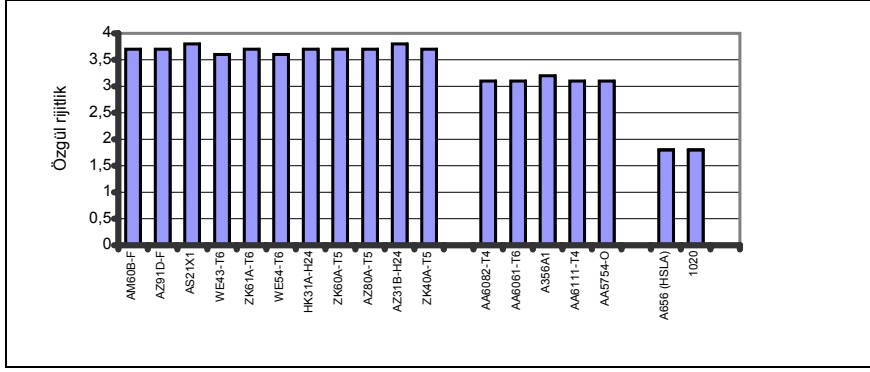
(\*) : Değerler <http://www.matweb.com>'dan alınmıştır.



Şekil 1. Eğme ve burma zorlamasında özgül dayanım (  $\frac{\text{MPa} \cdot \text{cm}^3}{\text{g}}$  ) değerleri



Şekil 2. Çekme zorlamasında özgül dayanım (  $\frac{\text{MPa} \cdot \text{cm}^3}{\text{g}}$  ) değerleri



Şekil 3. Eğme ve burma zorlamasında özgül rijitlik ( $\frac{\text{GPa} \cdot \text{cm}^3}{\text{g}}$ ) değerleri

## 2. 2. Magnezyum Alaşımlarının Titreşimleri Sönümlenme Özelliği

Bir metalin sönümlenme kapasitesi, titreşim enerjisine yutma (absorbe) ve metaller vasıtasıyla iletilen titreşimleri tutma elastikliğini ifade eder. Magnezyum ve alaşımları mükemmel sönümlenme kapasitesine sahiptirler ve bir çok uygulama için titreşim ve gürültüyü azaltabilirler. Bu

uygulamalardan biri titreşime duyarlı elektronik ekipmanların bağlandığı montaj bloklarında yapılan titreşim testleridir. Magnezyum alaşımlarının yüzde olarak sönümlenme kapasiteleri diğer malzemelerle karşılaştırılması Tablo 2’de verilmiştir (Davis, 1998). Magnezyum alaşımlarının bu özelliği, titreşim ve gürültünün azaltılmasının önemli olduğu otomotiv endüstrisi için olumlu bir yönü olarak değerlendirilebilir.

Tablo 2. Magnezyum ve Alüminyum Alaşımları ile Dökme Demirin Özgül Sönümlenme Kapasiteleri (%)

Malzeme	7 MPa	14 MPa	20 MPa	25 MPa	35 MPa
Magnezyum Alaşımları					
AM60A,B-F	5.33	13.33	24	32	52
AS21A-F	16	33.33	48	53.33	60
AZ31B-F	1.04	1.57	2.04	2.38	2.72
AZ91A,B,D-F	2.67	5.33	12	16	29.33
HK31-T6	0.37	0.66	1.12	-	-
Alüminyum Alaşımları					
355-T6	-	0.51	0.67	1	-
356-T6	0.3	0.48	0.62	0.82	1.2
Dökme Demir	-	5	12.2	14.2	16.5

