

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM MALZEMENİN OTOMOTİV
SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan YILDIRIM

Anabilim Dalı: MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı: KONSTRÜKSİYON

ŞUBAT 2006

**ALÜMİNYUM MALZEMENİN OTOMOTİV
SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hakan YILDIRIM
(503021216)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Şubat 2006**

Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr. Vedat TEMİZ

Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Haydar LİVATYALI (İ.T.Ü.)

Y.Doç.Dr. Mehmet PALABIYIK (İ.T.Ü.)

ŞUBAT 2006

ÖNSÖZ

Otomotiv endüstrisi ülkemizde ve tüm dünyada endüstrinin lokomotif sektörüdür. Tüm dünyada yılda üretilen taşıt adetleri düşünüldüğünde, bu sektörün önemi bir kez daha anlaşılmaktadır.

Çevresel ve ekonomik gerekliliklerden ötürü taşıtların yakıt tüketimi, karbondioksit emisyon değerleri ve geri dönüştürülebilirlikleri büyük önem arz etmektedir. Araçları daha hafif üretmek, bu gereklilikleri yerine getirmede temel araçtır. Alüminyumda araçların daha hafif üretilmesini sağlayacak anahtar malzemedir. Aynı zamanda alüminyum, %100'e yakın oranlarda geri dönüştürülebilmektedir.

Bu çalışmada, alüminyumun bir mühendislik malzemesi olarak tanıtılmış, otomotiv endüstrisindeki bugün ve gelecekteki kullanım alanları belirtilmiştir. Alüminyumun ağırlık azaltımında anahtar malzeme olduğu, çelik malzemedan üretilen bir minibüs bagaj kapağını, alüminyum malzemedan üretilecek şekilde yeniden tasarlanması uygulaması ile örneklenmiş ve desteklenmiştir.

Bu çalışma süresince desteklerini esirgemeyen başta danışman hocam Sn. Y.Doç.Dr. Vedat Temiz'e, değerli tez jüri üyelerim Sn. Doç.Dr. Haydar Livatyalı ve Sn. Y.Doç.Dr. Mehmet Palabıyık'a ve Otoyol San. A.Ş. Ürün Geliştirme Müdürü Sn. Dr. Sezai Taşcan'a çok teşekkür ederim.

OCAK 2006

Hakan YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM KEŞFİNİN TARİHÇESİ	2
2.1 Endüstriyel Üretimin Gelişimi	2
3. FAYDALI ÖZELLİKLER VE PAZARLAR GELİŞTİRME	4
3.1 Saf alüminyumun özellikleri	4
3.2 Alüminyum Alaşımlar	5
3.2.1 Alüminyum Alaşımların Sınıflandırılması	6
3.2.2 Alüminyumun temel pazarları	8
3.2.2.1 Taşımacılık	9
4. BİRİNCİL ALÜMİNYUM VE YARI MAMULLERİN ÜRETİMİ	10
4.1 Birincil Alüminyum	10
4.2 Yarı Mamüller	13
5. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ	15
5.1 Önemli Fiziksel Özellikler	15
5.1.1 Atomsal ve Kristal Yapı	15
5.1.2 Özkütle	16
5.1.3 Elektrik iletkenliği ve öz direnç	16
5.1.4 Isıl iletkenlik	16
5.1.5 Yansıtma ve emisyon	17
5.1.6 Korozyon dayanımı	17
5.1.7 Termal Uzama	18
5.1.8 Erime Sıcaklığı	18
5.2 Mekanik Özellikler	19
5.2.1 Gerilme Dayanımı	19

5.2.2 Mukavemet/Ağırlık Oranı	20
5.2.3 Elastiklik Özelliği	21
5.2.4 Uzama	22
5.2.5 Basma	23
5.2.6 Yataklama	23
5.2.7 Makaslama (Kesme)	24
5.2.8 Sertlik	24
5.2.9 Süneklik	25
5.2.10 Sürünme Dayanımı	25
5.2.11 Darbe Dayanımı	26
5.2.12 Kırılma Özellikleri	26
5.2.13 Yorulma	27
5.3 Alüminyum ve Alaşımlarda Isıl İşlemler	28
5.3.1 Isıl işlem esasları	28
5.3.1.1 Tavlama	29
5.3.1.2 Solüsyona Alma İşlemi	29
5.3.1.3 Su Verme	30
5.3.1.4 Soğuk Suda Su Verme	30
5.3.1.5 Sıcak Suda Su Verme	30
5.3.1.6 Püskürterek Su Verme	31
5.3.1.7 Yaşlanma Olayı	31
5.4 Genel Birleştirme Özellikleri	31
6. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE ALÜMİNYUM	33
6.1 Taşıtlarda daha fazla alüminyum	33
6.1.1 Taşıtlarda alüminyum kullanımının kısa tarihçesi	35
6.2 Alüminyumun otomotiv sektöründe yaygınlaşarak kullanımını sağlayan anahtar özellikleri	39
6.2.1 Mukavemet	39
6.2.2 Hafiflik	39
6.2.3 Yüksek mukavemet-ağırlık oranı	39
6.2.4 Esneklik	39
6.2.5 Korozyon dayanımı	40
6.2.6 Diğer özellikler	40
6.3 Taşıtlarda kullanılan alüminyum parçaların şekillendirme yöntemine göre değerlendirilmesi	41
6.4 Taşıtlarda Alüminyum Döküm Kullanımı	42
6.4.1 Kutular	45
6.4.2 Motor Parçaları	46
6.4.3 Piston	48
6.4.4 Emme manifoldu	49
6.4.5 Akslar	50
6.4.6 Fren parçaları	51
6.4.7 Braketler	52
6.4.8 Yakıt enjeksiyon sistemi	53
6.4.9 Jantlar	54
6.4.10 Alüminyum Dökümde Öngörüler	55
6.5 Alüminyum gövde	56
6.5.1 Alüminyum gövde panelleri	56
6.5.1.1 Çökme dayanımı	58

6.5.1.2 Panellerin esnemesi	58
6.5.1.3 Bükülme ve burulma rijitliği	60
6.5.1.4 Titreşim	61
6.5.1.5 Yorulma	61
6.5.2 Alüminyum ekstrüzyon gövde profilleri	62
6.5.2.1 Çarpışma enerjisi emişi	65
6.5.2.2 Yorulma	65
6.5.3 Gövdesi alüminyum-yoğun tasarlanan bir aracın incelemesi	67
6.5.3.1 Konstrüktif Detaylar	68
7. IVECO-DAILY MARKA MİNİBÜS ARKA BAGAJ KAPAĞININ ALÜMİNYUM MALZEMEDEN YENİDEN KONSTRÜKSİYON UYGULAMASI	70
7.1 Bagaj Kapağının Uygulanacağı Daily 18+1 Aracın Genel Özellikleri	71
7.2 Ürünün ve üretim sürecinin topolojik yapıları	71
7.2.1 Ürünün topolojik yapısı	71
7.2.2 Üretim sürecinin topolojik yapısı	72
7.2.3 Tasarımın temel özellikleri	72
7.2.3.1 Fonksiyonlar	72
7.2.3.2 Gereksinimler	73
7.2.3.3 Özellikler	73
7.2.4 İstenilen malzeme özellikleri	74
7.2.4.1 Kullanılabilecek muhtemel malzemeler ve malzeme seçimi	74
7.2.5 Alaşımların seçimi	75
7.2.5.1 Alüminyum levhaların alaşımlarının seçimi	75
7.2.5.2 Alüminyum ekstrüzyon profillerin alaşımlarının seçimi	76
7.3 Bagaj kapağı formunun tasarımı	77
7.3.1 Statik tasarım ölçütü	78
7.3.1.1 Mukavemet tasarımı	78
7.3.1.2 Eğilme tasarımı (Rijitlik Tasarımı)	78
7.3.1.3 Mukavemet-Eğilme kıyaslaması	79
7.3.1.4 Yorulma	80
7.3.1.5 Bölgesel tasarımın önemi	81
7.4 Mevcut bagaj kapağının incelemesi	81
7.5 Mevcut bagaj kapağının FEM analizi	83
7.5.1 Sonlu elemanlar ağ yapısı	84
7.5.2 Gerilme sonuçları	85
7.5.3 Yer değiştirme (Sehim)	86
7.5.4 Birim şekil değişimi (Strain)	87
7.5.5 Tasarım kontrolü	88
7.6 Mevcut kapak tasarımında kullanılan karkas profilinin incelemesi	89
7.7 Yeni bagaj kapağı tasarımı	90
7.7.1 Yeni karkas kesiti tasarımı	91
7.8 Yeni tasarlanan bagaj kapağının FEM analizi	92
7.8.1 Sonlu elemanlar ağ yapısı	93
7.8.2 Gerilme sonuçları	94
7.8.3 Yer değiştirme (Sehim)	95
7.8.4 Tasarım kontrolü	96
7.9 Mevcut bagaj kapağı tasarımı ve gerçekleştirilen yeni bagaj kapağı tasarımının karşılaştırılması	97

8. SONUÇ	99
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	103

KISALTMALAR

EAA	: European Aluminum Association
CPS	: Core Packaging System
ABS	: Anti-lock Brake System
NVH	: Noise Vibration Harshness
BIW	: Body in White
LCA	: Life Cycle Analysis
CTP	: Cam Takviyeli Plastik
FEM	: Finite Elements Method

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 Üretim bölgeleri bazında dünya birincil alüminyum üretimi	13
Tablo 5.1 Alüminyumun fiziksel özellikleri	19
Tablo 5.2 Alüminyum malzemenin mekanik özelliklerinin değerleri	28
Tablo 6.1 Taşıtlarda kullanılan alüminyum parçaların şekillendirme yöntemleri ve ağırlıkları	41
Tablo 6.2 Taşıtlarda kullanılan bazı alüminyum parçalar ve bunların şekillendirme yöntemleri.....	42
Tablo 6.3 Taşıt araçlarında kullanılan bazı parçalar ve bunların üretildiği alüminyum alaşımlar	43
Tablo 6.4 Bir otomobilde kullanılan alüminyum döküm parçalar ve bunların ortalama ağırlıkları	45
Tablo 6.5 Taşıtlarda kullanılan bazı alüminyum döküm alaşımları ve bunlardan üretilen parçalar	45
Tablo 6.6 Alüminyum gövde panel alaşımlarının mekanik özellikleri.....	62
Tablo 6.7 Alüminyum ekstrüzyon alaşımlarının mekanik özellikleri.....	65
Tablo 7.1 Bagaj kapağının topolojik yapısı	72
Tablo 7.2 Muhtemel malzemelerin karşılaştırılması.....	74
Tablo 7.3 Alüminyum gövde panel alaşımlarının karşılaştırması A:En iyi B:Daha iyi C:İyi.....	75
Tablo 7.4 Alüminyum gövde ekstrüzyon profil alaşımlarının karşılaştırması A:En iyi B:Daha iyi C:İyi (d):Önerilmemektedir	76
Tablo 7.5 Mevcut ve yeni tasarlanan bagaj kapaklarının karşılaştırması	97

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Dünya alüminyum üretimi	3
Şekil 3.1 Saf alüminyumun mekanik özellikleri	5
Şekil 3.2 Alüminyum alaşımları seçim aralığı değişimi	6
Şekil 3.3 Çeşitli alüminyum alaşımlarının karşılaştırılması	7
Şekil 3.4 Avrupa'da alüminyumun pazar oranları	8
Şekil 3.5 Avrupa'da alüminyumun üretim yöntemine göre pazar oranları	8
Şekil 4.1 Alüminanın elde edilme aşamaları	11
Şekil 4.2 Alüminyumun elde edilme aşamaları	12
Şekil 4.3 Elektroliz reaksiyonu için gerekli enerjinin yıllara göre dağılımı	13
Şekil 5.1 Alüminyumun diğer metal ve metal alaşımlarla karşılaştırıldığı gerilme/uzama eğrileri	20
Şekil 5.2 Alüminyumun diğer metal ve metal alaşımlarla özkütle temelli mukavemet karşılaştırması	21
Şekil 5.3 Alüminyum alaşımların basma, çekme, kesme dayanımları ve sertlikleri	24
Şekil 5.4 110 MPa gerilme altındaki AlCu alaşımının direnme eğrileri	26
Şekil 6.1 Henry Ford ilk ve son Ford T modelleriyle birlikte	36
Şekil 6.2 Kuzey Amerika'da üretilen taşıtlardaki alüminyum kullanım miktarının zamanla artışı	38
Şekil 6.3 Otomobillerde kullanılan alüminyum döküm parçalar	44
Şekil 6.4 Alüminyum döküm yöntemiyle üretilen bazı otomobil parçaları a) yağ karteri, b) su pompası kutusu, c) debriyaj kutusu, d) otomatik vites kutusu	46
Şekil 6.5 Yüksek oranda alüminyum kullanılarak üretilmiş yüksek performanslı bir motor	48
Şekil 6.6 Alüminyum döküm yöntemiyle üretilmiş bir motor pistonu	49
Şekil 6.7 Alüminyum döküm yöntemiyle üretilmiş emme manifoldu	50
Şekil 6.8 Yüksek oranda alüminyum kullanılan bir otomobil arka aksı	51
Şekil 6.9 Yüksek oranda alüminyum kullanılmış bir fren sistemi	52
Şekil 6.10 Alüminyum döküm yöntemiyle üretilmiş bir braket	53
Şekil 6.11 Alüminyum kullanılmış bir enjektör	54
Şekil 6.12 Alüminyum döküm yöntemiyle üretilmiş bir otomobil jantı	55
Şekil 6.13 Alüminyumdan ve çelikte üretilmiş iki farklı motor kaputu tasarımı	60
Şekil 6.14 Panel rijitliğinin farklı etkenlerle değişimi	61
Şekil 6.15 Örnek bir alüminyum gövde	62
Şekil 6.16 Alüminyum çarpma kutusu	63
Şekil 6.17 Farklı alüminyum ekstrüzyon kesitlerin eksenel çarpma testi sonuçları	64
Şekil 6.18 İşlenmiş profillerin, alüminyum ekstrüzyon profillerle değiştirilmesi	66
Şekil 6.19 Audi A8	67
Şekil 6.20 Üretim yöntemlerine göre A8'in gövde yapısında kullanılan alüminyumlar	68
Şekil 6.21 Konstrüktif Detaylar a) sac parçalar (dış yüzey), b) kapı çerçeveleri 1) Tek parça ekstrüzyon 2) sac parçası 3) dışarıdan görünmeyen kapı konstrüksiyon parçası, c) doğrudan bağlantılı parçanın şematik görünümü	68
Şekil 7.1 Daily minibüsün genel görünüşü	70
Şekil 7.2 Otomotiv endüstrisinde kullanılan alüminyum parçaların yaşam döngüsü	71
Şekil 7.3 Alüminyum ve çelik I kesitlerin karşılaştırması	79

Şekil 7.4 Daily bagaj kapağının içten görünüşü	82
Şekil 7.5 Daily bagaj kapağının dıştan görünüşü	82
Şekil 7.6 Mevcut bagaj kapağının genel ölçüleri	83
Şekil 7.7 Mevcut bagaj kapağının FEM analizindeki sabit bölgeleri ve uygulanan kuvvetler	84
Şekil 7.8 Mevcut bagaj kapağının mesh yapısı.....	85
Şekil 7.9 Mevcut bagaj kapağının gerilme dağılımı	86
Şekil 7.10 Mevcut bagaj kapağının yer değiştirme dağılımı.....	87
Şekil 7.11 Mevcut bagaj kapağının birim şekil değişimi dağılımı.....	88
Şekil 7.12 Tasarım emniyet faktörü dağılımı.....	89
Şekil 7.13 Mevcut karkas profili kesiti	90
Şekil 7.14 Yeni bagaj kapağının genel ölçüleri	91
Şekil 7.15 Yeni karkas profili kesiti.....	92
Şekil 7.16 Yeni bagaj kapağının mesh yapısı	93
Şekil 7.17 Yeni tasarlanan bagaj kapağının gerilme dağılımı.....	94
Şekil 7.18 Yeni tasarlanan bagaj kapağının yer değiştirme dağılımı.....	95
Şekil 7.19 Tasarım emniyet faktörü dağılımı.....	96

SEMBOL LİSTESİ

A	: Alan
d	: Çap
d_{al}	: Alüminyumun esnemesi
d_{st}	: Çeliğin esnemesi
E	: Elastisite modülü
E_{al}	: Alüminyumun elastisite modülü
E_{st}	: Çeliğin Elastisite modülü
I	: Atalet momenti
I_x	: X eksenindeki atalet momenti
I_y	: Y eksenindeki atalet momenti
K	: Yük ve destek faktörü
L	: Kiriş boyu
M	: Moment
P	: Basınç
R_m	: Çekme mukavemeti
S	: Emniyet faktörü
t	: Plak kalınlığı
t_{al}	: Alüminyum panelin kalınlığı
t_{st}	: Çelik panelin kalınlığı
λ	: Narinlik oranı
σ_{min}	: En düşük gerilme
σ_{max}	: En büyük gerilme
σ_o	: Ortalama gerilme
σ_g	: Gerilme genliği
σ_{0.2}	: Malzemenin akma sınırı
σ_{0.2a}	: Alüminyumun akma sınırı
σ_{0.2s}	: Çeliğin akma sınırı
δ	: Elastik deformasyon

ALÜMİNYUM MALZEMENİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMALARI

ÖZET

Alüminyum, Dünya yerkabuğunda üçüncü en çok bulunan elementtir. Bunun yanında endüstriyel çapta üretimi ancak 19.yüzyılda başlamıştır. Çok genç bir metal olmasına rağmen, bugün bakır ve alaşımları, kurşun, kalay ve çinko gibi tüm demir dışı metallerin toplam kullanımından daha çok miktarda kullanılmaktadır. Alüminyum özellikle son 50 yılda, birçok sektörde büyük ilerleme kaydetmiş bir metaldir. Günümüzde alüminyum, proses parametreleri bilinen, birçok farklı uygulama alanında başarı ile kullanılan bir malzemedir. Birçok yönden, dünyanın en çok kullanılan metali olan çelikle karşılaştırılabilecek özelliklere sahiptir.

Alüminyum düşük özkütlesi sayesinde, otomotiv endüstrisi için, yakıt ekonomisi sağlanmasında ve düşük emisyon değerlerinin yakalanmasında anahtar malzemedir. Geçtiğimiz on yılda alüminyum, otomotiv endüstrisinde önemli bir ilerleme yakalamıştır.

Bu çalışmada alüminyumun, otomotiv endüstrisi için bir mühendislik malzemesi olarak ele alındı ve bu doğrultudaki özellikleri belirlendi. Otomotiv endüstrisinde, günümüzdeki uygulamaları ve gelecekteki muhtemel uygulamaları gösterildi. Son olarak yapılan uygulamada, mevcutta çelikten üretilen bir minibüs bagaj kapağı alüminyum malzemedan tasarlandı ve sonlu elemanlar metoduyla statik analizleri gerçekleştirildi.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, Otomotiv, Konstrüksiyon, Sonlu elemanlar, Bagaj Kapağı.

THE APPLICATIONS OF ALUMINUM IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

SUMMARY

Aluminum is the third most abundant element in the earth's crust. However, the manufacturing of aluminum as an industrial material started, relatively late, in the 19th Century. In spite of being a young metal, today its usage is more than the total usage of the other non ferrous metals such as; copper and its alloys, lead, tin and zinc. Aluminum is a material; which has especially progressed in the last 50 years in lots of industries and today its process parameters are well known and it is used in many different applications successfully. For most of the cases, aluminum has comparable properties to steel.

Thanks to its low density, it is a key material for the automotive industry to provide fuel economy and to reach the low emission grades. Aluminum has progressed in the automotive industry in the last ten years.

In this study, aluminum is evaluated as an engineering material for the automotive industry and its properties are determined in this manner. The applications of aluminum in the automotive industry for today and for the future are indicated. Finally, as an application, a steel made back door of a minibus is redesigned to be manufactured from aluminum. Its mechanical analyses are executed via finite elements method.

Keywords: Aluminum, Automotive, Construction, Finite Elements, Luggage Door.

1. GİRİŞ

Alüminyumun keşfi 1800'lü yıllarda, gelişmiş bir üretim süreci bulunması ise 1870'li yıllarda gerçekleşmiştir. Buna rağmen alüminyum her yıl diğer demirdışı metallerin toplamından hacimsel olarak daha fazla üretilmektedir.

Alüminyum, Dünya üzerinde en çok bulunan 3. elementtir. Dünya'nın yapısının %8'ni alüminyum oluşturmaktadır. Kaynakları azalmakta olan Dünya'da, alüminyumun bu özelliği çok önemli bir faktördür.

Dünya'da bu oranda bulunan bir metal neden daha önce keşfedilmedi? Bunun en önemli sebebi alüminyumun doğada hiçbir zaman metal formunda bulunmamasıdır. Alüminyum birçok kayada, kilde, toprakta ve bitki örtüsünde oksijen ve diğer elementlerle birleşmiş şeklinde bulunur.

Alüminyum içeren bileşenler ilk insanlardan beri kullanılmaktadır. Eski Ortadoğu medeniyetleri, alüminyum tuzlarını boya ve ilaç ve yapımında kullanmakta idi. Şu anda bu tuzlar, diş macunu ve sindirim sistemi tabletlerinde kullanılmaktadır. Alum¹, çift sülfat içeren alüminyum, yüzyıllardır tıp alanında birçok yararlı amaçla kullanılmaktadır [1].

¹ Şap, $M_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$

2. ALÜMİNYUM KEŞFİNİN TARİHÇESİ

1807 yılında Sir Humprey Davy, İngiliz bilim adamı, “Alum bilinmeyen bir metal’in tuzudur” diyerek elementin varlığını varsaymıştır. Bu metale “alumium” demiştir. Daha sonraki bilim adamların tarafından bu isim alüminyum olarak telaffuz edilmiştir.

Davy’nin çalışmalarını takiben Hans Christian Oersted, potasyum amalgamı, alüminyum klorid ile ısıtarak küçük alüminyum zerrecikleri elde etmiştir. 1845 yılında Wöhler, Almanya’da metal’in birçok özelliğini belirlemiştir. Bunların içerisinde, önemli derecede düşük bir özkütleye sahip olduğu da vardır [1].

2.1 Endüstriyel Üretimin Gelişimi

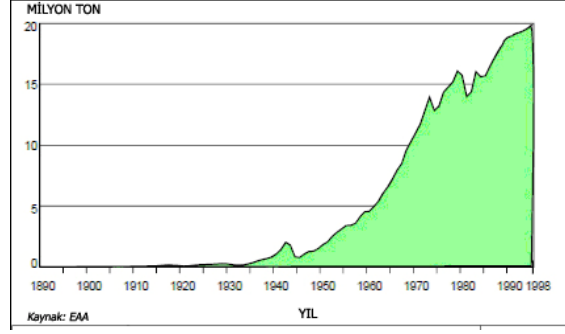
1886 yılında Charles Martin Hall ve Paul L.T. Heroult alüminyum Oksitten, (Alumina) elektrolitle alüminyum üretme metodunu buldular. Hall Amerika’da Heroult ise Fransa’da bu konu hakkında patent aldılar ve bu buluşun endüstri üzerinde çok büyük etkisi oldu.

Hall-Heroult prosesinin başarısı, 1888 yılında Karl Bayer’in boksit cevherinden alumina elde edilmesi prosesini geliştirmesiyle birleşti. 1890 yılına gelindiğinde alüminyumun fiyatı, Daville² metoduyla üretime göre 80% oranında düşmüştü. Metal ticari duruma gelmişti. Bundan sonra yapılması gereken, alüminyuma kullanım alanları bulunmasıydı.

İlk hedef pazarlar bakır, pirinç ve bronzun kullanım alanlarıydı. Yaşanılan problemlere rağmen 1885 yılında yıllık 200 ton olan alüminyum üretimi, 1990

² Claire Deville, Fransız bilim adamı.

yılında 18 milyon ton alüminyum ve 4 milyon ton geri dönüştürülen alüminyuma ulaşmıştır. Şekil 2.1’de Dünya alüminyum üretimi gösterilmektedir [1].



Şekil 2.1 Dünya alüminyum üretimi [1]

3. FAYDALI ÖZELLİKLER VE PAZARLAR GELİŞTİRME

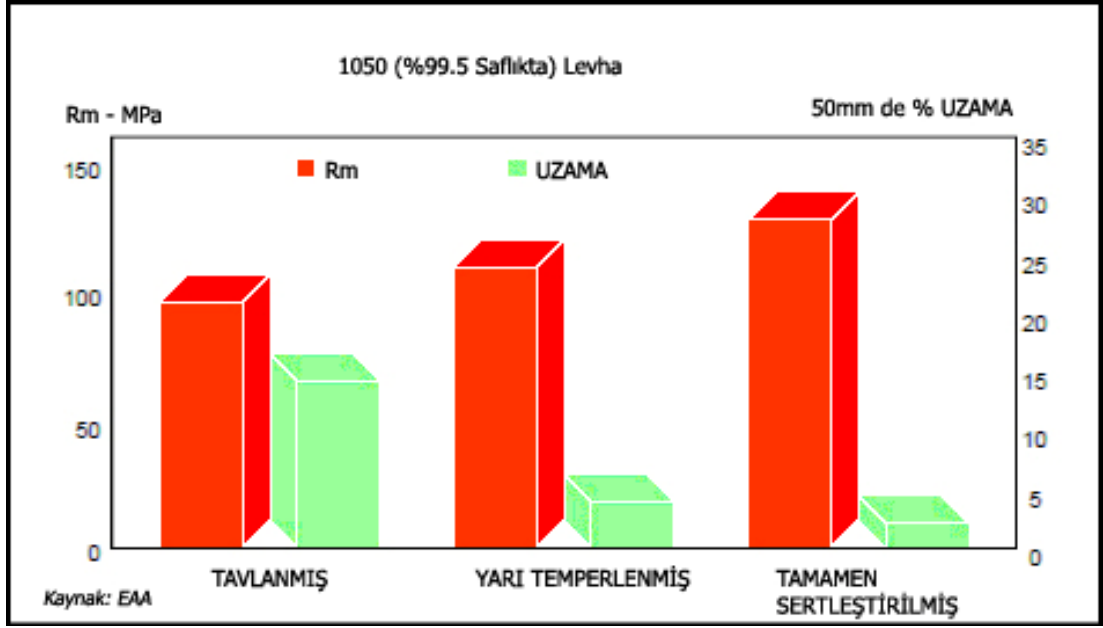
Alüminyumun keşfinden sonra en önemli konu bu malzemenin kullanılabileceği pazarlar bulmak veya geliştirmektir. Malzemeye pazarlar bulabilmek için öncelikle malzemenin özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

3.1 Saf alüminyumun özellikleri

Saf alüminyum, diğer metallerle kıyaslanırsa yumuşak ve mukavemeti sınırlı bir metaldir. Alüminyum elektriği ve ısıyı çok iyi iletir, bu özellikleri kütle bazında bakırdan daha iyidir. Yüksek sünekliğe sahiptir. Şekil 3.1’de saf alüminyumun çekme mukavemeti (R_m) ve yüzde cinsinden uzama miktarı gösterilmektedir.

Doğal oksit tabakası, metale yüksek oranda korozyon dayanımı sağlar. İyi bir ısı ve ışık yansıtıcısıdır. Isı yayıcılığı düşüktür.

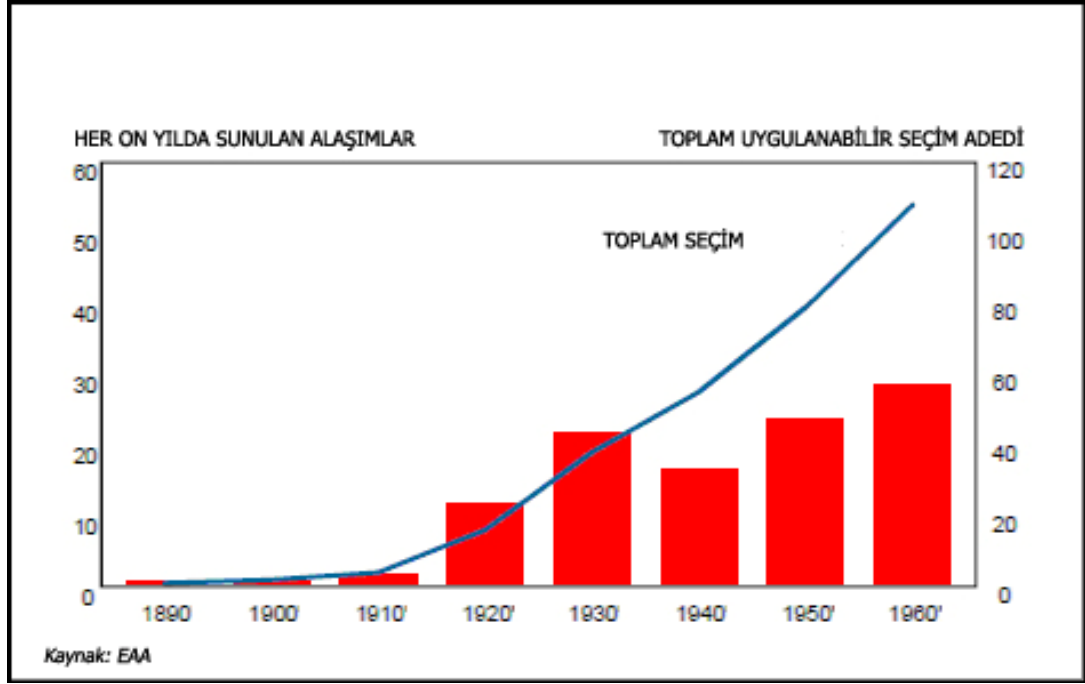
Alüminyumun özkütlesi, çeliğin üçte biri kadardır. Saf metal dövülebilir durumdadır ve temel üretim yöntemleri ile kolayca işlenebilir. Haddeleme gibi soğuk işlemler metalin mukavemeti ve sertliğini artırır. Döküm karakteristiği kötüdür [1].



Şekil 3.1 Saf alüminyumun mekanik özellikleri [1]

3.2 Alüminyum Alaşımlar

1886'dan bile önce alüminyum, bronzda ve çelik üretiminde oksidant olarak yer almıştır. Endüstriyel olarak kullanılan ilk alaşımın tarihi 1888'dir. O günden bu yana, her biri farklı özelliklere sahip yeni dövme ve döküm alaşımları geliştirildi. Alaşım seçim aralığının geniş olması çok önemli bir avantajdır (Şekil 3.2). Ticari olarak kullanılan alaşımların sayısı çok daha azdır. Tasarımcılar, bildikleri özelliklerde takılı kalmamalıdır; bu yeni ürünler veya uygulamalar geliştirmek için mantıklı bir yol değildir [1].



Şekil 3.2 Alüminyum alaşımları seçim aralığı değişimi [1]

3.2.1 Alüminyum Alaşımların Sınıflandırılması

Endüstriyel alaşımlar sekiz ana grupta ele alınır:

- 1xxx: En az 99% saflıkta alüminyum
- 2xxx: Alüminyum ve bronz alaşımları
- 3xxx: Alüminyum ve manganez alaşımları
- 4xxx: Alüminyum ve silikon alaşımları
- 5xxx: Alüminyum ve magnezyum alaşımları
- 6xxx: Alüminyum, magnezyum ve silisyum alaşımları
- 7xxx: Alüminyum, çinko ve magnezyum alaşımları
- 8xxx: Diğer alaşımlar

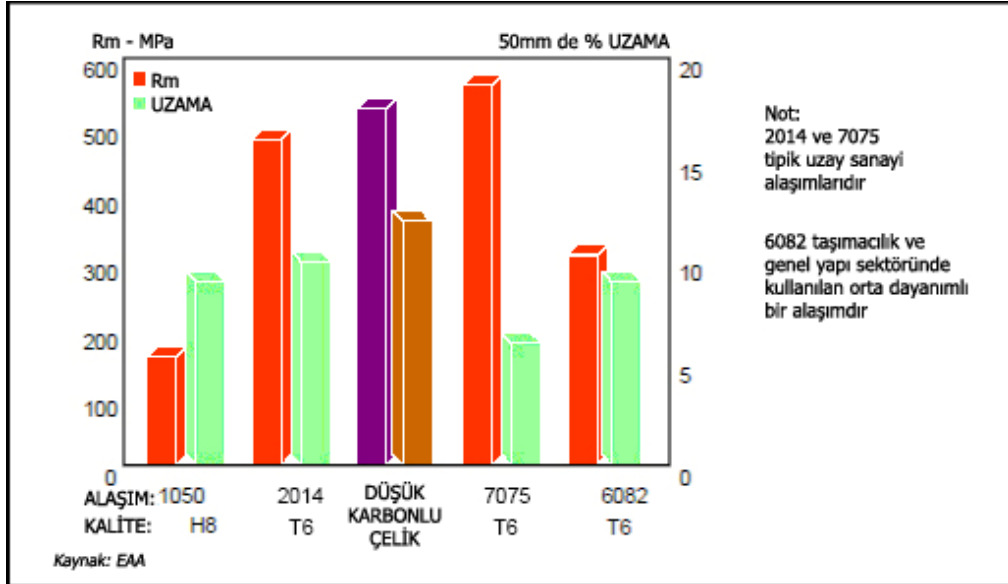
Bu alaşımlar iki ana gruba ayrılırlar. Soğuk işlemle sertleştirilebilenler ve ısıtılıp işlemle sertleştirilebilenler. Soğuk işlemle sertleştirilebilen alaşımlar: 1xxx, 3xxx, 5xxx, 8xxx. Isıl işlemle sertleştirilebilen alaşımlar: 2xxx, 6xxx, 7xxx, 8xxx. 4xxx serisi dövme form alaşımlar genellikle kaynak elektrodu ve tel yapımında kullanılır. Temperlendikten sonra normal oda sıcaklığında soğutularak sertleştirilmiş alüminyuma Duralüminyum adı verilir.

Alüminyumun, doğal yaşlanma süresince sertleşmesinin keşfi, metalin tarihçesinde çok önemli bir mihenk taşıdır. Bu sayede, alüminyumun mukavemet değerleri, çelik ile kıyaslanabilir düzeye gelmiş ve öncelikle havacılık ve diğer pazarlar için yapısal alaşım sağlamaya başlamıştır.

Yaşlandırma ile sertleştirilebilen 2014, 2024 ve 7015 alaşımların kaynak kabiliyetleri yok denebilecek kadar düşük seviyededir. Bu alaşımlar, en çok bakır içeren alaşımlardır. 6082 ise kaynak edilebilir, bu sayede birçok ticari uygulamada kullanılmaktadır [2].

Dövme alaşımların tamamı, ekstrüzyon, haddeleme, dövme gibi birçok metal işleme yöntemiyle şekillendirilebilir. Döküm alaşımları döküm şartlarını sağlamak için özellikle akıcılık gibi özelliklere sahiptir. Şekil 3.3'te çeşitli alüminyum alaşımlarının karşılaştırması gösterilmektedir.

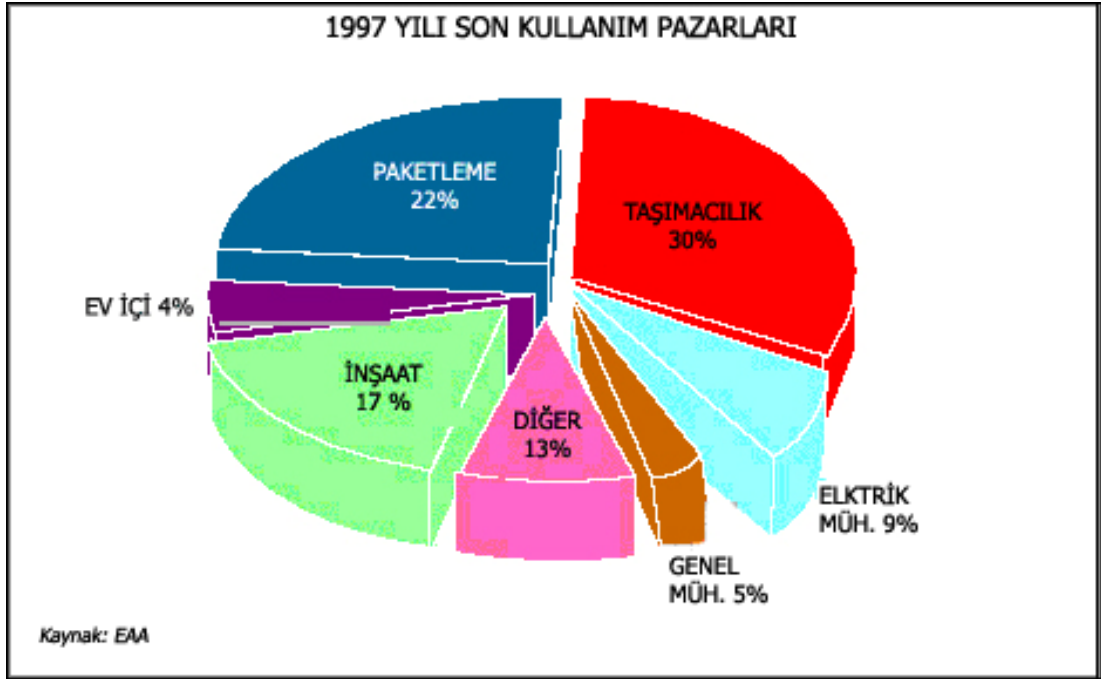
Isıl işlem, kimyasal kompozisyon gibi ayrıntılı özellikler, değişik nedenlerden ötürü farklılıklar gösterir. Aşağıdaki ölçeksiz şekil, farklı özellikleri temel alarak alaşım seçimi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ürün tasarımcısı, bu özellikleri göz önünde bulundurarak alaşım seçimini yapmalıdır. [1]



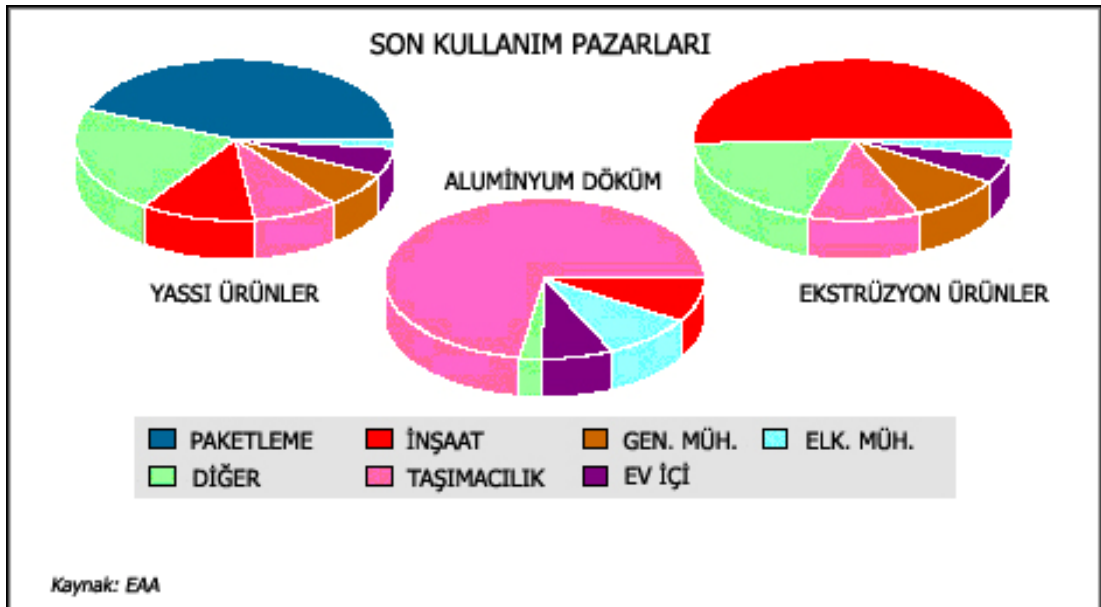
Şekil 3.3 Çeşitli alüminyum alaşımlarının karşılaştırılması [1]

3.2.2 Alüminyumun temel pazarları

Alüminyumun temel pazarları İnşaat, taşımacılık, elektrik mühendisliği, paketleme ve diğer uygulamalardır. Alüminyumun Avrupa'daki genel pazar oranları Şekil 3.4'te, üretim yöntemine göre pazar oranları ise Şekil 3.5'te gösterilmektedir. [1]



Şekil 3.4 Avrupa'da alüminyumun pazar oranları [1]



Şekil 3.5 Avrupa'da alüminyumun üretim yöntemine göre pazar oranları [1]

3.2.2.1 Taşımacılık

Tez konusu dahilinde, alüminyumun pazarlarından sadece taşımacılığa değinilecektir. Mukavemet-Ağırlık oranının yüksekliği ve buna korozyon dayanıklılığın eklenmesi alüminyumun bu sektörde tercih edilmesinin en önemli nedenidir. Günümüzde halen taşımacılığın büyük bir kısmı karayolu ile gerçekleştirilmektedir. Havayolunun taşımacılıktaki oranı 5%'den fazla değildir. Uçak-Uzay Sanayii'nde alüminyum kullanımı diğer tüm yapı malzemelerini geride bırakmıştır. Bir sivil uçağın yaklaşık 80%'i alüminyumdan oluşmaktadır [3].

Demiryollarındaki alüminyum trenlerin sayısı giderek artmaktadır. Otomobil tasarımcıları da aynı sebeple alüminyumu tercih etmektedirler. Gövdeler, tamponlar, radyatörler, tekerlekler ve motor parçaları yaygın olarak alüminyum malzemeden imal edilmektedirler. Ticari araç sektöründe faydalı yükün önemi büyüktür. Bu sebeple bu sektörde de alüminyum yaygın olarak kullanılmaktadır. Demiryolu ve karayolu taşımacılığında rakip malzemeler demir, çelik, ahşap ve plastiktir.