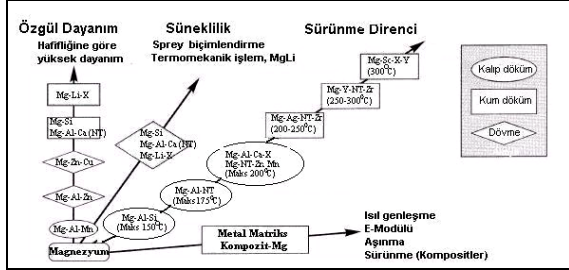
## 2. 3. Sürünme Direnci

Magnezyum alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda akma ve çekme dayanımları düşer. Sürekli yük altında yüksek sıcaklıklarda kullanılacak bir çok parçanın tasarımı müsaade edilebilecek en büyük deformasyona göre yapılır. Otomotiv hareket ve güç aktarma organlarında kullanılan dişli kutusu, yağ pompası gövdesi, emme manifoldu gibi parçalar yüksek sıcaklıklar altında çalışmak zorundadır. Bu nedenle sürünme direnci ve gerilmeden dolayı şekil değiştirme özellikleri önemlidir. Çeşitli vites kutusu gövdesi, pompa vb. parçalarının üretiminde sürünme dayanımları kötü alaşımların kullanılması durumunda; cıvatalı bağlantılar gevşeyecek ve yağ kaçağı, gürültü ve titreşim artacaktır (Aghion et al., 2001).

Magnezyum alaşımlarının sürünme dirençlerini artırmak için çalışmalar devam etmektedir. Magnesium Research Institute (MRI) ile Dead Sea Magnesium Ltd. Şirketi geliştirme çalışmalarını bir Avrupa araç üreticisi ve diğer ortaklarıyla birlikte yapmaktadır. Yapılan çalışmalar, uzun dönemde yüksek yükler altında ve 150°C’nin üzerindeki sıcaklıklarda, sürünme direnci yüksek kalıp döküm alaşımlarını geliştirmeyi amaçlamaktadır. Şekil 4’de magnezyum döküm ve dövme alaşımları olarak özgül dayanım, süneklilik, sürünme direnci ve diğer özellikler bakımından, gelişme yönleri verilmiştir (Mordike and Ebert, 2001).

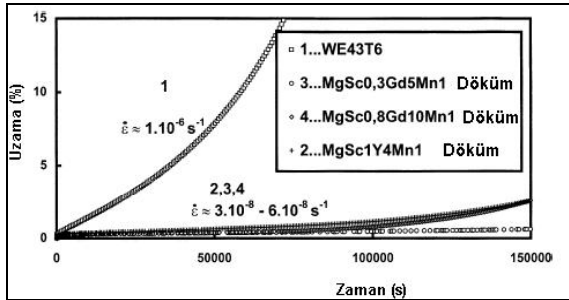
Son zamanlarda geliştirilen Mg-Mn-Sc alaşımları yüksek sıcaklıklarda oldukça yüksek sürünme direnci artışı göstermiştir. Araştırma çalışmaları ilk

olarak Mg-Sc ikili alaşımları üzerinde başlamıştır. Daha sonra çalışma sıcaklığı 300 °C olarak tasarlanan ikili Mg-Sc, Mg-Gd, üçlü Mg-Sc-Mn ve dörtlü Mg-Sc-Ce-Mn, Mg-Gd-Sc-Mn ve Mg-Y-Sc-Mn alaşımları geliştirilmiştir (Gröbner and Schmid, 2001; Mordike, 2001).



Şekil 4. Magnezyum alaşımlarının özgül dayanım, sürünme direnci ve diğer özelliklerinin değişimi

MgSc6Mn1 alaşımı 350 C°'de ve 30 MPa bir gerilme altında en iyi sürünme direncini gösteren ticari WE43 alaşımından 100 kat daha iyi bir sürünme direnci göstermiştir. Ayrıca skandiyum'un (Sc) özelliklerini geliştirmek ve yüksek maliyetini azaltmak için ilave alaşım elementleri bulunmaya çalışılmıştır. Gadolinyum (Gd), İtriyum (Y) ve Zirkonyum (Zr) bu amaç için düşünülmüştür. Sürünme direncini iyileştirmek için Mg-Mn-(Sc, Gd, Y, Zr) alaşımları Mg-Mn-Gd-Sc sistem alaşımları ve Mg-Mn-Y-Sc sistem alaşımları olarak geliştirilmiştir (Gröbner and Schmid, 2001). Şekil 5'de geliştirilen bu alaşımlardan WE43T6 alaşımına göre çok daha iyi bir sürünme direnci elde edildiği görülmektedir (Mordike and Ebert, 2001).



Şekil 5. Döküm Mg-Sc-Gd-Mn alaşımlarının WE43T6 alaşımıyla 350 °C'de 30 MPa' da sürünme eğrileri

## 2. 4. Üretim Yöntemleri

### 2. 4. 1. Döküm

Günümüzde magnezyumun alaşımlarının döküm yöntemiyle üretiminde basınçlı kalıp döküm tekniği hakim olmakla birlikte, kum, sürekli ve yarı sürekli kalıp gibi diğer tüm basınçlı ve basınçsız döküm yöntemleriyle üretilebilirler. Son zamanlarda

basınçlı kalıp döküm alaşımlarının kullanımı artmıştır. 1997'de tüm kalıp tekniklerinin % 81'i AZ91D alaşımının basınçlı kalıp dökümü iken, alaşımların gelişmesi sonucunda bu oran 2002 yılında % 67'ye ineceği ve AM alaşımlarının %19 dan % 28'e ve AS21-AE42 alaşımlarının da % 0.1'den % 5'e artacağı tahmin edilmektedir (Mordike and Ebert, 2001).

Ticari olarak kullanılan yüksek basınçlı döküm magnezyum alaşımlarının üç alaşım grubu vardır. Mg-Al-Zn-Mn (AZ), Mg-Al-Mn (AM) ve Mg-Al-Si-Mn (AS).

Magnezyum basınçlı kalıp döküm alaşımlarının avantajları aşağıda olduğu gibi sıralanabilir:

- Yüksek verimlilik,
- Yüksek hassasiyet,
- Yüksek kaliteli yüzey,
- İnce döküm yapısı,
- İnce duvarlı kompleks parçaların üretimi.

Alüminyumla karşılaştırıldığında;

- % 50'den daha yüksek döküm oranı,
- Çelik ingot kullanılabilir (uzun ömür),
- Daha düşük ısı içerir (enerji tasarrufu),
- İyi işlenebilirlik,
- Takım maliyetinin yarısı,
- Ergiyik halde yüksek akışkanlık.

Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümle üretilmesinin olumsuz tarafları;

- Yüksek doldurma oranının bir sonucu olarak gaz gözeneklerinin oluşması ve bu şekilde katılaşması,
- Et kalınlığı fazla olan parçaların dökülebilirliği sınırlıdır,
- Daha ucuz kalıp döküm alaşımlarında mekaniksel özellikler sınırlıdır,
- Alaşımların elde edilebilirliği sınırlıdır,
- Döküm mikro yapısının ince taneli olması nedeniyle sürünme direnci kötüdür,
- Mg-Al-nt (nadir toprak) alaşımlarının sürünme direncinin dökülebilirliği sınırlıdır (ve pahalıdır),
- Isıl işlem mümkün değildir,
- Kaynağa uygun değildir.

### 2. 4. 2. Plastik Şekil Verilebilen (Dövme) Magnezyum Alaşımları

Dövme magnezyum alaşımları çubuk, kütük, profil, tel, sac, plaka ve dövme olarak üretilirler. ASTM sınıflandırmasına göre B 107 ekstrüzyonda üretilmiş

çubuk, profil, boru ve telleri, B 91 dövme, B 90 saç ve plakaları kapsar.

Ekstrüzyonla üretilmiş çubuk ve profillerde normal dayanım için Mg-Al-Zn (AZ) alaşımları, orta dayanım derecelerinde geniş olarak Al ile dayanımı arttırılmış AZ31B kullanılır. AZ61A ve AZ80A alaşımları yapay yaşlandırma ile dayanımları arttırılabilir. AZ80A alaşımı ile içi boş şekiller elde edilemez. ZK60A yüksek dayanım ve tokluk istenen yerlerde kullanılır. Bu alaşıma ısıl işlem yapılır ve normalde yapay yaşlandırma yapılarak kullanılır. HM31A alaşımı orta dayanımlıdır. 150-425 °C arasında iyi dayanım ve sürünme direnci istenen yerlerde kullanılır. HM21A ve AZ31B çekiçle dövme için kullanılabilir. AZ80A T6 ısıl işlemin ardından yapay yaşlandırma ile maksimum sürünme dayanımı elde edilir.