4. BİRİNCİL ALÜMİNYUM VE YARI MAMULLERİN ÜRETİMİ

Doğadaki cevherlerin işlenmesi sonucu elde edilen ilk alüminyuma birincil alüminyum adı verilir. Birincil alüminyum, üründe kullanılacak son şeklini almadan önce bir şekillendirme aşamasından geçer. Bu şekillendirme sonucunda elde edilen alüminyuma yarı mamul adı verilir.

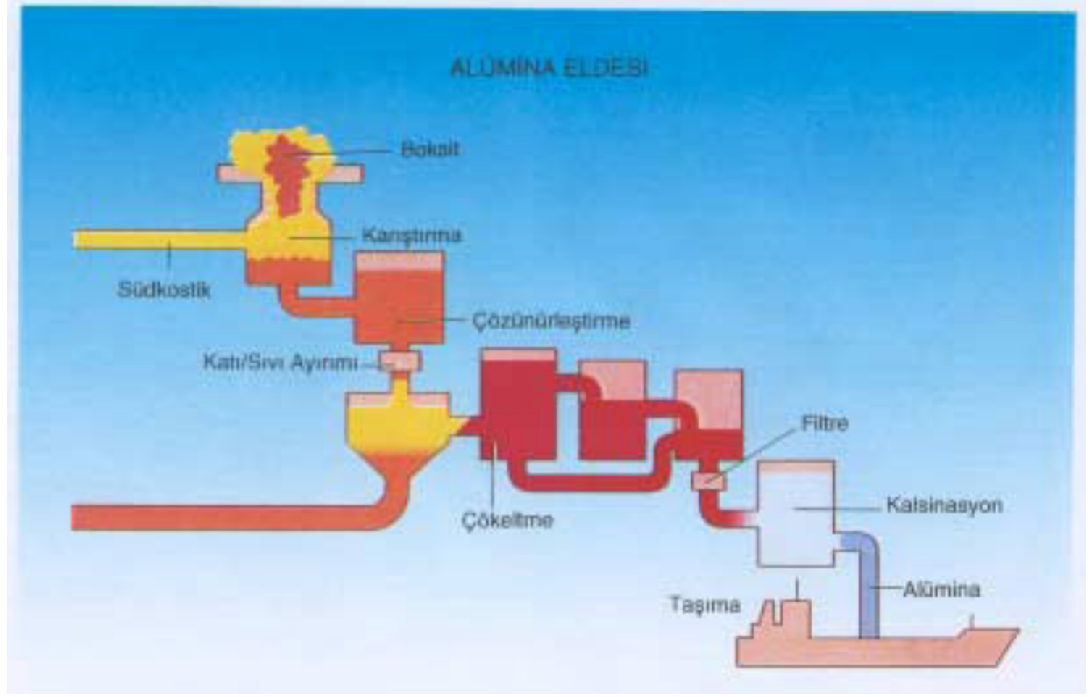
4.1 Birincil Alüminyum

Alüminyum, yüzyıldan beri, tüm dünyada kabaca aynı yöntemle elde edilmektedir. Alüminyum eldesi iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada, Bayer metodu ile boksit³ cevherinden alümina elde edilir. İkinci aşamada ise, elektroliz ile alümina'dan alüminyum elde edilir. Alümina tesisleri, genellikle boksit cevherlerinin yanına kurulur. Madenden çıkarılan boksit cevheri, sudkostik⁴ eriyiği ile muamele edilerek alüminyum hidroksit elde edilir. Bu işlem sonucunda oluşan erimeyen kalıntılar (kırmızı çamur) ayrılır ve alüminyum hidroksitin kalsinasyonu⁵ ile "alümina" (alüminyum oksit) elde edilir (Şekil 4.1) [4].

³ Al_2O_3 eldesinde kullanılan cevher. Türleri: $Al(OH)_3$, $AlO(OH)$, $HAIO_2$

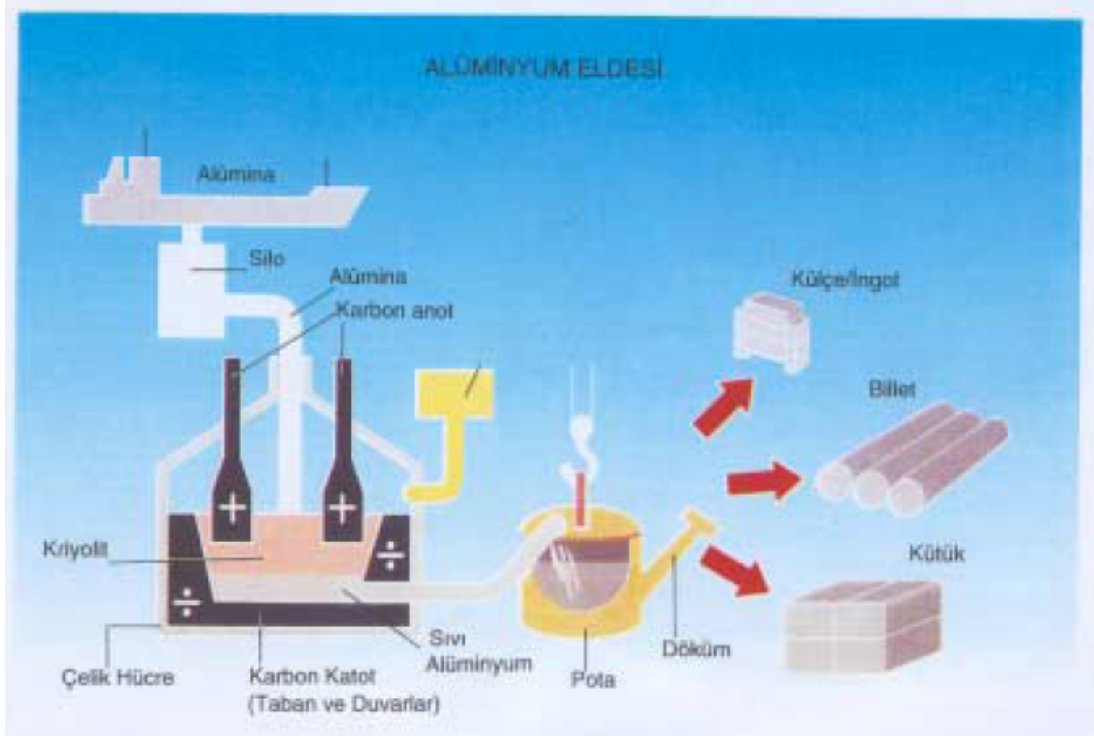
⁴ Sodyum Hidroksit (NaOH)

⁵ Kireçleştirme



Şekil 4.1 Alüminanın elde edilme aşamaları [4]

Bundan sonraki aşama, "alümina"nın "alüminyum"a dönüştürülmesidir (Şekil 4.2). Beyaz bir toz görünümündeki alümina, elektroliz işleminin yapılacağı hücre adı verilen özel yerlere alınır. Burada amaç, alüminyum oksijenden ayırmaktır. Elektroliz işlemi için 4-5 volt gerilimde doğru akım uygulanır. Dipte biriken alüminyumun alınması ile işlem tamamlanır.



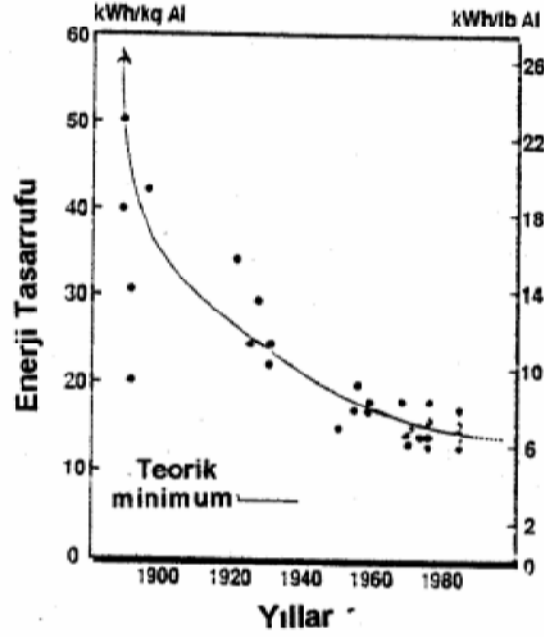
Şekil 4.2 Alüminyumun elde edilme aşamaları [4]

Genel olarak, ağırlıkça 4 birim boksitten 2 birim alümina ve 2 birim alüminadan da 1 birim alüminyum elde edilir. 1994–1998 yılları arasındaki dünya birincil alüminyum üretimi Tablo 4.1’de gösterilmektedir [5]. İlk zamanlarda üretilen birincil alüminyumun her tonu için yaklaşık 50.000 kwh olan enerji sarfıyatı, günümüzde ortalama 16.500 kwh değerine düşmüştür. Bu değer, en yeni teknoloji ile çalışıldığında 13.000 kwh/t olmaktadır (Şekil 4.3). Yukarıda söz edilen işlemler ile elde edilen alüminyum "primary aluminium"⁶ olarak tanımlanır.

⁶ Birincil alüminyum

Tablo 4.1 Üretim bölgeleri bazında dünya birincil alüminyum üretimi [5]

Doğu/orta Avrupa	Afrika	Kuzey Amerika	Latin Amerika	Asya	Batı Avrupa	Doğu ve orta Avr.	Okyanusya	Dünya Toplamı	Dünya değişimi
1994	576	5554	1976	1585	3961		1583	15235	41.7
1995	631	5546	2087	2656	5885		1566	17342	47.5
1996	1015	5860	2107	1624	3192	3185	1656	18639	50.9
1997	1106	5930	2116	1910	3297	3316	1804	19479	53.4
1998	1043	6086	2075	1843	3549	3419	1934	19949	54.7



Şekil 4.3 Elektroliz reaksiyonu için gerekli enerjinin yıllara göre dağılımı [5]

4.2 Yarı Mamüller

Alüminyum; ekstrüzyon, haddeleme ve döküm işlemleri ile çeşitli yarı mamül ve ürünler haline dönüştürülür.

Alüminyum, ekstrüzyon işlemine çok uygun bir metaldir. Böylece, kullanım amacına uygun şekil ve ölçülerde pek çok ürün, başka bir biçimlendirme işlemine gerek kalmadan ekonomik bir şekilde üretilir.

Sıcak ve soğuk haddeleme yöntemi ile alüminyumdan plaka, levha, sac, şerit ve folyo gibi yassı ürünler elde edilir.

Alüminyumdan, kokil, basınçlı veya kum döküm yöntemleri ile çeşitli büyüklük ve şekilde parçalar üretilir.

Metal çekiç veya presle istenilen şekle getirildikten kenar kesimleri yapılır. Başlangıç stoku döküm bloklar olabileceği gibi ekstrüze profillerde olabilir.

5. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Alüminyum malzemenin otomotiv endüstrisindeki kullanımını değerlendirebilmek için bu malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında fikir sahibi olunması gerekmektedir.

5.1 Önemli Fiziksel Özellikler

Bir mühendislik malzemesinin hangi şartlar ve hangi uygulamalar için uygun olduğunun bilinebilmesi için malzemenin fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

5.1.1 Atomsal ve Kristal Yapı

Alüminyum dünya üzerinde en çok bulunan 3. elementtir. Kimyasal sembolü Al olan alüminyum elementinin atomik numarası 13'tür. Günümüzde bilinen yapılara göre; bu bir alüminyum atomunun, artı 13 yüklü, hayli yoğunlaşmış bir çekirdeğin etrafındaki üç yörüngeye dağılmış, her biri bir birim eksi yük içeren, 13 elektrondan meydana geldiğini gösterir. En dış yörüngedeki üç elektron, alüminyum atomuna +3 kimyasal bağ oluşturma gücünü verir [6].

Metaller eriyik durumundan katı hale geçerken kristal yapı oluştururlar. Atomlar kendilerini metalürjistlerin kafes yapı dedikleri belirli ve simetrik bir yapıda düzenlerler. Alüminyum; bakır, gümüş ve altın gibi yüzey merkezli kübik (FCC) yapıda kristalize olur. Bu özellik birçok sünek metal için geçerlidir. Bu atomların bir küpün köşelerini oluşturdukları ve küpün her yüzünün merkezinde bir atomun olduğu yapıdır. Yüksek saflıktaki alüminyumlar için küpün kenarlarının uzunluğu 4.049×10^{-8} cm olarak belirlenmiştir [6].

5.1.2 Özkütle

Hafiflik, alüminyumun en çok bilinen ve en sıradışı özelliğidir. Metal 26.98 atomik ağırlığa ve 2.70 gr/cm^3 özkütleye sahiptir. Bu yaklaşık olarak, magnezyum ve titanyum dışındaki diğer yaygın kullanılan metallerin özkütlesinin üçte birine karşılık gelir. Çoğu metal gibi, yükselen sıcaklıkla özkütlesi düşer. Yaygın olarak kullanılan çoğu alüminyum alaşımında diğer metallerin gerekli miktarlardaki ilavesi, özkütlenin 15% düştüğü lityum alaşımlarının dışında, yoğunluğu çok fazla etkilemez (+3%, -2%). Dinamik hareketin olduğu her uygulamada ağırlık çok önemli bir faktördür. Ağırlıktan tasarruf, faydalı yükte artışa operasyon maliyetlerinde düşüşe imkan sağlamaktadır. Ağırlıktan tasarruf, aynı zamanda enerjiden tasarruf, azaltılmış vibrasyon kuvvetleri, performansları artmış hareketli parçalar, manüel operasyonlarda daha az yorulma ve düşük nakliye masrafları demektir [6]. Malzemelerin alımı ağırlık bazında yapıyor olsa bile, metaller genellikle hacimsel temelde kullanılırlar. Bu sebeple, alüminyumun diğer malzemelerle kıyaslamasını bu özelliğe göre yapmak gerekir.

5.1.3 Elektrik iletkenliği ve özdirenc

20°C de ve %99.99 saflıktaki alüminyumun elektrik iletkenliği bakırın 63.8% seviyesindedir. Düşük özkütlesi sebebiyle, saf alüminyumun kütsel elektrik iletim kabiliyeti, temperlenmiş bakırın iki katıdır ve diğer tüm metallerden daha iyidir. 20°C de özdirenci 2.69 mikroohm.cm dir. Özdirencin ters bağıntısı olan elektrik iletkenliği, alüminyumun hem içeriğindeki değişimden, hem görmüş olduğu ısıl işlemde en çok etkilenen özelliğidir. Alüminyum alaşımlarına diğer metallerin eklenmesi alüminyumun mukavemet değerlerini arttırmanın yanında elektrik iletkenliğinin düşmesine neden olur. Aynı şekilde ısıl işlemde iletkenliğin azalmasına sebep olur [6].

5.1.4 Isıl iletkenlik

99.99 saflıktaki alüminyumun 0-100 °C arasındaki ısıl iletkenliği 244W/mK bu değer temperlenmiş bakırın %61.9 dur yine düşük özkütlesi sayesinde kütsel ısıl iletkenliği bakırın iki katıdır. Isıl iletkenlik, alaşımlarda diğer metallerin ilavesiyle

çok az düşer. Alüminyumun yüksek ısı iletkenlik katsayısı, düşük özkütlesi ve iyi şekillendirilebilirlik özellikleri alüminyumu; ısı değıştiriciler, otomobil radyatörleri ve pişirme aparatları için çok iyi bir seçim yapmaktadır. Aynı zamanda içten yanmalı motorların silindir kafaları genellikle alüminyum dökümle üretilmektedir [6].

5.1.5 Yansıtma ve emisyon

Emisyon; bir cismin kendi termal enerjisini yayma özelliğı olan yansıtıcılık özelliğı ile yakından ilişkilidir. En iyi yansıtma özelliğine sahip yüzey en zayıf emisyon özelliğı sahiptir, aynı şekilde bunun tersi de geçerlidir. Düz alüminyum üzerine düşen ışığın %75'ni ve ısı radyasyonun %90'nı yansıtır. Aynı parçanın emisyon özelliğı düşüktür [6].

Yüksek yansıtıcılık ve düşük emisyon özelliğı alüminyumun folyonun yansıtıcı bir izolasyon malzemesi olarak kullanılmasına imkan sağlar.

5.1.6 Korozyon dayanımı

Alüminyum, doğal olarak sahip olduğı ince oksit film sayesinde, diğ er çoğ u metalden daha yüksek korozyon dayanımına sahiptir. Oksijen atmosfer ortamında bu oksit film her zaman oluşur. Londra'daki ünlü Eros heykeli korozyon dayanımının en güzel örneklerinden birisidir. 80 yıl Londra atmosferine maruz kaldıktan sonra yapılan incelemede, heykelde sadece yüzeysel korozyon oluştuğı görölmüş tür [6].

Aslında alüminyum çok reaktif bir kimyasal elementtir. Korozyona karşı yüksek direnç, alüminyum oksit filmin bu aktivitenin ortaya çıkmasını engellemesi sayesinde oluşmaktadır. Oksit filmin özelliğı, elektronik olarak, anotlama adındaki işlem sayesinde güçlendirilebilir. Oluş an bu oksit tabakası su ile yıkamak suretiyle çıkartılamaz. Alüminyumun bu özelliğı kullanma sahasını genişletmiştir. Soğ uk şek il değ iş tirme korozyon mukavemetini düşürür. Alüminyumun saflık derecesi azaldığı takdirde de korozyon mukavemeti düşer. Yabancı elemanlar, korozyon mukavemetini azaltmaktadır.

5.1.7 Termal Uzama

Termal uzama katsayısı -200 ile 600°C arasında lineer olmayan yapıdadır fakat pratik nedenlerle 20-100°C arasında lineer kabul edilir. Alaşımların termal uzama katsayıları içerdikleri elementler ve oranlarına göre değişim gösterirler; silikon ve bakırın varlığı uzamayı düşürürken magnezyum arttırır. Ticari olarak yaygın kullanılan alaşımların termal uzama katsayıları $23.5 \times 10^{-6} /K$ ile $24.5 \times 10^{-6} /K$ arasında değişir. Bu değer çeliğin iki katıdır. Bazı yüksek düzeyde silikon içeren, özellikle içten yanmalı motor piston ve silindir kafaları için üretilmiş döküm alaşımları $16 \times 10^{-6} /K$ ya kadar düşük termal uzama katsayısına sahiptir. Alaşımlara silisyum karbid eklenerek bu değer $12.2 \times 10^{-6} /K$ ya kadar düşürülebilmektedir [7].

5.1.8 Erime Sıcaklığı

Alüminyumun erime noktası, alüminyumun saflığına karşı hassastır. Örneğin, %99.99 saflıkta ve atmosfer basıncı altındaki alüminyumun erime noktası 660°C'dir fakat %99.5 saflıktaki ticari alüminyumda bu nokta 635°C dir. Alaşım elementlerin ilavesi bu noktayı 500°C ye kadar düşürebilmektedir. Erime noktası basınç ile lineer şekilde artmaktadır. Örneğin 50 kbar basınçta erime sıcaklığı 980°C ye kadar yükselmektedir.

Saf alüminyumun fiziksel özellikleri Tablo 5.1'de gösterilmektedir. Bu değerler, alüminyuma farklı elementlerin ilavesi ile önemli ölçüde değiştirilebilmektedir.