Sac ve plakalar Mg-Al-Zn alaşımlarından haddelenir. AZ31B sac ve plaka için yaygın olarak kullanılanıdır ve 100 °C'nin üzerine kadar kullanılabilir. HK31A ve HM21A alaşımları 315-345 °C sıcaklarda kullanım için uygundur.

### 3. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEKİ UYGULAMALARI

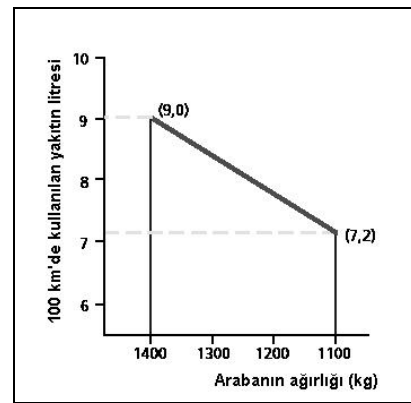
#### 3. 1. Taşıtların Ağırlığının Azaltılmasının Önemi

Araç tasarımında güç, emniyet ve konfor içeren diğer bütün taleplerin yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu taleplerin yerine getirilmesiyle araç ağırlığını artmaktadır. Bir otomobilin 1966'da yapılmış tasarımına göre ağırlığı 1130 kg'dır. Bu otomobilin 1998'deki ağırlığı ise 1400 kg'dır. Aşağıda bu taleplerin ağırlık olarak yaklaşık karşılıkları verilmektedir (Mordike and Ebert, 2001).

Yolcu emniyeti (şase bazında, hava yastığı, ekipmanlar vb.)	+ 80 kg
Çevreyi korunma (eksoz ve dışarıya taşan gürültü)	+ 35 kg
Titreşim ve iç gürültü (motor gürültüsü)	+ 95 kg
Klima	+ 20 kg

Hacim	+ 25 kg
Korozyondan korunma	+ 80 kg
Günlük ihtiyaçlar	+ 45 kg
Dolayısıyla daha yüksek performans ihtiyacı	+ 30 kg
<b>Toplam ağırlık artışı</b>	<b>+ 410 kg</b>
<b>Yüksek tasarım sayesinde elde edilen tasarruf</b>	<b>- 140 kg</b>
<b>Ağırlık artış sonucu</b>	<b>+270 kg</b>

Şekil 6'da gösterildiği gibi günümüzde kullanılan orta büyüklükteki bir sedan arabada hafif malzemenin kullanılmasıyla yakıttan elde edilen tasarruf 100 km'de 1.8 litredir. Dolayısıyla emisyonunda da % 20'lik bir azalma olacaktır.



Şekil 6. Arabadaki ağırlığın azalmasıyla elde edilecek yakıt tasarrufu (Anon. 1996)

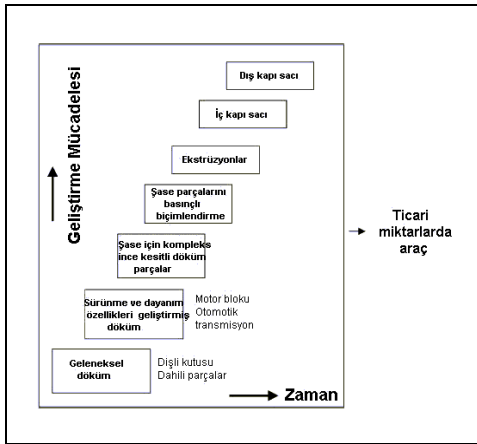
Magnezyumun temel karakteristiği Alüminyumdan % 35 daha hafif olmasıdır. Ağırlığın azalması sonucu yakıt tüketiminde ve CO<sub>2</sub> emisyonunda azalma elde edilecektir. Yakın gelecekte standartlar ve çevre ile ilgili yasalar araba üreticilerini 40-100 kg Mg alaşımını kullanmaya zorlayacaktır (Aghion et al., 2001).

Bazı motor parçalarında çelik ve alüminyum alaşımlarının yerine Mg alaşımlarının kullanılmasıyla çeliğe göre 48.5 kg ve alüminyuma göre 19.5 kg ağırlık azalacaktır. Böylece, her 100 km'de çeliğe göre 0.25 litre alüminyuma göre 0.1 litre yakıt tasarrufu elde edilecektir (Tablo 3) (Aghion et al., 2001).

Tablo 3. Magnezyum Alaşımlarının ve Diğer Malzemelerin Ağırlıklarının Karşılaştırılması

	Motor Bloku		Dişli Kutusu + Debriyaj	Karter	Dört Teker (jant)		Motor Kızağı	
	Dökme Demir	Al Alaşımı			Çelik	Al Alaşımı	Çelik	Al Alaşımı
Geleneksel çözüm (kg)	32	23.5	21.5 + 5	3	36	23	25	17.5
Magnezyum alaşımı (kg)	19	19	15 + 3	2	18	18	15	15
Azalan ağırlık (kg)	13	4.5	6.5	1	18	5	10	2.5
Azalma (%)	40	19	30	33	50	22.5	40	30

Magnezyum alaşımlarından farklı otomotiv parçaları için tasarlanan çeşitli üretim yöntemleri Şekil 7’de gösterilmiştir. Üretim yöntemleri olarak; thixo döküm ve sıcak metal işleme yöntemlerini (ekstrüzyon, haddeleme, dövme vb.) kullanarak araçlarda kullanılan bu parçaları üretmeyi amaçlamaktadır. Kısa dönemde halen elde edilebilen magnezyum alaşımlarını ve döküm yöntemlerini geliştirmek, orta vadede yarı katı döküm ve sıkıştırma döküm gibi özel döküm yöntemleri geliştirmek, uzun vadede ise yeni alaşımlarla ve yeni yöntemlerle dövme alaşım teknolojilerini geliştirmek hedeflenmektedir (Aghion et al., 2001).



Şekil 7. Magnezyumun araştırma stratejisinin gelişme yönü (Aghion et al., 2001; Friedrich, 2001)

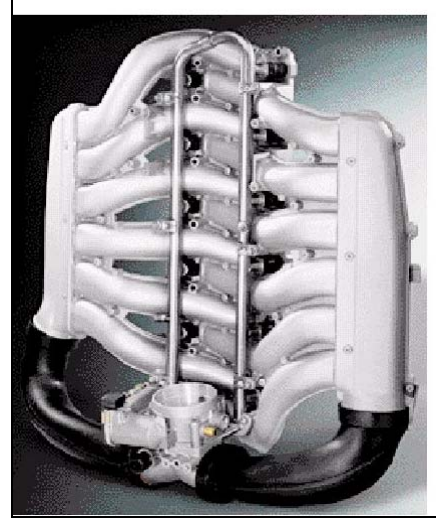
### 3. 2. Magnezyumun Motor ve Transmisyon Parçalarında Kullanılması

Dişli kutuları, emme manifoldları, karterler, silindir üst kapağı, yağ pompası gövdesi, arazi vites kutusu gibi motor parçalarının (Şekil 8 a-b) üretimi için Mg alaşımları bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu parçalar yüksek sıcaklıklarda çalıştığı için sürünme dayanımlarının, dökülebilirlikleri, korozyon dirençleri önem kazanmaktadır. Magnezyum Geliştirme Enstitüsü (MRI) Mg alaşımlarının sürünme dirençlerini artırmak, mekaniksel ve dökülebilirlik özelliklerini geliştirme çalışmaları

çerçevesinde 5 çeşit alaşım geliştirmiştir. Şekil 9’da bu alaşımların mekaniksel özellikleri ve 135 °C’de ve 85 MPa gerilme altında sürünme dayanımları verilmiştir. Bu alaşımların kalıp dökülebilirlik, korozyon direnci, oda sıcaklığındaki dayanımı ve kısa süreli yüksek sıcaklık dayanımı AZ91D alaşımına benzemektedir. Sürünme dayanımı 130-150 °C sıcaklıklarda AE42 alaşımından daha iyidir (Aghion et al., 2001).