Tablo 5.1 Alüminyumun fiziksel özellikleri [5]

Atom ağırlığı	26,97
Özgül ağırlık (Dökme Al)	2,65-2,69(gr/cm ³)
Özgül ağırlık (Hadde Al)	2,7(gr/cm ³)
Ergime noktası	658 °C
Kayama noktası	1800 °C
Isı geçirgenlik katsayısı	173
Sıcaklık tesiri ile uzama:	
0..50 °C	1,17 (mm/m)
100 °C	2,38 (mm/m)
200 °C	4,94 (mm/m)
400 °C	10,60 (mm/m)
500 °C	13,70 (mm/m)
Kendini çekme miktarı	% 1,7..1,8
Katı halden sıvı hale geçerken meydana gelen hacim büyümesi	6,50%

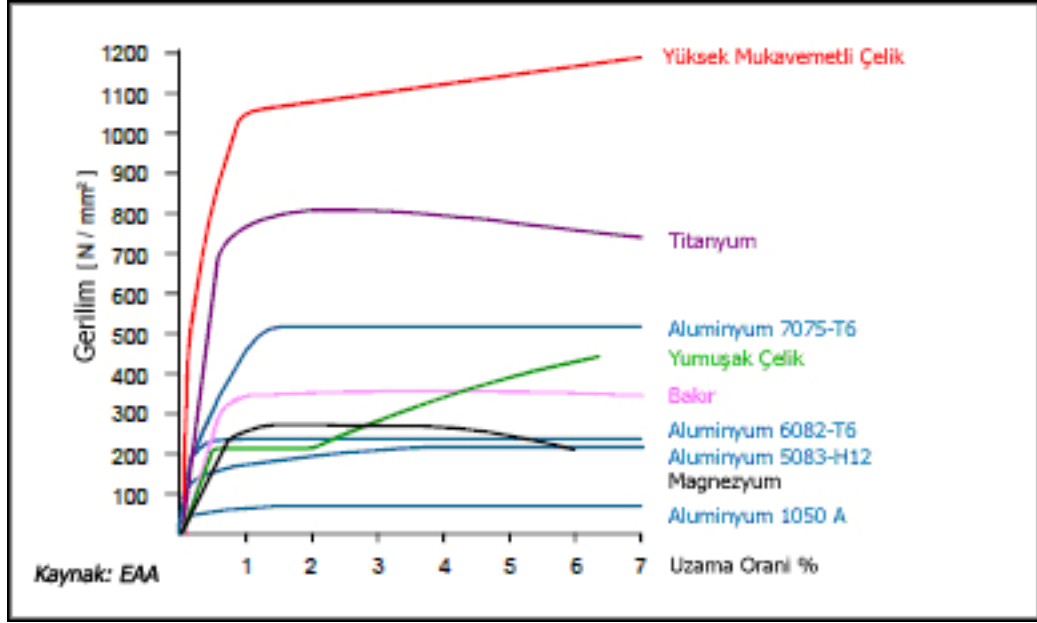
5.2 Mekanik Özellikler

Bir mühendislik malzemesinin, mühendislik amacıyla kullanımında en belirleyici nokta malzemenin mekanik özellikleridir. Otomotiv endüstrisi gibi mühendislikte lokomotif bir endüstri için kullanılacak malzemenin mekanik özellikleri büyük önem arz etmektedir.

5.2.1 Gerilme Dayanımı

Gerilme altındaki davranış, bir mühendislik malzemesinin öncelikli değerlendirilen özelliğidir. Şekil 5.1’de dört farklı alüminyum alaşımın tipik gerilme/uzama oranı eğrisi ve bunların diğer bazı mühendislik malzemeleri ile kıyaslanması görülmektedir. Bu malzemeler: Derin çekme için uygun, temperlenmiş durumda, 99,5% saflıkta alüminyum (1050A), denizcilik sektöründe ve kaynakla bağlanan konstrüksiyonlarda kullanılan, gerilme ile sertleştirilmiş, 4,5% magnezyum+alüminyum alaşımı (5083), ticari yapılarda kullanılan, ısıtıl işlem ile sertleştirilmiş magnezyum+manganez+silikon alaşımı (6083) ve havacılık endüstrisinde kullanılan ısıtıl işlemle sertleştirilmiş bir çinko+magnezyum+bakır alaşımı (7075) [6].

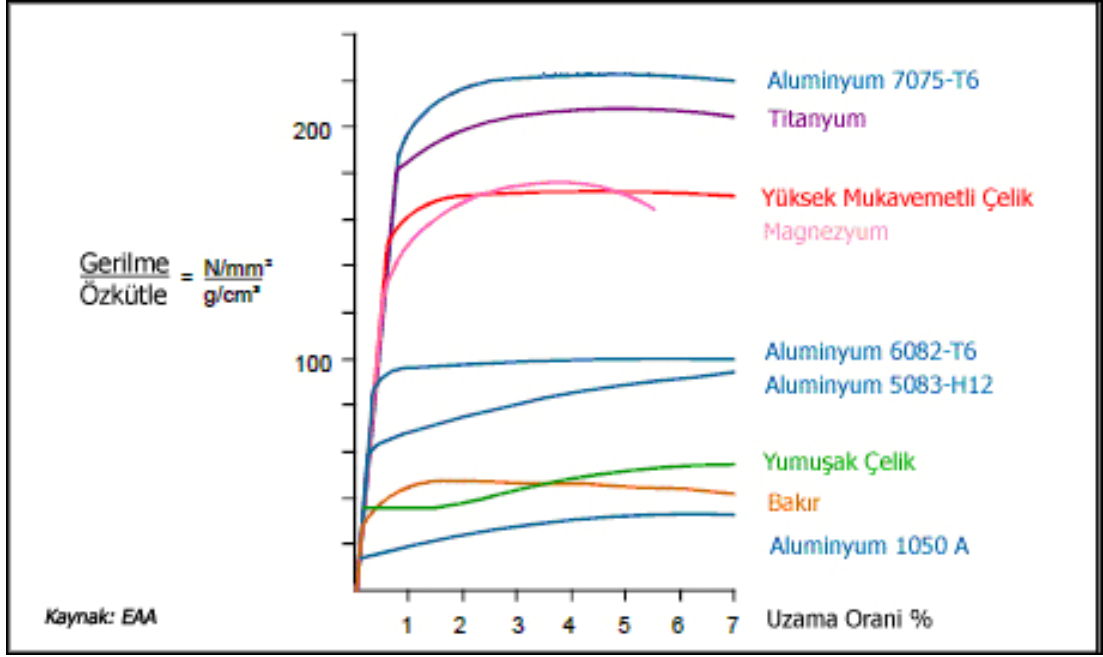
Şekil 5.2’de görüldüğü gibi yüksek saflıktaki alüminyum diğer metal malzemelere düşük çekme dayanımına sahiptir. Birim yük başına uzama miktarı görece daha büyüktür. Alaşım alüminyumlar ise diğer metallerle kıyaslanabilir çekme dayanımına sahiptirler. Fakat tüm alüminyum malzemeler, yüksek mukavemetli çeliklere göre düşük çekme dayanımına sahiptirler ve birim yük altında daha fazla şekil değiştirirler.



Şekil 5.1 Alüminyumun diğer metal ve metal alaşımlarla karşılaştırıldığı gerilme/uzama eğrileri [6]

5.2.2 Mukavemet/Ağırlık Oranı

Yüksek mukavemetli çelikler (HSLA ve UHSLA) tüm metaller arasında en yüksek mukavemete sahiptirler. Bunları titanyum ve havacılık endüstrisinde kullanılan alüminyum alaşımları takip eder. Eğer; akma dayanımını özkütleye bölmek vasıtasıyla belirli bir kütlenin sağladığı dayanımı göz önüne alırsak önümüze çok farklı bir resim çıkar. Bu durumda 7075 alüminyum alaşımını en üstte görmekteyiz. Onu titanyum ve yüksek mukavemetli çelik takip etmektedir (Şekil 5.2) [6].



Şekil 5.2 Alüminyumun diğer metal ve metal alaşımlarla özkütle temelli mukavemet karşılaştırması

[6]

5.2.3 Elastiklik Özelliği

Birim gerilme artışı başına uzama oranı artışı alüminyum malzemede çeliğe göre üç kat daha fazladır. Bu bölgedeki eğrinin eğimi elastiklik modülünü belirler. Bu sebeple alüminyumun 65500 ile 72400 MPa arasındaki elastiklik modülü çeliğin yaklaşık üçte biri değerindedir.

Bu bilgilerden yola çıkarak; çelikten bir yapısal eleman aynı yapıda bir alüminyumla değiştirildiğinde ağırlık üçte biri olacaktır fakat elastik şekil değiştirme üç katına çıkacaktır. Bundan şu sonucu çıkarabiliriz: aynı boyut ve yapıdaki bir alüminyum parça çelik parçaya göre 3 kat daha fazla enerji emme kapasitesine sahiptir, fakat bu sadece alüminyumdaki gerilmenin akma sınırının altında kaldığı durumlarda geçerlidir.

Yapısal bir elemanın rijitliği onun elastiklik modülü ve kesitin atalet momentinin ürünüdür. Bu özellikte, o elemanın eğilme yükü karşısında ne kadar şekil değiştireceğini belirler. Bu durum alüminyumun diğer bir özelliğini ortaya koymasına izin vermektedir; ekstrüzyon yöntemiyle kompleks yapıda üretilebilme

özelliği. Ekstrüzyon yöntemi tasarımcıya metali en yüksek verimi alacak şekilde istediği şekilde tasarlama özgürlüğünü vermektedir. Bu üretim yöntemi sayesinde tasarımcı, ihtiyacı olan eksende daha yüksek atalet momentlerine sahip, çeliğe göre daha hafif kesitlerle çalışabilmektedir. Fakat bir kesitin atalet momentini arttırmak genelde elde edilmiş ağırlık kazanımının bir bölümünden fedakarlık etmek anlamına gelmektedir. Bu çoğunlukla, elde edilen ağırlık kazanımının üçte bir yerine, ikide bir olmasına sebep olmaktadır.

5.2.4 Uzama

Kırılma anındaki kalıcı uzama miktarı bir metalin sünekliği hakkında önemli bir kılavuzdur. Standartlarda genellikle en küçük değer esas alınır. Uzama, kırılan test örneğindeki parçaları birbirlerine kenetledikten sonra testten önce çizilen çizgiler arasındaki mesafeyi ölçerek bulunur. Bu değer genellikle yüzde olarak belirlenir. Uzama test parçası üzerindeki her noktada aynı değerde değildir fakat en yüksek olduğu bölge kırılma bölgesidir. Döküm alaşımları için ise uzama miktarı % 2 kadar düşük seviyededir. Bu onların uygulama alanlarını sınırlandıran bir değer olarak görölmektedir [6].

Dövme alüminyum alaşımlarında uzama miktarı genellikle %35 civarındadır. Bu değer tamamıyla sertleştirilmiş malzemede %3'e kadar düşer. Isıl işlem görmüş alaşımların uzama değerleri 5% ile %20 arasında değişir. Birçok alaşımın uzaması test sıcaklığının artışına paralel artar bu özellik arttırılarak uzama oranı %1000'e kadar ulaşan süper plastik geliştirilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda metali kalıp formunun üzerine basınçlı havanın yardımıyla germeye süper plastik şekillendirme adı verilmektedir. Bu yöntem daha önce sadece plastik malzemelerle yapılması mümkün olan karmaşık formların alüminyum malzeme ile de elde edilmesine imkan sağlamıştır.

5.2.5 Basma

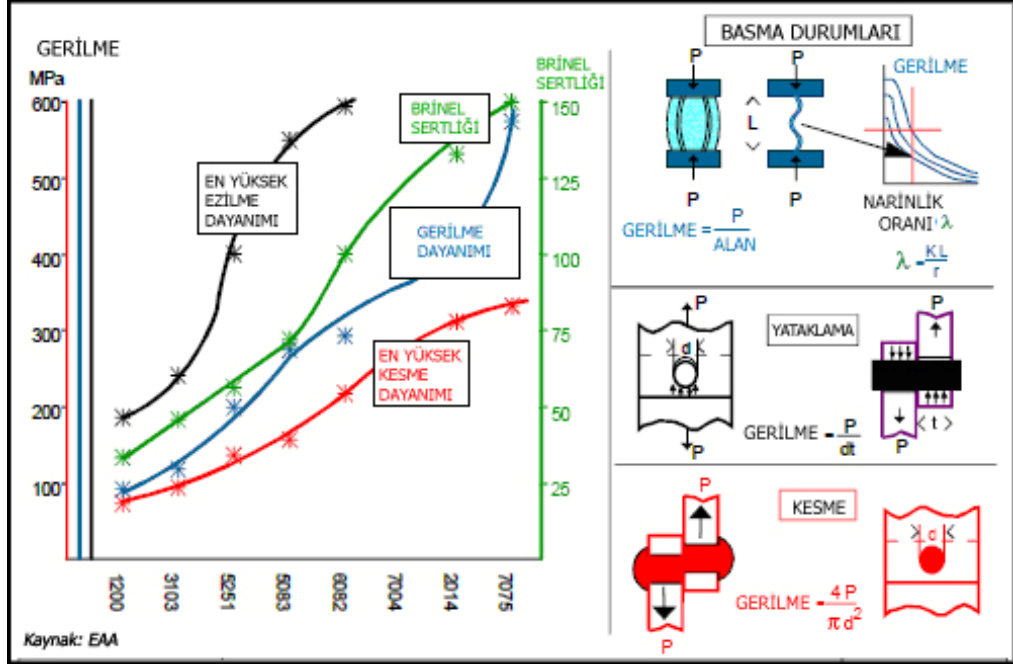
Alüminyum alaşımların basma yükleri karşısındaki davranışları, gerilme davranışları kadar ilgi çekmemiştir. Bunun sebebi belki de yapısal elemanların dayanımının genellikle burkulma direnci ile sınırlı olmasından dolayıdır. Malzemenin basma dayanımı değerlerine genellikle yaklaşılmaz.

Mühendislik amaçlarının çoğunda çekme akma gerilmesi ile basma gerilmesini aynı değerde tasarlamak alışkanlıktır. Bir test makinesinde alüminyum basma kuvvetine çekme kuvvetinden daha fazla direnç gösterir. Yumuşak alüminyumdan imal silindirik parçalar basma altında kırılmadan önce kalın disklerle dönüştürülebilirler. Daha sert alaşımlar genellikle daha net bir kırılma noktasına sahiptirler.

Levha ve ekstrüze ürünler genellikle çekme yöntemiyle düzleştirilirler. Bu, parçaların basma dayanımını azaltırken, gerilme dayanımını arttırmaktadır.

5.2.6 Yataklama

Alüminyumun yataklama veya ezilme dayanımını tanımlamak, test etmek veya gerilme özellikleriyle ilişkilendirmek diğer metallerde olduğu kadar kolay değildir. Fakat ezilme direnci; perçin veya civata bağlantılı tasarımlarda önemli bir ölçüttür. Yataklama gerilmesi genel olarak şöyle tabir edilir: Bir pimin, dairesel bir deliği, orijinal boyutunun 2%'si kadar deforme ettiği gerilmedir. Bu gerilme birçok alüminyum alaşım için en yüksek gerilme dayanımının yaklaşık 1,8 katına eşittir [6].



Şekil 5.3 Alüminyum alaşımların basma, çekme, kesme dayanımları ve sertlikleri [6]

5.2.7 Makaslama (Kesme)

Dövme alaşımlarda en yüksek kesme dayanımının en yüksek akma dayanımına oranı alaşımın içeriği ve üretim yöntemine göre 0.5 – 0.75 arasında değişir. Test sonuçları ulaşılabilir olmadığı zaman birçok uygulama için 0.55 değeri güvenlidir.

Kesme dayanımları 200 MPa kadar olan düşük ve orta seviye dayanımlı alaşımdan imal perçinler soğuk olarak çakılabilirler. Daha yüksek dayanımlı alaşımlardan imal ve daha küçük perçinler yumuşak durumda çakılabilirler. Bu durumda, çeşitli sertleştirme yöntemleri ile 260 MPa'a kadar kesme dayanımı elde edilebilir [8].

5.2.8 Sertlik

Brinell (Çelik Bilya), Vickers (Elmas) ve Shore (Elmas Çekiç) test makineleri alüminyum alaşımların sertliğini ölçmek için kullanılır. Saf, temperlenmiş alüminyumun Brinell Sertliği 20 civarında iken en mukavemetli alaşım için bu değer 175 civarındadır. Alüminyum alaşımlar için, çeliklerde yapıldığı gibi, sertlik değerlerine gerilme dayanımlarına bakılarak yorum getirilmemelidir. Alüminyum malzemelerde bu iki özellik arasındaki ilişki sabit olmaktan çok uzaktır.

Alüminyumun yüzey sertliği sert anotlama ile arttırılabilir. Bu aynı zamanda malzemenin aşınma dayanımının artmasına da sebep olur. Alüminyumun çeşitli mekanik özellikleri Şekil 5.3'te görülmektedir [6].

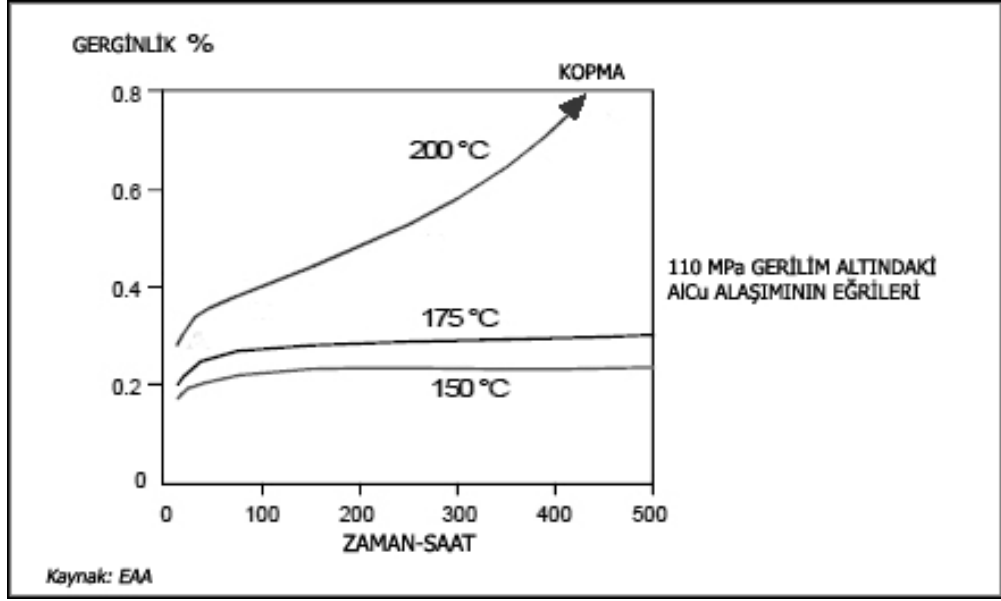
5.2.9 Süneklik

Bir alaşımın sünekliğinin belirlenmesi için bir test parçasının kırılma anındaki uzamasının ölçülmesinin yararlı olduğu fakat kesin sonuç vermediği yukarıda ifade edilmişti. İşlenebilirliğin ölçümü için basit eğilme testleri yaygın olarak yapılmaktadır. Kenarları yuvarlatılmış şerit malzeme elle veya daha önceden yarıçapı belirlenmiş bir tokmakla 90° veya 180° bükülmekte ve bu işleme yarıçap küçültülerek devam edilmektedir. Sonuç olarak kırılmanın olmadığı en küçük yarıçap malzemenin “t” kalınlığı cinsinden belirlenmektedir. (Örneğin 1½ t).

5.2.10 Sürünme Dayanımı

Bundan önce bahsedilen çekme, basma ve kesme dayanımı özelliklerinde gerilmenin sürekli olarak arttırıldığı ve bunun sonucunda oluşan gerilmelerin zamandan bağımsız olduğu kabul edilmişti. Fakat en yüksek gerilme dayanımı değerinden daha küçük bir gerilme uzun bir süre için sürekli uygulandığında uzama oranı da sürekli olarak artacaktır. Eğer gerilme yeteri kadar yüksekse veya yeterli süre uygulanmışsa test parçası sürekli artan yüklemeye olduğu gibi kopacaktır. Böyle bir durumda alüminyumun davranışı diğer metaller gibidir ve bu duruma sürünme kopması adı verilmektedir [6].

Alüminyumun sürünme dayanımı, diğer metallerde olduğu gibi işletme sıcaklığının artması ile azalmaktadır. Bu sebeple, sürünme dayanımı sadece bir rakamla ifade edilemez. Bu değer sıcaklık, zaman ve şekil değiştirme miktarı ile de ilişkilendirilmesi gerekmektedir (Şekil 5.4). Bu duruma bir örnek vermek gerekirse; sıcak asfalt taşıyan araçların tasarımında bu bilgi tasarımcı açısından hayati önem taşımaktadır.



Şekil 5.4 110 MPa gerilme altındaki AlCu alaşımının direnme eğrileri [6]

5.2.11 Darbe Dayanımı

Daha önce belirtildiği gibi, alüminyum alaşımların düşük elastiklik modülü, özellikle bir yapının şok yüklemeye tabi tutulduğu zamanlarda ortaya çıkan çok değerli bir niteliğidir. Aynı eylemsizlik momenti ve dayanıma sahip bir alüminyum parça çelik bir parçaya göre kalıcı hasar oluşana kadar 3 kat daha fazla enerji emer.

5.2.12 Kırılma Özellikleri

Kırılma özelliği; malzemenin kayda değer bir plastik şekil değiştirmeye uğramadan çatlamaya yatkınlığı olarak belirtilmiştir. Bu şekildeki bir kopma hakkındaki bilgi; yüksek gerilme altında çalışan yapılar ve ani kopmanın felaketle sonuçlanabileceği yüksek elastik enerji içeren sistemler için çok önemlidir. Uzama ve çekme testi sonucundaki alan azalması, akma ve kopma dayanımı oranı kırılma özellikleri hakkında bilgi verirler fakat bu veriler bir mühendise, tasarımına temel oluşturmak için nadiren yeterlidirler. Kırılma özelliklerinin belirlenmesi için özel test metotları geliştirilmiştir. Tez konusu içerisinde bunlara değinilmeyecektir.