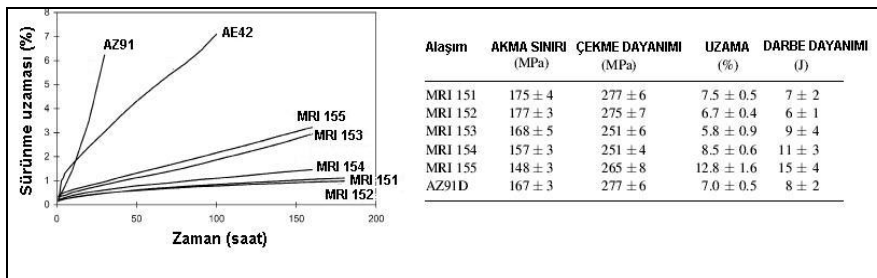


a)



b)

Şekil 8. Magnezyum alaşımlarından yapılmış a) dişli kutusu (Friedrich and Schumann, 2001), b) 12 silindirli bir motorun AZ91HP’den basınçlı kalıp dökümle imal edilmiş emme manifoldu (Pierburg AG)



Şekil 9. Geliştirilen MRI alaşımlarının AZ91 ve AE42 ile mekaniksel dayanım ve sürünme direnci olarak karşılaştırılması

### 3. 3. Magnezyum Alaşımlarının Dahili Parçalarda Kullanılması

Dahili parçaları; direksiyon teker göbeği, koltuk parçaları, gösterge panosu, fren ve debriyaj pedal dirseği, hava yastığı tutucusu vb parçaları kapsar. Emniyetle ilgili bu parçalar halen AM50A ve AM60B alaşımlarından üretilmektedirler. Bu alaşımlar dayanım, süneklik, enerji absorbe özelliği ve dökülebilirliğin iyi bir kombinasyonunu oluşturmaktadırlar. Uygulamalar için istenen daha yüksek süneklik ve tokluğu olan AM20 alaşımı kötü kalıp döküm özelliği göstermesine rağmen kullanılabilir. Bu yüzden magnezyum geliştirilme çalışmaları AM60B'nin dayanımı ve dökülebilirliği ile AM20'nin sünekliğinin ve tokluğunun birleştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

### 3. 4. Magnezyum Alaşımlarının Şase Elemanlarında Kullanılması

Şase elemanları olarak tekerlek jantları, süspansiyon parçaları, motor oturma kızıağı vb. gibi emniyet gerektiren parçaların üretimi konusunda magnezyumun kullanılması konusunda çalışmalar devam etmektedir. Bu parçalarda hem yüksek süneklik ve yüksek dayanımın hem de bir korozif ortamda değişken gerilmeler altında yüksek yorulma dayanımı bir arada olması gerekmektedir. Farklı mikro yapı ve kimyasal kompozisyonlar gerektiren böyle farklı özellikleri bir araya getirmek oldukça zordur. Geleneksel basınçlı kalıp tekniği ile üretilen AM60B ve AZ91D alaşımları bu istekleri karşılamada tatmin edici değildir. Bu yüzden vakum destekli basınçlı kalıp döküm, düşük basınç kalıp döküm, isostatik sıcak presleme gibi alternatif üretim teknikleri üzerinde durulmaktadır. Bir diğer çözüm mücadelesi dövme alaşımların şasi elemanlarında kullanılmasıdır. Çünkü dövme alaşımlar iyi bir dayanım ve süneklik özelliği göstermektedirler. Buna rağmen dövme alaşımların kullanım alanı sınırlıdır.

Kısaca özetlenecek olursa magnezyum alaşımlarının şase elemanlarında kullanılabilmesi için alaşımların ve üretim teknolojilerinin daha çok geliştirilmesi gerekmektedir (Aghion et al., 2001).

### 3. 4. Magnezyum Alaşımlarının Kaporta Elemanlarında Kullanılması

Bu parçalar döküm elemanları, sac elemanları ve ekstrüzyon elemanları olarak sınıflandırılabilir. İç bagaj kapağı gibi ince kesitli ve karmaşık kesitli parçaların başarıyla döküldüğü görülmüştür. Diğer uygulamalar yakın gelecekte kapı iç elemanları üzerinde olacaktır.

Magnezyum alaşımlarından üretilen saclar kaporta panellerinde istenen mekanik özellikler, korozyon direnci ve yüzey kalitesi ihtiyaçlarını karşılamaktan uzaktır. Bu yüzden sac üretimi geliştirilmelidir. İyi bir yüzey kalitesi için saclar 220 °C'nin üzerinde haddelenmemeli ve mekanik özellikleri akma sınırı 160 MPa, çekme dayanımı 250 MPa'dan, uzama % 20'den büyük olmalı ve 1500 mm genişliğinde üretilebilmelidir (Aghion et al., 2001).

## 4. SONUÇLAR

Otomotiv alanında yürütülen araştırma ve geliştirme çalışmalarının içerisinde enerji tüketiminin ve CO<sub>2</sub> kirliliğinin azaltılması çalışmaları büyük yer tutmaktadır. Bunu sağlamanın yollarından biri de dayanımı yüksek ağırlığı düşük malzemelerin kullanılmasıdır. Magnezyum alaşımları özgül dayanım ve özgül rijitlik değerleri açısından alternatif olduğu diğer malzemelerle mukayese edildiğinde daha yüksek değerlere sahiptir. Basınçlı döküm, sürekli kalıp döküm, kum döküm, ekstrüzyon ve dövme gibi çeşitli üretim yöntemleriyle karışık şekilli parçaların üretimi kolaydır. Bu özelliklerinden dolayı otomotiv alanında hafif malzeme olarak kullanılma potansiyeli yüksektir.

Magnezyum alaşımlarının otomotiv alanında daha fazla kullanılmasının engelleyen faktörler; yüksek sıcaklık dayanımı, sürünme direnci, korozyon direnci ve dökülebilme gibi zayıf özellikleridir. Magnezyum alaşımların geliştirilmesine yönelik çalışmalarda bu özelliklerin geliştirilmesi büyük yer tutmaktadır. Bu özelliklerin geliştirilmesinde başarılı olduğu ölçüde magnezyum alaşımlarının otomotiv ve başka alanlarda kullanımının artacağı anlaşılmaktadır.

## 5. KAYNAKLAR

Anonymous, 1996. Aluminum in the Automotive Industry European Aluminum Association 1996, Pp 8 <http://www.eaa.net/downloads/auto.pdf>.

Aghion E., Bronfin B., Eliezer D. 2001. The Role of Magnesium Industry in Protecting the Environment. Journal of Materials Processing Technology, (117), 381-385.

Davis, J. R., Edited By, 1998. Metals Handbook. 558-570 s. Second Edition. ASM International. ISBN: 0-87170-654-7.



Erdoğan, M. (çeviren), 1998. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri (The Science and Engineering of Materials). 3. Baskı. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Friedrich H., Schumann S. 2001. Research For a "New Age of Magnesium" in the Automotive Industry. Journal of Materials Processing Technology, (117), 276-281.

Gröbner J., Schmid-Fetzer R. 2001. Selection of Promising Quaternary Candidates From Mg-Mn-(Sc, Gd, Y, Zr) for Development of Creep-Resistant Magnesium Alloys. Journal of Alloys and Compounds, 320, 296-301.

Mordike B. L., Ebert T. 2001 Magnesium Properties-Potential. Materials Science and Engineering. A302, 37-45

Mordike, B. L. 2001. Development of Highly Creep Resistant Magnesium Alloys. Journal of Materials Processing Technology, (117), 391-394.

Pierburg AG A company of Kolbenschmidt Pierburg AG [http://www.kolbenschmidt-pierburg.com/KSWebGate/KSPG\\_WG\\_51.nsf/vwFiles/intakemanifold/\\$FILE/intake\\_manifold.pdf](http://www.kolbenschmidt-pierburg.com/KSWebGate/KSPG_WG_51.nsf/vwFiles/intakemanifold/$FILE/intake_manifold.pdf) pp.2

Topbaş M. A. 1993. Isıl İşlemler. 400 s. Prestij Basın Yayın ve Hizmetleri, İstanbul