Birçok alüminyum alaşımın, düşük sıcaklıklarda bile, çatlakların büyümesine karşı direnci yüksek seviyededir. Yine birçok alüminyum alaşımın plastik olarak şekil

değiştirerek kırılma büyümesine direnmesi o kadar büyüktür ki elastik gerilmiş malzemede beklenmeyen çatlak büyümesi (gevrek kırılma) imkansızdır [6].

5.2.13 Yorulma

Diğer metallerde olduğu gibi alüminyumda değişken veya tekrarlanan yüklere maruz kaldığı zaman statik yüklere göre oldukça düşük seviyelerde kırılacaktır. Dalgalanan yükler altında çatlakların oluşarak kırılma ile sonuçlanması olayına yorulma denir. Pratikte dalgalanan yüklere insan hareketleri, vibrasyon ve tekrarlanan sıcaklık değişimleri sebep olabilir. Yorulma çatlağının yayılma yönü her zaman çatlağın oluşmasına sebep olan gerilmelere dik doğrultudadır. Kopma bölgesinde herhangi bir büzülme meydana gelmediği için yorulma çatlaklarının tespiti, statik zorlama altındaki kopmalarının tersine çok zordur.

Yorulmanın tahmini için üç etkenin bilinmesi gerekmektedir:

1. Gerilmenin frekansı
2. Gerilmenin genliği
3. Parçanın çevre çizgisi veya yüzey işlemi

Uygulamadaki gerilme çevrim adedi genellikle tasarımcı tarafından bilinmektedir.

Gerilme çevrimini tanımlarken 4 temel parametre göz önünde bulundurulmalıdır.

1. En düşük gerilme $\sigma_{\min}$
2. En yüksek gerilme $\sigma_{\max}$
3. Ortalama gerilme $\sigma_o = (\sigma_{\min} + \sigma_{\max})/2$
4. Gerilme aralığı (Genlik) $\sigma_g = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$

Bu dört değerden ikisi bilindiği zaman gerilme çevrimi tamamen tanımlanmış demektir.

Yorulma sınırı; kanallar, dirsekler, profildeki ani değişimler ve hatta işlem izleri ve çizikler gibi bölgesel gerilme arttırıcılar sebebiyle önemli ölçüde düşmektedir. Bu sebeplerle yüzey düzgünlüğü yorulma direncinde önem arz etmektedir [9].

Tablo 5.2’de alüminyumun mekanik özellikleri gösterilmektedir. Tabloda görüldüğü gibi, ısıtıl işlem ve farklı alaşım oluşumlarıyla alüminyumun mekanik özellikleri önemli değişiklikler göstermektedir.

Tablo 5.2 Alüminyum malzemenin mekanik özelliklerinin değerleri [5]

	Döküm Al.	Hadde Al.	Isıl İşleme Tabi Tutulmuş Al
Çekme mukavemeti (MPa)	90-120	180-280	70-110
Akma mukavemeti (MPa)	30-40	160-240	50-110
Uzama (%)	18-25	3-5	30-40
Büzülme (%)	40-55	60-85	80-95
Sertlik (Brinell)	24-32	45-60	80-95

5.3 Alüminyum ve Alaşımlarda Isıl İşlemler

Alüminyumun mekanik özellikleri onu çeşitli mühendislik uygulamaları için uygun bir malzeme yapmaktadır. Fakat otomotiv endüstrisinde kullanılacak malzemeler uzun süreler boyunca ağır şartlara maruz kaldıkları için alüminyum bu endüstride genel olarak ısıtıl işlem gördükten sonra kullanılmaktadır.

5.3.1 Isıl işlem esasları

Alüminyum ile ısıtıl işlem neticesinde sertleşen alüminyum alaşımları arasında şu fark vardır. Alüminyum tavlandıktan sonra mukavemetini bir miktar kaybeder ve yalnız soğuk şekil değiştirme neticesinde sertleşir. Buna karşılık sertleşen alüminyum alaşımları, belirli sıcaklıklarda belli zaman bekletilerek mukavemeti ve sertliği yükseltilebilir. Bu bekletmeye yaşlandırma ve bu olaya da çökelme sertleşmesi denir (Precipitation hardening).

Yaşlandırma belirli sıcaklıkta yapılırsa suni yaşlandırma oda sıcaklığında yapılırsa tabii yaşlandırma adını alır. Bir alüminyum alaşımının ısıtıl işlemle sertleştirilmesi dört kademedeyi incelenir:

- Önceden tayin edilen bir sıcaklığa kadar ısıtma.

- Belirlenen bir sürede bu sıcaklıkta bekletme.
- Düşük bir sıcaklığa hızla su verme.
- Su vermeyi takiben, yaşlandırma veya çökelme sertleşmesi.

5.3.1.1 Tavlama

Mekanik yollarla elde edilen işlenmiş alüminyum alaşımlarına çoğu zaman birçok imalat işlemlerinden sonra tavlama işlemini tatbik etmek lazımdır. Tavlama, soğuk şekil değiştirme neticesinde sertleşmiş olan malzemeden sertliği kaldırmak veya ısıtılma işlemi tabi tutularak yaşlandırılan malzemeyi yumuşatmak için kullanılır. Yapıda mevcut tanelerin yeniden kristalleşmesini sağlamak amacıyla, alaşımı eritmek ve çökelme ısıtılma işlemleri sıcaklıkları arasında bir derece kadar ısıtmak tavlamanın esasıdır.

Bu işlem yaşlanma sertleşmesinin, sertleşme etkilerini yok eder. Metalin soğuk işlemi tabi tutulması da sertliğini ve çekme mukavemetini artırır. Fakat sünekliğini azaltır. Metalin soğuk olarak işlenmesini devam ettirebilmek için tavlama işlemi uygulanarak metal yumuşatılır.

Isıl işlemde alaşım tav süresi önemlidir. Örneğin yeniden kristalleştirme işleminde alaşım gereken sıcaklık ve sürede tutulmazsa yeniden teşekkül eden kristallerin şekil ve özelliklerini tamamıyla değiştirmezler. Bunu sağlamak için belirli sıcaklık ve zaman süresinde alaşımı bekletmek gerekir. Ayrıca tavlanan alaşımın kenar kısımlarının ve ince yerlerinin hızlı tavlama ile bozulmaması için sıcaklığı yavaş şekilde arttırmak gerekir.

5.3.1.2 Solüsyona Alma İşlemi

Solüsyona alma işlemi de kendi arasında safhalar şeklindedir.

Önceden Tayin Edilen Bir Sıcaklığa Kadar Isıtma:

Bu işlemin amacı, alüminyum içindeki esirliği düşük sıcaklıklarda az buna karşılık yüksek sıcaklıklarda fazla olan alaşım elemanlarının esirliğini, alaşımı yüksek sıcaklıklara çıkarmak suretiyle artırmaktır

Belirli Bir Süre Bekletme:

Isıtma hızı çok önemlidir, bunu belirtmiştik. Bunun yanında bekletme süresi de büyük önem taşımaktadır. Bekletme süresi, malzemenin çıkarıldığı sıcaklığa, tavlama şekline, malzemenin cinsine ve buna benzer faktörlere bağlı olarak değişir. Uzun bir süre bekletme dane büyümesine difüzyonun artmasına ve renksizleşmeye neden olur. Sıcaklıkta bekletme süresinin ölçülmesine, malzemenin en soğuk kısmının istenilen minimum sıcaklık değerine varıldığında başlanır. Tablolar bu esasa göre düzenlenmiştir [6].

5.3.1.3 Su Verme

Eriyebilen elemanların katı eriyik haline geçmelerinden sonra yeninden çökmelerine engel olmak veya geciktirmek amacıyla malzemeye su vermek gerekir. Üç farklı su verme metodu mevcuttur. Bu üç metot, istenen özelliklere ve gösterdikleri kolaylıklara göre kullanılır.

5.3.1.4 Soğuk Suda Su Verme

Hafif dövmele elde olunan alaşımlara soğuk su banyolarında su verilir. Bu işlemde öncelikle su sıcaklığı azami 30°C olmalıdır. Sıcaklık değişimi 10°C geçmemesi için yeterli hacimde su bulundurulmalıdır. Böyle bir su verme şekli çok etkilidir.

5.3.1.5 Sıcak Suda Su Verme

Büyük ve kalın kesitli dökme parçalara 75-100 °C'de su verilir. Bu tip su verme, çarpılmayı minimum kılar ve eşit olmayan sıcaklık dağılımından doğan çatlama tehlikesi önlenmiş olur. Su vermede kullanılan suyun sıcaklığı malzemenin korozyon mukavemetine büyük ölçüde etki etmektedir. Dövme alaşımlarda bu tip su verme usulü kullanılır. Şunu da belirtelim ki, kalın kesitli parçaların korozyon mukavemeti ince kesitli parçalarda olduğu kadar kritik değildir.

5.3.1.6 Püskürterek Su Verme

Yüksek hızla su püskürtülerek su verme usulü, levhalar ve geniş yüzeyli parçalara tatbik edilir. Bu tip su verme çarpılmayı minimum kılar ve su vermeden dolayı olan çatlamayı önler. 2017 ve 2024 için korozyon mukavemetini azalttığından kullanılmaz.

5.3.1.7 Yaşlanma Olayı

Yaşlanma ile sertleşme elde etmek için önce katı eriyiğe alma yapılır. Ardından aşırı katı eriyik elde etmek için alaşıma su verilir. Su verme işlemi genel olarak çökelme süratinin çok yavaş olduğu bir sıcaklıkta yapılır. Su verdikten sonra çökelmenin çok uzun bir sürede meydana gelmesine engel olmak için alaşım ortalama bir sıcaklığa ısıtılır.

Ayrıntılı incelemeler yaşlanma sertleşmesini şöyle açıklamaktadır: Aşırı doymuş atomlar belli kristal düzlemleri boyunca toplanma eğilimi gösterirler. Bu eriyikteki CU atomlarını toplanması (eriyen atomlar) diğer taraftan Cu yoğunluğunu azaltır, daha az aşırı doymuş ve dolayısıyla daha kararlı bir kristal yapısı oluşturur. Bu durumdaki bakır atomları henüz fark edilecek bir faz yapmamışlardır, hududun iki tarafındaki iki yapı arasında atom bağlaçları vardır. Yer değiştirme hareketinin bu düzensiz alanlardan geçmesi zordur. Bu sebeple metal sertleşir dolayısıyla gerilmeler altında deformasyona daha dayanıklı olur [10].

5.4 Genel Birleştirme Özellikleri

Saf alüminyum 660°C’da ergir. Alaşımları ise alaşım içeriğine göre 482...600°C arasında ergir. Kaynak ya da lehimleme sırasında alüminyum ısınsa da rengi değişmez. Bu yüzden metalin ergime noktasına gelip gelmediği kolay gözlenemez.

Çeliğe nazaran yüksek ısı iletkenliği, ergitme kaynağı için fazla ısı verilmesini gerektirir. Büyük parçalarda ön ısıtma gereklidir. Yüksek elektrik iletkenliğinden dolayı ise çelikle mukayese edilirse yüksek akımlar gerekecek ve direnç kaynağında

kaynak süresi kısa tutulacaktır. Kaynak değişkenlerinin de daha keskin kontrolleri gerekecektir.

Alüminyum alaşımları havayla temas edince hemen yapışkan ve kolay giderilemez bir oksit filmi oluşturur. Ergitme kaynağında alüminyum parça ve ilave metalin uygun birleşmesi ve lehimlemenin veya yapıştırmanın iyi olması için bu oksit film takip edilmelidir. Temizleyici maddelerde, soy gaz atmosferlerindeki koruyucu gaz arkıyla veya mekanik ya da kimyasal yöntemlerle oksit filmi giderilmeye çalışılır.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyeti- aşağıdaki iki olay ile açıklanabilir.

1) Yüzeyde, alüminyum daha güç eriyen (2030 °C) ve yoğunluğu daha yüksek olan alüminyum oksit (Al_2O_3) oluşması, metal ve alaşımlarının, kaynağa elverişli olmamasına sebep olmaktadır. Bunun varlığı, dikişinin devamlı olmasını sağlayacak erimiş damlacıkların, bağ oluşturmaya engel olmaktadır. Bu zorluğu ortadan kaldırmak için, alümini eriten ve temizlenmesi kolay olan bir cüruf oluşturan özel bir örtü kullanılır.

2) Bazı alaşımlarda kaynak esnasındaki ısı çevrim, ana katı eriyik içinde bulunan bileşenlerin, erimiş bölge veya esas malzemede çökmesine sebep olmaktadır. Bu çökme, mekanik özellikleri ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı azaltmaktadır.

Dövme alaşımlar; koruyucu gaz altında kolaylıkla kaynak edebilirler. Isıl işlem görmemiş alaşımlara el kaynağı yapıldığı zaman, mukavemetleri, kaynak yapılmamış aynı alaşıma göre daha düşük olmaktadır. Bilindiği gibi kaynak yerinde üç ayrı bölge oluşur. Erime bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), ısıdan etkilenmemiş bölge (değişikliğe uğramayan bölge). Isıl işlem görmüş alaşımlarda, tel halinde çekilebilme özelliği düşmektedir. Kaynaktan sonra yaşlandırma sertleşmesi yapılırsa dayanıklılık artar [2].

6. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE ALÜMİNYUM

Yukarıdaki başlıklarda görüldüğü alüminyum; dünya üzerinde yaygın olarak bulunabilirliği, fiziksel ve mekanik özellikleri, ısıt işleme uygunluğu ve geri dönüştürülebilirliği ile otomotiv endüstrisi için uygun bir malzemedir.

6.1 Taşıtlarda daha fazla alüminyum

Alüminyum ve otomotiv endüstrileri, en yaygın hafif metalin, taşıtlarda kullanımında ortak bir tarihe sahiptirler. Bu ortak tarihin sonucunda günümüzde ortalama bir otomobil çok çeşitli alüminyum parçalar içermektedir. Bunların başında döküm yöntemiyle üretilen silindir kafaları, dişli kutuları, jantları; levha ve ekstrüzyon yöntemiyle imal edilen radyatörler, tamponlar, koltuk rayları, yan çarpma çubukları vs. gelmektedir. Bu parçaların bir araçtaki ortalama ağırlığı 100 kg civarındadır (Toplam ağırlığın %10'u).

Günümüzde, çok sıkı uluslararası rekabet ve artan çevresel kaygılar taşıt üreticilerini yeni zorluklarla yüz yüze getirmiştir. Artık taşıt üreticilerinin, konfor ve emniyetten ödün vermeden, doğayı daha az kirleten ve daha kolay geri dönüştürülebilen araçlar üretmeleri gerekmektedir. Bunun yanında verimli üretime ve maliyetleri azaltmaya devam etmeleri gerekmektedir.

Bu hedeflere ulaşmada “Ağırlık” temel etkindir. Her 100 kg ağırlık azaltımında 100 km’de 0,6 litre daha az yakıt tüketilmektedir. Daha az yakıt tüketimi aynı zamanda daha düşük egzoz emisyon değeri ve çalışma maliyeti demektir [8].

Daha az yakıt ile hareket edebilecek bir otomobil daha hafif olmalıdır. Otomotiv endüstrisinde hafif malzeme kullanımı yakıt tüketimini azaltmak için kullanılabilecek en kolay yöntemdir. Kullanılabilecek malzemelerin aynı zamanda

geri dönüşebilir olması gereklidir. Alüminyum geri dönüşebilir ve geri dönüşebilirliği ile de hammadde tükenmeyen bir malzemedir.

Alüminyum emniyet, konfor ve güvenilirlikten ödün vermeden ağırlık azaltımı için anahtar bir malzemedir. Düşük özkütlesi ve yüksek mukavemeti sayesinde alüminyumun yaygın olarak kullanımı orta sınıf bir otomobilde yaklaşık 300 kg ağırlık azaltımı sağlayabilir. Bu aracın toplam ağırlığının %30'una denk gelmektedir.

Geri dönüşüm dikkate alındığında alüminyum diğer tüm malzemelerden daha verimlidir. Alüminyum kalitesinden bir şey kaybetmeden tekrar geri dönüştürülebilir. Yüksek hurda değeri, geri dönüşümü ve tekrar kullanımını garanti etmektedir. Otomotiv sektöründe kullanılan alüminyumun %95'i toplanarak geri dönüştürülmektedir. Bu malzemelerin hurda değeri normal değerlerinin %50 sinin üzerindedir.

Alüminyum, hali hazırda birçok parça için en ekonomik malzeme olduğunu kanıtlamıştır. Şimdi otomobil üreticileri çevresel hedefleri yakalayabilmek için birçok farklı parçayı da alüminyumdan imal etmeye çalışmaktadırlar. Şunun farkına varılmıştır ki; üretim aşamasındaki sınırlı bir artış müşterinin yakıt tasarrufu ile telafi edilmektedir. Otomobil ve alüminyum üreticileri yeni hafif parça üretimi için birlikte çalışmaktadırlar. Bu çalışmaların kapsamında değişik seri üretim parçaları olduğu gibi tamamen alüminyumdan imal gövde projeleri de vardır.

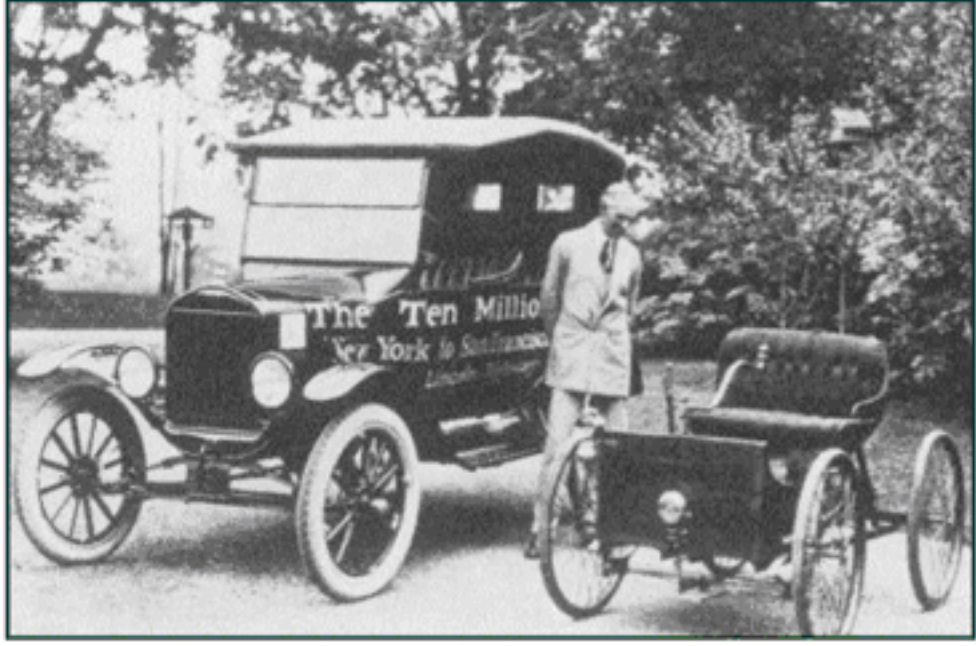
Hafiflik özelliğinin yanında alüminyum malzeme boyasız veya kaplamasız olsa bile sudan ve yol tuzlarından kaynaklanan korozyona karşı dayanıklıdır. Görsel olmayan parçalarda çelik için gerekli olan ve ilave maliyet getiren galvanizleme, kaplama veya boyama alüminyum için gerekli olmayabilir. Alüminyum, boyanın çizilmesi veya kalkması durumunda çelik gibi paslanmaz. Bazı plastik malzemeler gibi çöl sıcağı, kuzey soğuğu veya UV ışınlar sonucunda zayıflamaz veya kırılganlaşmaz [11].

6.1.1 Taşıtlarda alüminyum kullanımının kısa tarihçesi

Geçtiğimiz 25 yılda alüminyumun otomobillerdeki kullanımı hem araç başına mutlak miktar hem de araç ağırlığının yüzdesi bakımından sürekli olarak artmıştır. Alüminyum otomotiv sektöründe uzun ve başarılı bir tarihe sahip olsa da otomotiv sektörüne kolay girmemiştir. Alüminyum krank karterleri ilk defa 1897 yılında Clark ve 1898 yılında De Dion Bouton tarafından kullanılmıştır.

1901 yılı New York otomobil fuarında birçok yeni alüminyum parça sergilenmiştir. Alüminyum gövde panelleri ahşap panellerin yerini almaktaydı. 1903 yılında Gordon Bennett Napier alüminyum bir silindir bloğu imal etti. 1904 yılında Lancaster'ın arka aksı alüminyumdan imal edilmişti. 1900'lü yıllarda alüminyumun otomobillerdeki kullanımı katlanarak artmaktaydı. Bu parçalar arasında dişli kutuları, fan blokları, yağ karterleri, su pompaları, direksiyon kutuları, direksiyon simitleri, radyatörler, gösterge panelleri ve diğer parçalar bulunmaktaydı.

Birinci Dünya Savaşından önce otomotiv endüstrisi, alüminyumun en büyük ve toplam alüminyum üretimin yarısını kullandığı için tek sayılabilecek pazarıydı. Popüler Ford T Modeli alüminyumu transmisyonunda ve kaputunda kullanmaktaydı (Şekil 6.1). 1913 yılında W.O. Bentley, alüminyum pistonların yarış arabalarında kullanımına öncülük etmiştir [8].



Şekil 6.1 Henry Ford ilk ve son Ford T modelleriyle birlikte [8]

Alüminyumun yaygın olarak kullanıldığı tabir edilebilecek ilk araç 1923 yılında ünlü İngiliz Mühendis L.H. Pomeroy tarafından tasarlanmış ve üretilmiştir. Pomeroy aracı standart bir otomobilin ancak üçte ikisi ağırlığındaydı ve muhteşem derecede dayanıklı olduğunu kanıtlamıştı.

Seri olarak üretilen araçlarda çelik, daha çok ekonomik sebeplerle, baskın duruma gelmiştir. Fakat alüminyumun avantajları ona taşımacılık, havacılık, raylı taşımacılık, kamyonlar ve otobüslerde önemli bir yer sağlamıştır. Bu özellikler aynı zamanda yarış araçlarında ve lüks otomobillerde yüksek değer taşımaktaydılar. Örneğin Rolls Royce'un efsanevi alüminyum gövdeli 1930 Duesenberg "Gümüş Hayalet" modeli gibi. Alüminyumun standart üretilen araçlarda kullanımı İkinci Dünya Savaşından ve 1973 yılındaki yakıt fiyatlarının artışıdan sonra tekrar keşfedildi denilebilir [8].

Dünya alüminyum endüstrisi, İkinci Dünya Savaşı sırasındaki savaş uçağı ihtiyacı sebebiyle bu dönemde hızla büyüdü. Bu durum savaş sonrasında üretim kapasitesi artışına ve dolayısıyla da alüminyum için, otomotivinde bulunduğu yeni pazarların açılmasına sebep oldu.

1948 yılında Amerika’da yapılan ilk akışkan kontrollü otomatik transmisyon alüminyum bir yatağa sahipti. 1955 yılına gelindiğinde alüminyum pistonlar otomobillerde standart hale gelmişti. 1950’lerin başında pek bilinmeyen, alüminyumun görsel parça malzemesi olarak kullanımı bu on yılın sonunda yaygınlaşmıştı. 1960’ların ortalarında birçok otomobilde alüminyum ızgara kullanılmaktaydı [8].

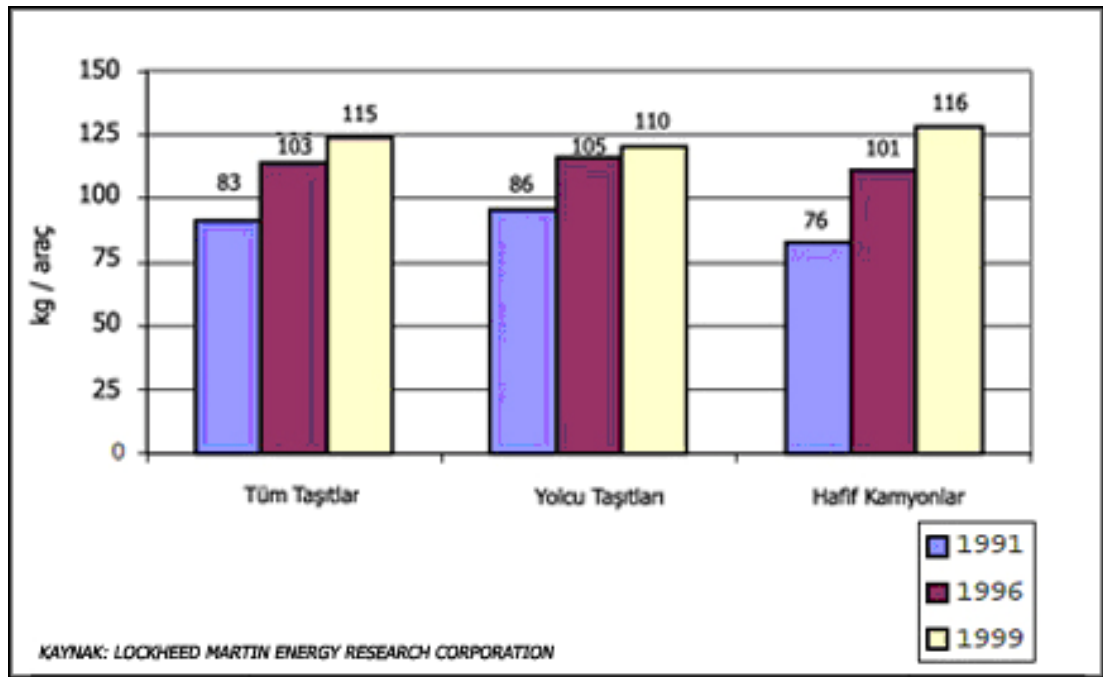
Bundan sonra otomotiv uygulamaları katlanarak çoğaldı: 1970’lerde alüminyum tamponlar, 1977 yılında alüminyum emme manifoldu, bunları takiben alüminyum piston kafaları, motor blokları, tekerlekler, radyatörler, tahrik şaftları ve son yıllarda farklı birçok parça. Günümüzde yüzden fazla farklı parça alüminyumdan üretilmektedir ve bu sayı her geçen gün artmaktadır. Otomotiv endüstrisinde alüminyumun kullanım potansiyeli oldukça yüksektir. Bu potansiyelin bir kişisel taşıma araç konstrüksiyonunun yaklaşık olarak %25 kadarı olduğu belirtilmektedir. Bu gün bir otomobilin ağırlığının ancak %6 kadarı alüminyumdur. Bu miktar geçmişe göre çok hızlı bir şekilde artmaktadır.

Bugün 12 ve 8 silindirli motorların hemen tamamı alüminyumdan üretilmektedir. VAW Alüminyum AG’nin bir kardeş kuruluşu olan EB hassas döküm firması FORD için tamamen alüminyumdan motor üretmektedir. Dillingen’deki fabrikada motor bloğu ve silindir başlığı olarak yaklaşık 40.000 parça/yıl üretim yapılmaktadır. AUDİ bugün kasa üretiminde alüminyumu çok şanslı görmektedir. AUDİ A8 aracın kasası Space-Frame teknolojisi ile üretilmiştir. AUDİ AG’nin yaptığı hesaplarda birincil alüminyum üretmek için gerekli enerji, bir otomobilin 55.000-79.000 km’de sağlanacak toplam yakıt tasarrufu ile amorti edilmektedir. Geri dönen alüminyumun katkısı ile amortisman süresi daha da kısalmaktadır. Öyle ki, daha ilk kilometrelerde enerji bilançosu geleneksel çelik malzemelere göre çok daha ekonomik olmaktadır.

Mercedes-Benz akıllı ve hafif konstrüksiyonlarda otomobil üretiminde büyük bir gelecek beklemektedir. Mercedes bu beklentisinin yüksek mukavemetli, ancak hafif çelikler, plastikler, alüminyum ve magnezyum gibi malzemeler kullanarak gerçekleşeceğini öngörmektedir [5].

Kuzey Amerika'ya bakıldığında otomobil başına kullanılan alüminyum 1970 yıllarında yaklaşık 50 kg dan 1999 başında 115 kg civarına çıkmıştır (Şekil 6.2). Ancak son on yıldaki artış çok daha hızlıdır. 1993'de 100 kg kullanım varken, 1998'de toplam alüminyum kullanımı 120 kg'a yaklaşmıştır . Avrupa ülkeleri ise 2008 yılına kadar otomobil başına alüminyum kullanımını 140 kg'a çıkarmayı hedeflemektedir. 1991'den beri otomobillerde alüminyum kullanımı %54 oranında artış göstermiştir.

Kuzey Amerika'daki bazı firmaların alüminyum kullanımı ile ilgili planları şöyledir: General Motors büyük pick-up, SUV (Spor Özellikli Taşıt) ve lüks taşıtlarındaki alüminyum kullanımını arttırmayı planlamaktadır. Chrysler yolcu taşıtlarındaki alüminyum kullanımı önemli ölçüde arttırmıştır, fakat pikap (hafif kamyon) kategorisindeki araçlarında bu oranı bir miktar düşürmüştür [12].



Şekil 6.2 Kuzey Amerika'da üretilen taşıtlardaki alüminyum kullanım miktarının zamanla artışı [12]

6.2 Alüminyumun otomotiv sektöründe yaygınlaşarak kullanımını sağlayan anahtar özellikleri

Alüminyum, otomotiv sektörünün birçok özel isteğine yanıt verebilecek özellikler sunmaktadır. Bu özellikler şu ana başlıklar altında genellenebilir:

6.2.1 Mukavemet

Bazı alüminyum alaşımları, otomotiv sektöründe kullanılan çeliklerin mukavemet değerlerini yakalamakta hatta geçmektedirler. Birkaç örnek vermek gerekirse otomotivde kullanılan 6061 alaşımın çekme mukavemeti 310 MPa, 6111'in 290 MPa ve 7029'un 430 MPa'dır. Bazı alüminyum alaşımları ısıtıl işlemler sonucunda 700 MPa çekme dayanım değerlerine ulaşmaktadırlar [8].

6.2.2 Hafiflik

Alüminyum aynı hacimdeki çeliğin %35'i ağırlığındadır. Alüminyum otomotiv parçaları ağırlıktan direk olarak tasarruf sağlamanın yanında kolon, direk vb. profillerde tekrar tasarlanmaları sayesinde de tasarruf sağlar.

6.2.3 Yüksek mukavemet-ağırlık oranı

Alüminyum'un mukavemet-ağırlık oranı çeliğe göre daha büyüktür. Genellikle iki kat ya da daha fazladır. Alüminyumun bu özelliği uçak-uzay endüstrisinin gelişmesinde çok önemli bir rol oynamıştır. Alüminyum, aynı avantajları daha fazla performans ve yüksek yakıt verimi isteyen otomotiv tasarımcıları içinde sunmaktadır.

6.2.4 Esneklik

Alüminyum alaşımları yük altında çeliğe göre üç misli esnerler ve geri yaylanırlar bu özellik esnek mukavemet ve şekil korumasını sağlar. Alüminyum alaşımlar aynı zamanda rijitliğin sağlanmasında ve taşıt araçlarında çarpma enerjisinin emilmesinde üstün özelliklere sahiptirler. Bu özellikleri sağlarken diğer malzemelere göre %50 kadar ağırlık kazanımı sağlarlar.

6.2.5 Korozyon dayanımı

Alüminyum, aynı ortam şartlarında çelik gibi paslanarak kaybolmaz. Doğal oksit tabakası daha fazla oksidasyonu önler. Galvanik korozyon riski doğru alaşım seçimi, parça tasarımı ve koruyucu ölçülerle en az seviyeye indirilebilir.

6.2.6 Diğer özellikler

- Alüminyum; döküm, preste basma, dövme, bükme, ekstrüzyon, kesme, delme, zımbalama gibi tüm metal üretim yöntemleri ile üretilebilir ve şekillendirilebilir.
- Alüminyum; kaynak, lehimleme, sert lehimleme, civatalı bağlantı, perçinleme, yapıştırma, geçme, kayarak geçme gibi tüm birleştirme yöntemleri ile birleştirilebilir.
- Düşük sıcaklıklarda alüminyum kırılmanmaz, 0 °C altında bile yüksek mukavemete ve esnekliğe sahiptir.
- Alüminyum çok tatmin edici hurda değerine ve iyi yapılanmış bir geri dönüşüm pazarına sahiptir. Bu ekonomik ve çevresel bakımdan önemli yararlar sağlamaktadır.
- Alüminyum, ısıyı ağırlık bazında bakırdan 1.8 kat, çelikten 3 kat daha iyi iletir. Bu alüminyumu ısı değiştiriciler için çok iyi bir malzeme yapmaktadır. Alüminyum ısı değiştiriciler otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Pürüzsüz alüminyum elektro-manyetik spektrumda yüksek oranda yansıtıcılığa sahiptir. Bu aralık radyo dalgalarını, görülebilen ışığı, kızılötesi ışınları ve ısıyı kapsar. Alüminyum görülebilen ışığın %80'ni ve yüzeyine çarpan termal radyasyonun %90'nı yansıtır. Alüminyumun yüksek yansıtıcılığı ona dekoratif bir görünüm kazandırır aynı zamanda alüminyumu otomotiv sektöründe ısı kalkanı olarak kullanılmak üzere termal radyasyona karşı çok verimli bir bariyer kılar.

6.3 Taşıtlarda kullanılan alüminyum parçaların şekillendirme yöntemine göre değerlendirilmesi

Tablo 6.1 ve 6.2’de taşıtlarda yaygın olarak kullanılan alüminyum parçaların şekillendirme yöntemlerine göre sınıflandırılması gösterilmektedir [5].

Tablo 6.1 Taşıtlarda kullanılan alüminyum parçaların şekillendirme yöntemleri ve ağırlıkları [5]

Parça	Şekillendirme Yöntemi	Tipik ağırlık (kg)
Kasa	Döküm,ekstrüzyon,hidro şekillendirme, ekstrüzyon,levha	130-180
Gövde paneli	Levha	50-70
İç yüzey levhaları	Levha	50-70
Motor bloğu ve silindir kapağı	Döküm	60-80
Egzoz manifoldu	Döküm	10
Pistonlar	Döküm	0.5-3
Transmisyon kutusu	Döküm	2-5
Diferansiyel kutusu	Döküm	2-3
Jantlar	Döküm	5-8
Fren parçaları	Döküm	1
Süspansiyon parçaları	Döküm, hidroform,ekstrüzyon	30-50
Yakıt tankı	Levha	5
Radyatör	Ekstrüzyon,levha	10-20
A/C kondanseri	Ekstrüzyon, levha	5

Tablo 6.2 Taşıtlarda kullanılan bazı alüminyum parçalar ve bunların şekillendirme yöntemleri [11]

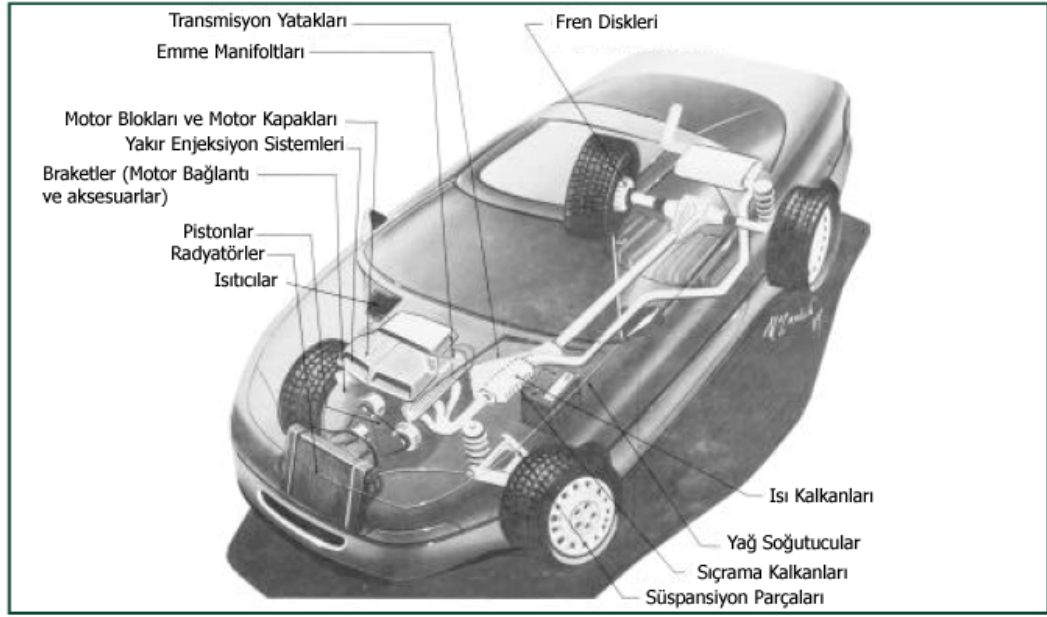
Şekillendirme yöntemi	Toplam yüzde	Ana kullanım yerleri
Döküm	38%	Motor blokları, transmisyon, jantlar, dış parçalar, ısı değiştiriciler, iç parçalar, direksiyon sistemi, elektrik
Düşük basınçlı döküm	34%	Motor blokları, fren sistemi, şase ve süspansiyon sistemi
Levha	4%	Isı kalkanları, tamponlar, iç-dış parçalar, gövde yapısı, kapatma panelleri
Kum döküm	4%	Motor
Lehimli levha	4%	Isı değiştiriciler
Ekstrüzyon	3%	Şase ve süspansiyon sistemi, tamponlar, iç-dış parçalar, gövde yapısı, direksiyon sistemi
Ekstrüze boru	3%	Isı değiştiriciler
Dövme	2%	Jantlar
Sıvı Presleme (Hidroform)	1%	Motor
Diğer	4%	Fren sistemi, frenler, şase ve süspansiyon sistemi, gövde yapısı, direksiyon sistemi

6.4 Taşıtlarda Alüminyum Döküm Kullanımı

Otomobillerde kullanılan döküm alüminyum alaşımı parçalar bir otomobilin: değişik kutuları, motor sistemi, çerçeve ve bağlantı elemanları, fren sistemi, enjeksiyon sistemi gibi temel gruplarında kullanılır. Tablo 6.3'te taşıtlarda yaygın olarak kullanılan alüminyum döküm parçalar ve bunların üretildiği alaşımlar gösterilmektedir [5].

Tablo 6.3 Taşıt araçlarında kullanılan bazı parçalar ve bunların üretildiği alüminyum alaşımlar [5]

Alaşım uygulaması	Uygulama Alanı
1000 serisi (yüksek saflıkta)	
1100	Plakalar,aplikler
1200	Ekstrüzyon ürünü kondenser boru ve kanatlar
2000 serisi(bakır alaşımları)	
2008	iç ve dış gövde panelleri
2010	iç ve dış gövde panelleri
2011	vida makine parçaları
2017	mekanik bağlantı elemanları
2024	mekanik bağlantı elemanları
2036	iç ve dış gövde panelleri, koltuk iskeleti
2117	mekanik bağlantı elemanları,
3000 serisi (mangan alaşımlar)	
3002	
3003	plaka, aplik
3004	sert lehim radyatör boruları, ısıtıcı göbekler, kanatlar
3005	iç paneller ve komponentler
3102	radyatör,ısıtıcı ve buharlaştırıcı kanatlar
5000 serisi (Mg alaşımları)	ekstrüde kondenser borular
5005	
5052	plaka,aplik
5182	iç paneller ve parçaları, kamyon tamponları, gövde panelleri
5457	iç gövde panelleri,çamurluk,ısı kalkanları,yapı elemanları
5657	aksesuar
5754	aksesuar
6000 serisi (Mg-Si alaşımları)	çeşitli komponentler, jant,motor aksesuarları
6009	
6010	iç gövde panelleri,çamurluk, ısı kalkanları, yapı parçaları
6053	iç ve dış gövde panelleri,dirsekler, tampon krişleri, dirsekler, yapı elemanları
6061	iç ve dış gövde panelleri, tampon takviyeler, koltuk kızakları
6063	mekanik bağlantı ekstrüde gövde komponentleri, dirsekler, dövme süspansiyon parçaları,tampon ve yapı elemanları, mekanik bağlantı elemanları,
6082	preslenmiş jantlar
6111	ekstrüde gövde elemanları
6262	ekstrüde gövde elemanları
6463	fren yatakları,yapısal parçaları
7000 serisi (çinko alaşımı)	
7003	
7004	gövde panelleri
7021	gövde panelleri
7072	fren yuvaları, fren pistonları, anodize bagaj raflar,
7116	hava deflektörler parçaları
7129	kondenser ve radyatör kanatları koltuk kızakları



Şekil 6.3 Otomobillerde kullanılan alüminyum döküm parçalar [8]

Otomobillerde alüminyum döküm parçaların en çok kullanıldığı alanlar; motor, vites ve aks sistemleridir (Şekil 6.3). 1998 yılında, bir otomobilde döküm alüminyum kullanımı 70 kg olmuştur. Bunun 32 kg kadarı motor aksamında, 31 kg kadarı hareket ve jant sisteminde kullanılmıştır. 2008 yılında bir otomobilde 120 kg alüminyum kullanılması ve bu miktarın 45 kg kadarı motor ve vites, 32 kg kadarı ise jant ve hareket sisteminde olması hedeflenmektedir [11]. Tablo 6.4’te otomobillerde yaygın olarak kullanılan alüminyum döküm parçaların ortalama ağırlıkları gösterilmektedir [5]. Tablo 6.5’te otomobillerde kullanılan bazı alüminyum döküm alaşımları ve bu alaşımlardan üretilen bazı parçalar gösterilmektedir [5].

Tablo 6.4 Bir otomobilde kullanılan alüminyum döküm parçalar ve bunların ortalama ağırlıkları [5]

Döküm Parçasının Adı	Ortalama Ağırlığı(kg)	Döküm Parçasının Adı	Ortalama Ağırlığı(kg)
MOTOR		Çalıştırma Sistemi	
Silindir başlığı	10	Vites kutusu	3-6
Pistonlar	0.5	Transformator kutusu	4.0
Emme Manifoldu	2	Debriyaj kutusu	4.5
Motor bloğu	12	Kardan Kutusu	0.4
Su pompası kutusu	0.5	Direksiyon çubuğu	0.4
Enjeksiyon	0.6	DİĞER PARÇALAR	
Ateşleme Parçaları	0.4	Debriyaj pedalı	0.4
Jeneratör Kutusu	0.2	Pedal bağlantıları	0.5
Starter	0.5	Askı tertibatı	5.0
Yağ filtresi	0.6	Fren pedalı	0.5
Alternatifakım jeneratörü	1.1	Fren kavrama kutusu	0.4
Dengeleme kolu kapağı	1.5	Direksiyon simidi	0.4
Dağıtıcı başlığı	0.5	Motor bloğu	5
Dengeleme kolu	0.5	İnce döşeme parçaları	14.5
Yağ Pompası	1.0	Arka ask kutusu	6
Dizel yakıt pompa kutusu	0.22	Krank kolu	0.5
Karbüratör	1.0	ABS sistemi	4x5+1.7
Termostat başlığı	0.12	Enjeksiyon	1+1
Motor mesneti	0.7	FRENLER	
HAREKET		Ana fren silindirleri	-
Direksiyon kutusu	0.7	Fren kolu	-
		JANTLAR	6.5

2

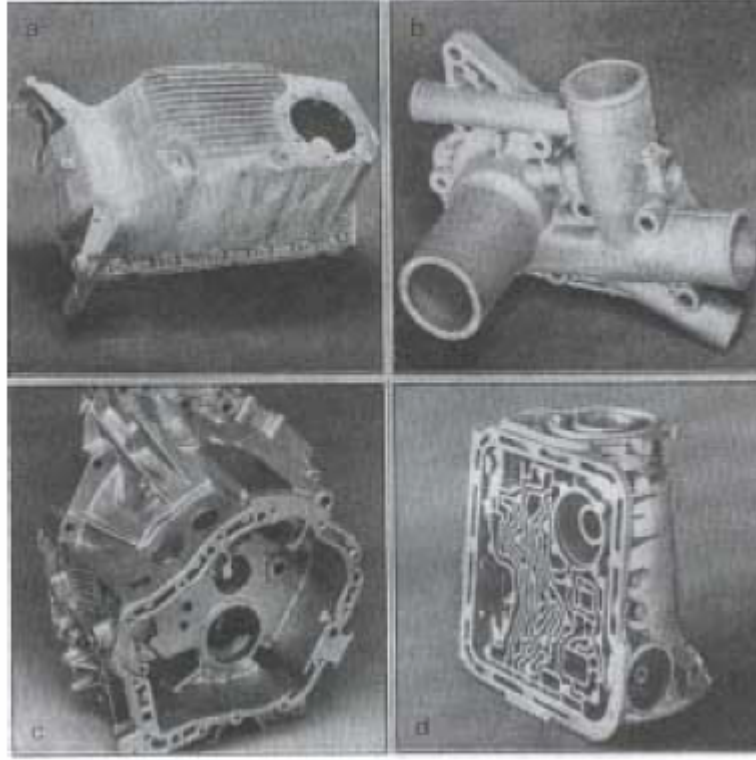
Tablo 6.5 Taşıtlarda kullanılan bazı alüminyum döküm alaşımları ve bunlardan üretilen parçalar [5]

ALAŞIM	TPIK UYGULAMA
A380.0	Dirsekler, yataklar, dahili motor parçaları, direksiyon dişlileri
383.0	Bloklar, transmisyon yatakları/parçaları, yakıt ölçüm aletleri
319.0	Monifold, silindir başlıkları, bloklar, dahili motor parçaları
356.0	Silindir başlıkları, manifold
A356.0	Jantlar
B390	Ring dişliler, dahili transmisyon parçaları

6.4.1 Kutular

Bu grup otomobil parçaları; debriyaj kutusu, vites kutusu, direksiyon kutusu gibi hafif parçaları kapsamanın yanında dengeleme kapağı, arka aks kutusu, yağ karteri, yağ ve su pompası kutuları gibi düşük parça sayısı için alüminyumdan üretilmiş parçalar Şekil6.4'te gösterilmiştir. Bu parçalar genellikle basınçlı döküm ile üretilir. Basınçlı döküm, kütleli üretim koşulları için ekonomik bir üretim yöntemidir. Bu

yöntemle çok yüksek bir üretim hızına ulaşılabilir. İnce kesitli parçalar üretilebilir ve çok düşük son işleme ile döküm sonrasında iyi bir yüzey kalitesi ve ölçü hassasiyeti elde edilir [5].



Şekil 6.4 Alüminyum döküm yöntemiyle üretilen bazı otomobil parçaları a) yağ karteri, b) su pompası kutusu, c) debriyaj kutusu, d) otomatik vites kutusu [5]

6.4.2 Motor Parçaları

Motor otomobillerdeki en ağır ünitelerden birisidir. Bu sebeple alüminyum kullanımı ile çok büyük miktarlarda ağırlık tasarrufu potansiyeline sahiptir. Birçok motor alüminyum motor kapağına sahiptir ve bazılarının motor blokları da alüminyumdur (Şekil 6.5). Motor parçaları genellikle basınçlı dökümle üretilirler ve bu parçalar kutulara göre daha yüksek mukavemet gerektirirler.

Dizel motorlarda alüminyum kullanımı daha azdır. Çünkü bu motorlar benzin motorlarına göre daha yüksek mukavemet gerektirirler. Ayrıca dizel motorlarda gürültü çok önemli bir problemdir. Motor blokları genellikle basınçlı döküm yöntemi

ile üretilirler. Motor aksamında bulunan diğ er metalik parçalar mekanik sıkıştırma yöntemi ile yerle tirilirler.

1995 yılından beri BMW, 6 silindirli motorların yeni versiyonlarını üretmektedir. Dört valf tekniğı, bu 6 silindirli benzinli motorların (silindir hacmi 2-2.8 litre) bir yeni jenerasyonudur. Alüminyum motorlarda silindir başlığı dışında silindir krank karteri de hafif metal alaşımlarından üretilmektedir.

BMW 6 silindirli motorlar 158 kg civarındadır. Bu motorun ağırlığı diğ er malzemelerden yapılmış olanlara göre 31 kg daha hafiftir. Yalnızca silindir krank karterinde 20 kg ağırlık tasarrufu yapılmaktadır. Dört silindirli motorlar uzun zamandan beri İtalya ve İngiltere’de alüminyumdan üretilirken, son yıllarda Japonya’ya da sı ramı tır. Bu güne kadar Alman otomobil üreticileri bu tip motorlarda dökme demiri tercih ederken, Porsche 911’de silindir krank karterinde ötektik üstü alüminyum döküm ala ımını denediler [5].

1995 yılından beri Ford Fiesta’da 4 silindirli motorların tamamen alüminyum olması alüminyum karşıtı fikirleri değı tirmi tır. Bu motorlar 1.25 litre silindir hacminde motorlardır (ZETEC-SE motorlar, 55 KW güç). Bunların motor bloğı özel kum döküm prosesi ile üretilmektedir. Bu tip motorlarla birlikte tüm seri için bir start noktası oluşmuştur. Gelecekte silindir hacminin 1.4 ve 1.7 litreye çıkarılması hedeflenmektedir. ZETEC-SE motorların motor bloğı ve silindir kapağı Almanya’da döküm yöntemi ile üretilmektedir [13]. Kompleks döküm parçaları için kum döküm yöntemi kullanılmaktadır. Ma a  retiminde maça paketleme sistemi CPS, tercih edilmektedir. Tek parçalardan olu mu  komple kum kalıp, soğuk kutu yöntemi ile kum maçalar otomatik ve sürekli bir i lemlle üretilirler. Ma a paketleme sistemi ile garantili ve yüksek ölçü hassasiyetli, uygun maliyetli yüksek kaliteli alüminyum döküm parçalar  retilenmektedir [5].



Şekil 6.5 Yüksek oranda alüminyum kullanılarak üretilmiş yüksek performanslı bir motor [17]

6.4.3 Piston

Bu hareketli parçalar; yüksek sıcaklık, stres ve korozyona yol açacak bileşiklerin bulunduğu ortamlarda, aracın kullanım süresi boyunca dayanmalıdırlar. Alüminyum bu istekleri karşılamaktadır. Bunun yanında, hafifliği sayesinde daha keskin tepkilere sahip ve daha verimli motorların üretilmesini sağlamaktadır.

Bu tip döküm parçalarında basınçlı döküm tekniklerinin yeterli olmadığı koşullarda “Sıvı Presleme” yöntemi kullanılır. Bu yöntemle diğer tüm döküm yöntemlerine göre çok daha yüksek yoğunluk ve metalürjik temizlik sağlanır. Bu gibi yöntemlerin yanında pistonlar seramik liflerle güçlendirilerek daha yüksek özellikler kazandırılarak kullanılır.

1920’de Daimler ilk motosikleti, motorlu gemiyi ve otomobili hafif metal pistonları ile seri olarak alüminyumdan üretmiştir. Hafif metal pistonlar diğer dökme demir pistonlara göre çok avantajlıdır. Mahle motor parçası olarak alüminyumun üstün avantajlarını keşfetmiştir. Daha sonraları 1933 yılında Mercedes-Benz dizel

motorlarda alüminyum pistonlar kullanmaya başlamıştır [5]. Alüminyum 1950 yılından beri otomobil pistonları için standart malzemedir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 Alüminyum döküm yöntemiyle üretilmiş bir motor pistonu [17]

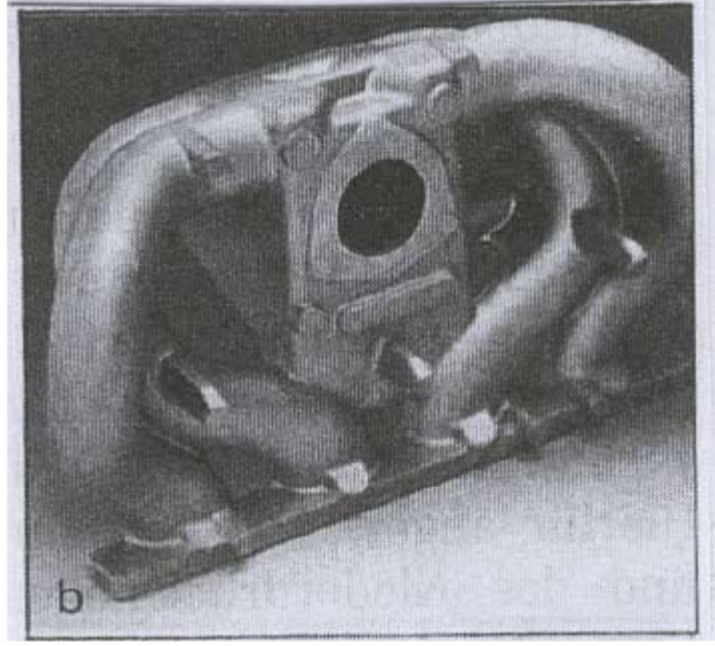
6.4.4 Emme manifoldu

Alüminyum emme manifoldlarının demire göre daha gelişmiş şekillerde ve daha ince et kalınlıklarında üretilmesine imkan verir. Emme manifoldu için genellikle düşük basınçlı döküm ve kokil döküm yöntemleri kullanılır. Bu parçadaki temel problem yanma odalarında artan sıcaklık ve basınç nedeniyle oluşan mekanik yükleme ve ısıl gerilmeler nedeniyle oluşan kırılmadır. Bu problemin aşılması için alaşım geliştirme ve döküm parçaların bölgesel olarak kuvvetlendirilmesi amacıyla araştırmalar yapılmaktadır.

Al-Si döküm alaşımları bu özellikleri sağlayacak şekilde yüksek sıcaklıklarda mukavemet, süneklik ve sürünme dayanımını arttıracak şekilde geliştirilmektedir. Birincil silindir başlığı alaşımı olan AlSi7Mg ve AlSi9Mg alaşımlarına % 0.5 ve %1 Cu ilave edilerek iki yeni tip geliştirilirken, sonunda iki yeni tip olan AlSi10Mg ve AlSi9Cu3 ortaya çıkmıştır.

Bakır içeren her iki alaşım, diğer geleneksel alaşımlarla karşılaştırıldığında belirgin olarak yüksek çekme dayanımı ve 150,200 °C arasında yüksek sürünme dayanımı göstermektedir. Çok önemli fiziksel özellikler olan genleşme sabiti ve ısı iletkenliği geleneksel alaşımlara bakır ilavesinde hiç etkilenmemektedir. AlSi9Cu alaşımına yüksek miktarda katkı elementi katılırsa, kopma uzaması bir miktar düşmekte, fakat

bu alařımın 250 °C'ye kadar mukavemeti ve sűrűnme dayanımı çok iyi deęerler göstermektedir [5]. Aracın motor bölgesinde kullanılan alűminyumdan imal parçalar ileri teknoloji grűntűsű oluřtururlar. Bu durum műřterilerde aracın daha kaliteli olduęu imajını yaratır (řekil 6.7).



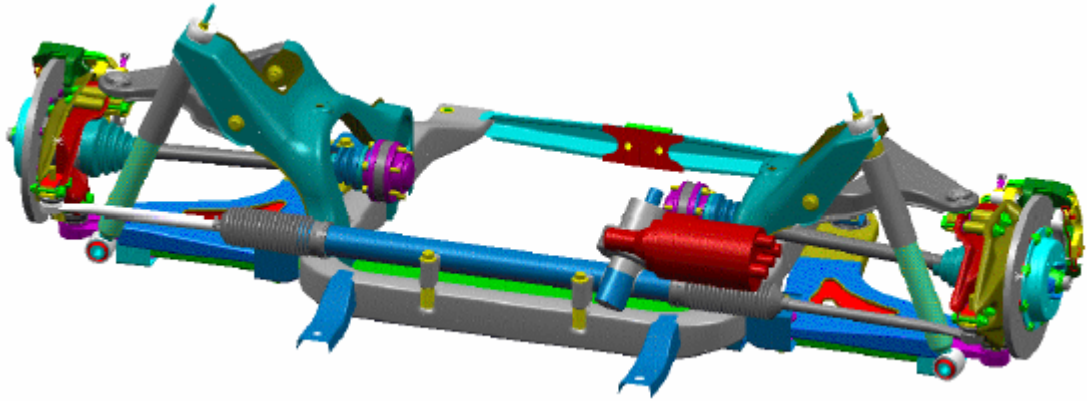
řekil 6.7 Alűminyum dkűm yöntemiyle űretilmiř emme manifoldu [5]

6.4.5 Akslar

Alűminyumun akslarda kullanımı nispeten daha yenidir. Çok zor kořullarda iřlev gören bu parçada alűminyum kullanımı yűksek mukavemet, hafiflik ve korozyona dayanım saęlamıřtır. Bu uygulamalarda alűminyumun hafiflięi aracın sadece genel performansı ve yakıt ekonomisini arttırmakla kalmamakta aynı zamanda titreřim ve gűrűltűyű de azaltmaktadır [8].

Alman otomobillerinde 1970'li yıllardan bu yana akslarda alűminyum kullanılmaktadır. Akslarda ű unsur çok önemlidir. Hafif, istikrarlı ve űstűn hareket kabiliyeti. Böyle bir arka aks 35 kg alűminyumdan űretilmiřtir. Bu dięerlerine göre sadece %49 aęırlıęa sahiptir (řekil 6.8).

1995 yılından beri BMW'nun ürettiği arka akslar yüksek iç basınç, hidroform⁷ ile şekillendirilmiş borulardan üretilmektedir. Parçalar hidroform şekillendirme sırasında tamamen plastik hale gelirler, böylece çok yüksek ölçü toleranslarına ulaşmak mümkün olmaktadır. BMW bu akslarda doğal yaşlandırma uygulamış ve AlMg3.5Mn alaşımı kullanmıştır. Bu üretim tekniği ile bir çekme borunun özelliklerine çok daha ucuz maliyetle ulaşmıştır. Dikişli kaynak yapılan alüminyum boruların en önemli avantajı çok yüksek şekillendirilebilme kabiliyetidir. Bu yüzden çok zor hacimler eğme ve hidro şekillendirme operasyonları ile ortaya çıkarılabilir. Diğer bir avantajı kesit kalınlıklarında çok dar toleranslarda çalışma imkanıdır [5].



Şekil 6.8 Yüksek oranda alüminyum kullanılan bir otomobil arka aksı [17]

6.4.6 Fren parçaları

Bu önemli uygulama alanında alüminyum şu özellikleri ile öne çıkmaktadır: Hafiflik, yüksek mukavemet, korozyon dayanımı, ekonomi, güvenilirlik ve dayanıklılık. Su, yol tuzu ve kir ile direk temas eden bu parçalarda bu özellikler büyük önem taşımaktadır. Bunların yanında, alüminyumun ısı transfer kabiliyeti fren parçalarını aşırı ısınmaya karşı korur bu sayede önemli bir güvenlik faktörü olan fren zayıflaması riskini azaltır.

Bu grup altında ana fren silindirleri, silindirler ve güvenli fren sistemi ABS sayılabilir. Bu parçalar düşük basınçlı döküm, kokil veya hızlandırılmış döküm

⁷ Yüksek basınçlı akışkan ile şekillendirme yöntemi

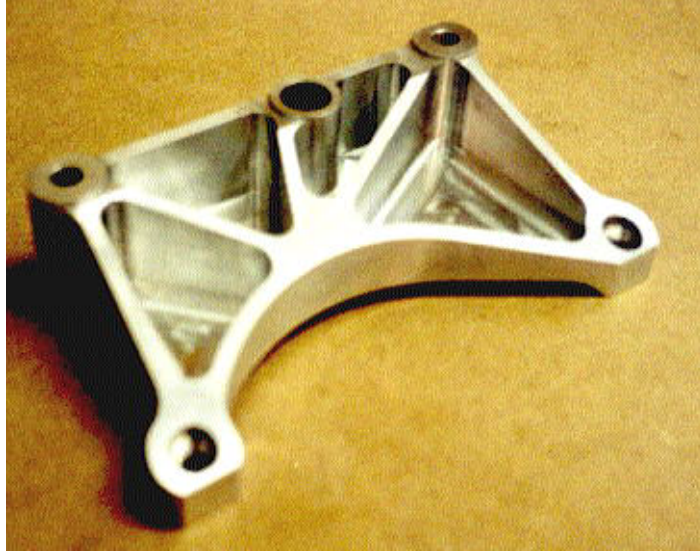
teknikleri ile üretilebilirler. Ana fren silindirleri ve fren silindirleri genellikle kokil döküm prosesi ile üretilir. Yeni nesil araçlarda bu parçaların sıvı presleme yöntemi ile üretim oranları giderek artmaktadır (Şekil 6.9) [8].



Şekil 6.9 Yüksek oranda alüminyum kullanılmış bir fren sistemi [17]

6.4.7 Braketler

Alüminyumun yüksek mukavemet, esneklik ve dayanıklılık özellikleri onu motor montajı ve diğer aksesuarlar için çok iyi bir braket malzemesi yapmaktadır. Elektrik destekli direksiyon sistemi braketlerinde, pompa montaj braketlerinde, klima montaj braketlerinde ve bunlara benzer diğer uygulamalarda alüminyum yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 6.10). Braketler genellikle kokil veya basınçlı döküm yöntemi ile üretilirler. Bunların yüksek aşınmalı motor ortamında dayanımlı olmaları gerekir.



Şekil 6.10 Alüminyum döküm yöntemiyle üretilmiş bir braket [5]

6.4.8 Yakıt enjeksiyon sistemi

Alüminyum gittikçe küçülen ve hafifleyen enjeksiyon sistemleri için düşük ağırlık, korozyon dayanımı, işlenebilirlik ve yüksek dayanıklılık özellikleri sunar (Şekil 6.11). 1995 yılından beri otomobil endüstrisinde enjeksiyon sistemlerinde Zn+Al alaşımı olan bir çok parça alüminyum alaşımı ile değiştirilmiştir. Kelebek valf kapağı ve dizel yakıt pompası kokil döküm yöntemi ile alüminyumdan üretilmektedir. Son iki grup henüz çok gençtir ve hızlı bir gelişme göstermektedir [5].



Şekil 6.11 Alüminyum kullanılmış bir enjektör [11]

6.4.9 Jantlar

Alüminyum jantlar bir aracın yayanmayan ağırlığını önemli ölçüde azaltarak yol tutuş ve hakimiyeti önemli ölçüde artırır. Paslanmaya karşı hassas değillerdir. Alüminyum jantlar otomobillerde ilk olarak sadece estetik sebeplerle, seçime bağlı donanım olarak sunuldu. Günümüzde alüminyum jantlar birçok araçta standart donanımdır (Şekil 6.12).

Jantların yaklaşık üçte biri alüminyumdan; döküm, dövme ve levhaların şekillendirilmesi ile üretilmektedir. Bu pazarda en büyük pay döküm jantlardadır, ancak diğer iki yöntem ağırlık tasarrufu nedeniyle yakın gelecekte büyük bir şansa sahiptir. Dövme jant, bir çelik janttan 3 kg daha hafiftir, bu %40 tasarruf demektir [11].



Şekil 6.12 Alüminyum döküm yöntemiyle üretilmiş bir otomobil jantı [17]

6.4.10 Alüminyum Dökümde Öngörüler

Önümüzdeki yüzyılda müşterinin talep ettiği artan araç konforu ve güvenlik sağlanarak araç ağırlığında azalma çok önemli çalışma konuları olacak ve bu bakımdan alüminyum gelecekte de önemli araştırma imkanları sunmaya devam edecektir.

Döküm tekniğinde yeni alternatif çalışmalarda kum maça kullanılarak üretilen basınçlı döküm yönteminin farklı bir tipi veya dolu kalıp dökümü gibi basınçlı döküme göre mekanik özelliklerin iyileştirildiği yöntemler denenmektedir. Sıvı presleme veya hidroforming yöntemleri bir fiyat dezavantajı getirmeden yoğunluğun ve mekanik özelliklerin iyileştirildiği yöntemlerdir. Bu yeni yöntemler bugünkü pazarda mevcut yöntemleri zorlamaktadır.

Yüksek mukavemet gerektiren otomobil parçaları için alüminyum basınçlı döküm kullanılmayı hızla geliştirmektedir. Otomobillerde yüksek dayanımlı alüminyum alaşımların kullanımı genel olarak malzeme tasarrufu yanında, düşük toplam ağırlık sağlamaktadır.

“VDA” olarak tanımlanan vakum altında basınçlı döküm yöntemi ile boşluk içermeyen parçalar üretilir. Bu aynı zamanda oksitsiz ve temiz bir yapı demektir. Vacural olarak isimlendirilen parçalar yüksek mukavemet ve çok iyi deformasyon davranışı gösterirler. Basınçlı dökümle üretilen alüminyum parçalarda buhar, gaz ve hava boşlukları dökümden uzaklaştırılamazlar. Bu gibi kusurlar ısı genleşmeye neden olur ve mekanik özellikleri çok etkiler. Böylesi etkiler Vacural yöntemi ile tamamen ortadan kaldırılmaktadır. Basınçlı döküm kalıbı, doldurma kamarası ve pres pistonları kapalı bir hacimdedir ve döküm prosesi vakum altında yapılır. Gazsız ve oksitsiz bir yapı uzama ve şekillendirme davranışını olumlu etkiler. Yüksek ölçü hassasiyeti ve ince kesitli ürünler elde edilir [5]. Bunun yanında, otomobillerde parçaların sınıflandırılması tamir, bakımda ve daha sonra malzemelerin ayrılarak değerlendirilmesinde ve geri dönüşümde çok faydalı olmaktadır.

6.5 Alüminyum gövde

Alüminyum; mukavemet, hafiflik, dayanıklılık ve mükemmel çarpışma özellikleri ile uzun zamandır taşıt gövdelerinde kullanılmaktadır. Alüminyum özellikle tır, otobüs gibi ticari araç gövdelerinde ilk tercih edilen gövde malzemesi durumundadır. Örnek olarak: Amerika Birleşik Devletleri Posta Servisi’nin açmış olduğu kamyonet ihalesini 24 yıl gövde ömrü ile alüminyumdan üretilecek bir kamyonet kazanmıştır [8].

6.5.1 Alüminyum gövde panelleri

Son 15 yıl boyunca alüminyum gövde panelleri birçok yüksek adetle seri üretilen araçta kullanılmıştır. Alüminyumun orta sınıf bir sedan aracın kaputunda kullanımında %40- 60 arası (11kg) ağırlık kazanımı gerçekleşmektedir. Bu ağırlık kazanımı, son yıllarda araçları belirli bir ağırlık sınıfında kalarak kilitlenmeyi önleyici fren sistemi ABS, hava yastığı gibi yeni özellikleri de ihtiva etmelerine imkan sağlamıştır [14].

Alüminyumun ağırlık azaltımında ve yakıt tüketiminin düşürülmesindeki etkisi otomotiv endüstrisi tarafından gittikçe daha fazla fark edilmektedir. Birçok yeni

alüminyum gövde paneli artık araç tasarımının konsept aşamasında belirlenmekte ve tasarımcılar fren, süspansiyon gibi diğer sistemlerin tasarımında bu ağırlık kazanımının getirilerinden yararlanabilmektedirler. Alüminyum gövde panellerinin en büyük avantajı; bu malzemelerin taşınmasında, şekillendirilmesinde, birleştirilmesinde ve bitirilmesinde çoğunlukla mevcutta kullanılan çelik donanımların kullanılabilmesidir.

Alüminyum gövde paneli uygulamalarında birçok farklı alüminyum alaşım kullanılabilmesine karşın birkaç alaşım bu uygulamalar için daha çekici konumdadır. Alüminyum gövde uygulamaları için üç farklı tip alaşım mevcuttur: alüminyum+bakır alaşımları, alüminyum+magnezyum alaşımları ve alüminyum+magnezyum+silikon alaşımları.

2xxx (Al+Cu) alaşımları: 2008, 2010 ve 2036 bu alaşım grubunda en çok kullanılanlardır. Bu alaşımlar ısıtılma işlemine uygundur ve genellikle T4 (solüsyonla ısıtılma işlemi görmüş ve doğal olarak yaşlandırılmış) durumunda temin edilirler. Bu grupta 2036 en yüksek mukavemete sahiptir. 2008 ve 2010 ise 2036'ya göre daha kolay şekillendirilebilirlik özelliğine sahiptir ve ayrıca bu alaşımların genel korozyon dayanımları daha iyidir.

5xxx (Al+Mg) serisi alaşımlar: 5182, 5454 ve 5754 bu alaşım grubunda en çok kullanılan alaşımlardır. Bu alaşımlar ayrıca bir miktar manganezde içerirler. Bu alaşımlar çökme ile sertleşme özelliğine sahip değildir, bu sebeple boyama işlemi sırasında mukavemetleri artmaz. Formlama yöntemiyle mukavemetleri artırılabilir fakat bununla büyük bir kısmını boyama işlemi esnasında kaybederler.

5xxx alaşımları çok rahat şekillendirilebilirler ve çok yüksek korozyon dayanımına sahiptirler. Bu alaşımlar genel olarak dış gövde panelleri için çok uygun değildir. %3 oranından daha fazla magnezyum ihtiva eden, 5182 dahil 5xxx alaşımlarında, şekillendirme esnasında, gerilme-korozyon çatlakları oluşabilir.

6xxx (Al+Mg+Si) serisi alaşımlar:6009, 6022 ve 6111 bu grupta en çok kullanılan alaşım türleridir. Bu alaşımlar ısıtılma işleme uygundur. Boya işlemi esnasında oluşan ısı değişimi malzemeye sertleşme yönünde tesir eder. Bu üç alaşım arasında 6111 en yüksek mukavemete sahiptir, 6009 biraz daha şekillendirmeye uygundur

Kasa sacı olarak alüminyumun işlenmesinde bazı özelliklere dikkat etmek gerekir. Rijidite⁸ (azalan elastisite modülü E, ile azalır) ve esneklik (azalan elastik modül ile artar) için gerekli olan düşük elastisite modülü çok önemli bir faktördür. Bu durumda büyük bir derin çekme yapılmadan sadece çekme tekniği ile basit şekiller üretilebilir[14].

6.5.1.1 Çökme dayanımı

Bir dış panelin çökme dayanımı (dent resistance) o panelin: malzemenin akma mukavemeti, malzeme kalınlığı, şekli ve desteksiz panel alanı ile belirlenir. Dış panel tasarımı, genellikle mühendis tarafından değiştirilemediği için kalınlık ve akma mukavemeti kullanılabilecek değişkenlerdir. Böyle durumlarda alüminyum ve çelik malzeme arasındaki çökme dayanımı ilişkisi şu denklemle bulunur:

$$\frac{t_a}{t_s} = \frac{\sigma_{0.2s}}{\sigma_{0.2a}} \quad (6.1)$$

t_a : Alüminyum parçanın kalınlığı

t_s : Çelik parçanın kalınlığı

$\sigma_{0.2s}$: Çelik malzemenin akma sınırı

$\sigma_{0.2a}$: Alüminyum malzemenin akma sınırı

6.5.1.2 Panellerin esnemesi

Dış paneller için, uygulana yükle panelin bölgesel ve anlık esnemesi önemli bir tasarım ölçütüdür. Tipik olarak bir parçanın veya alt montajın yük altında esnemesi, başka bir parçaya çarpmasının engellenmesi için kontrol altında tutulmalıdır. Bunun

⁸ Esnemezlik

yanında, müşterinin bir panele baskı uyguladığı zaman o panelin esneyip esnemediği hisside en az bu kadar önemlidir.

İç panel tasarımında; panelin genel esnemesi, desteklerin arasındaki mesafe ve panel kalınlığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bir alüminyum montajın esnemesini en aza indirmek için iki yaklaşım mevcuttur: Dış panel kalınlığını arttırmak veya desteklerin arasındaki mesafeyi azaltmak. İkinci yaklaşım daha verimlidir. Şekil 6.13'te destekler arası mesafenin %50 oranında azalmasının bir alüminyum motor kaputu üzerindeki etkisi görülmektedir [14].

- Şekil 6.13'te ki çelik kaput tasarımına göre çelik kaputun esnemesi d_{st}

$$d_{st} = \frac{KPL^3}{E_{st}I} \quad (6.2)$$

- Şekil 6.13'te ki alüminyum kaput tasarımına göre alüminyum kaputun esnemesi d_{al}

$$d_{al} = \frac{KP(L/2)^3}{E_{al}I} = \frac{KPL^3}{\left(\frac{8E_{st}I}{3}\right)} \quad (6.3)$$

- Şekil 6.13'te ki tasarımların eğilmelerinin kıyaslanması

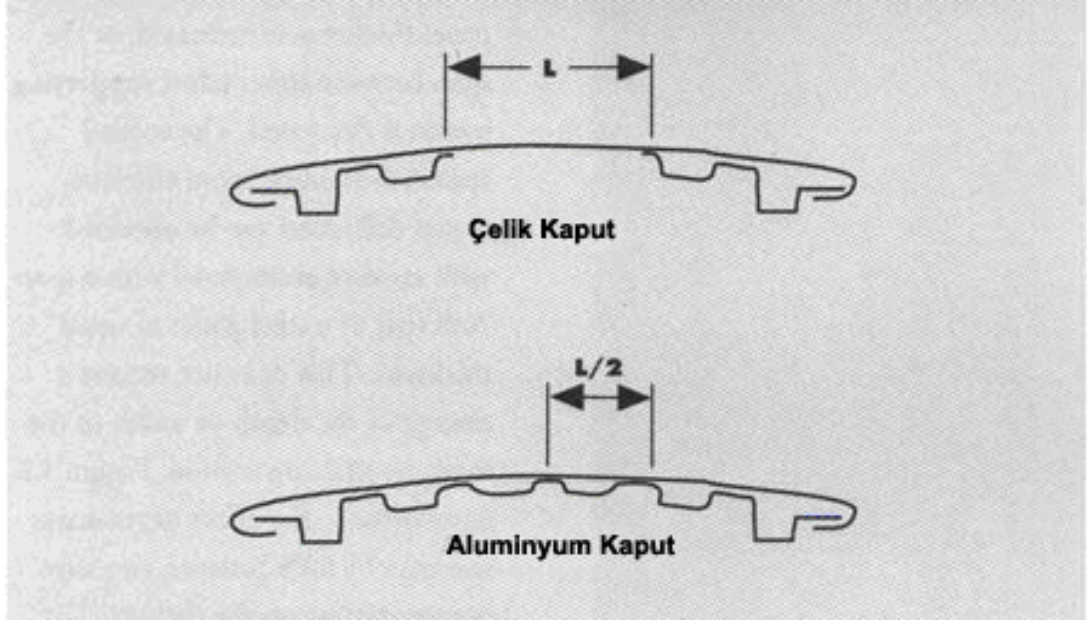
$$d_{al} = 0.375.d_{st} \quad (6.4)$$

K: Yük ve destek faktörü

E_{al} : Alüminyumun elastisite modülü

E_{st} : Çeliğin elastisite modülü

I: Atalet momenti

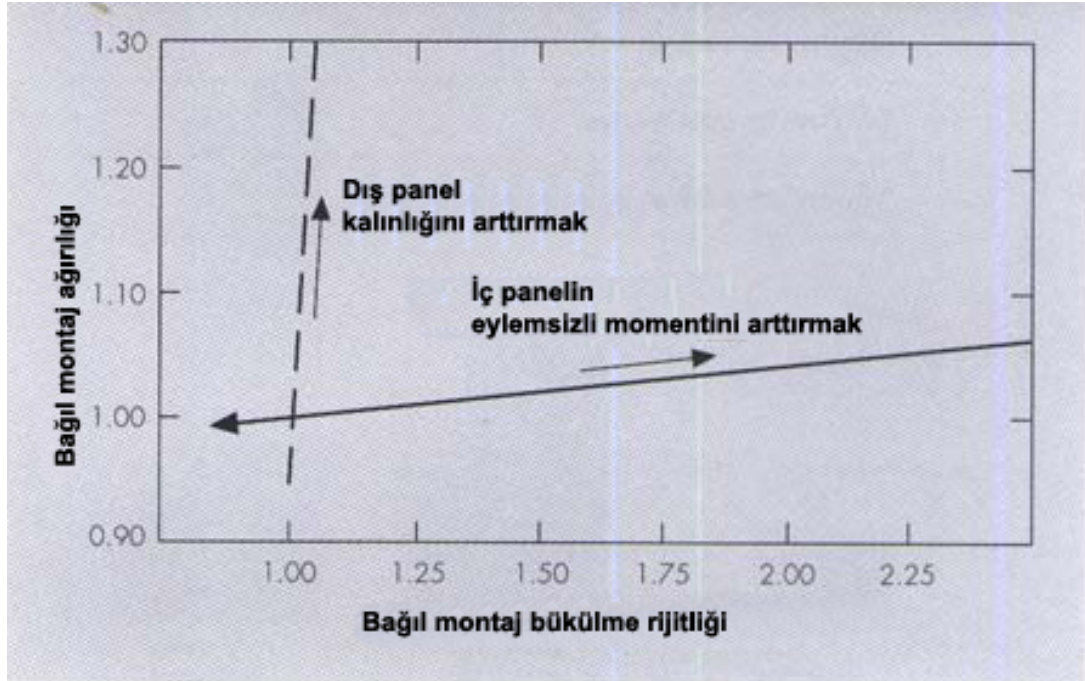


Şekil 6.13 Alüminyumdan ve çelikte üretilmiş iki farklı motor kaputu tasarımı [14]

Bu örnekte görüldüğü gibi, bagaj kapağı gibi otomobil kapama parçalarının tasarımında, desteklerin arasındaki mesafeyi azaltmak, panel kalınlıklarını arttırmaktan daha iyi sonuç vermektedir. Böyle bir tasarım sayesinde çelik panele göre hafifletme sağlanmasının yanında, daha rijit bir kapak elde edilmektedir.

6.5.1.3 Bükülme ve burulma rijitliği

Bir otomotiv panelinin diğer bir performans ölçütü de bükülme ve burulma rijitliğidir. Bağımsız parçaların fabrika içerisinde taşınabilmeleri için yeterli rijitliğe sahip olmaları gerekmektedir. Bükülme ve burulma rijitliği panel kalınlığına, kesitin geometrisine ve destek kirişlerinin dağılım ve yerleşimine bağlıdır. Bir iç panelin veya desteğin olduğu uygulamalarda, parçanın bükülme ve burulma rijitliğini, desteğin kesit geometrisini değiştirme vasıtasıyla eylemsizlik momenti değerini büyüterek arttırmak mümkündür. Bir iç panel veya desteğin olmadığı uygulamalarda panel rijitliğini sağlamanın tek yolu panel kalınlığını arttırmaktır. Şekil 6.14'te her iki metotla panel rijitliği artırımının sonuçları görülmektedir [14].



Şekil 6.14 Panel rijitliğinin farklı etkenlerle değişimi [14]

6.5.1.4 Titreşim

Aşırı panel titreşimi veya panel dalgalanması dış panel tasarımının önemli noktalarından birisidir. Bir parçanın desteksiz durumdaki doğal titreşim frekansı onun rijitliği ile doğru, kütlesiyle ters orantılıdır. Rijitlik panelin şekline ve kullanılan malzemenin elastisite modülüne bağlıdır. Alüminyumun özkütlesi ve elastisite modülü çeliğin üçte biri olduğu için doğal frekansı değişmeyecektir. Bu sebeple aynı şekil ve kalınlıktaki alüminyum ve çelik parçaların titreşim frekansları aynıdır.

6.5.1.5 Yorulma

Tekrarlanan yüklere maruz kalan parçalar yorulma hatasına karşı dikkatli şekilde incelenmelidirler. Doğru yapılmış tasarımla, stres birikimleri engellenerek, malzemenin daha verimli kullanılması sağlanabilir. Bağlantılar, delikler ve buna benzer özellikler stres yığılmalarına sebep olurlar ve buda yorulmaya neden olur. Bir parçanın yorulma ömrünü arttırmak için o parçadaki kesit geçişleri olabildiğince yumuşak tasarlanmalıdır. Şekil 6.15'te otomotiv alüminyum gövde panellerindeki yeni teknolojiler uygulanarak üretilmiş bir otomobil gövdesi gösterilmektedir. Tablo 6.6'da otomotiv gövde panellerinde kullanılan bazı alüminyum alaşımların mekanik

özellikleri verilmiştir [14]. Tabloda görüldüğü gibi en yüksek mukavemet değerlerine sahip otomobil gövde panelleri 2xxx serisi alaşımlardan üretilenlerdir. Bunun yanında 2xxx serisi alaşımlar bu gruptaki diğer alaşımlara nispeten daha zor şekillendirilebilirler ve kaynak edilebilme kabiliyetleri daha kötüdür.



Şekil 6.15 Örnek bir alüminyum gövde [14]

Tablo 6.6 Alüminyum gövde panel alaşımlarının mekanik özellikleri [14]

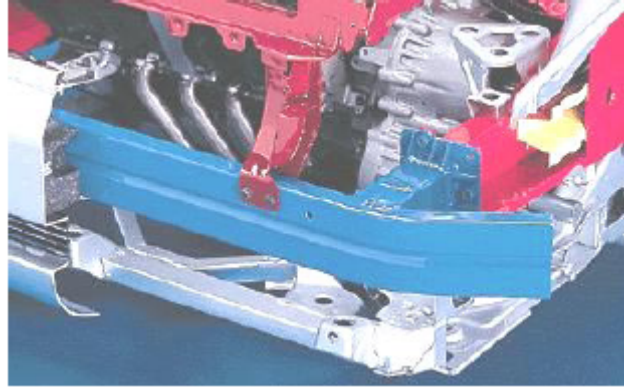
Alaşım ve ısıtıl işlem	Gerilme Dayanımı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)	50 mm'deki uzama (%)	Kesme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
2008-T4	250	125	28	145	70
2008-T62	300	240	13	180	70
2010-T4	240	130	25	145	70
2010-T41	240	130	25	145	70
2010-T62	270	200	15	160	70
2036-T4	340	195	24	205	71
5182-0	275	130	24	165	71
5454-0	250	115	22	160	70
5754-0	220	100	26	130	71
6009-T4	220	125	25	130	69
6009-T62	300	250	11	180	69
6022-T4	255	150	26	155	69
6022-T62	325	290	12	195	69
6111-T4	280	150	26	175	69
6111-T41	270	150	26	160	69
6111-T62	360	320	11	215	69

6.5.2 Alüminyum ekstrüzyon gövde profilleri

Alüminyumun bundan önce bahsedilen avantajları ekstrüzyon profiller içinde aynı şekilde geçerlidir. Ekstrüzyon yöntemiyle üretilen alüminyum profiller otomotiv gövde yapılarında yoğun olarak kullanılmaktadırlar.

Dünya otomotiv endüstrisi, alüminyum uzay kafes teknolojisi ile araç gövdesi üretiminde hızla ilerlemektedir. Uzay kafes metodunda alüminyum ekstrüzyon profiller direk olarak birleştirilerek kullanılabildiği gibi, döküm veya preste üretilmiş alüminyum parçalara dış panellerin bağlanması yöntemiyle de üretim yapılabilmektedir (Şekil 6.16).

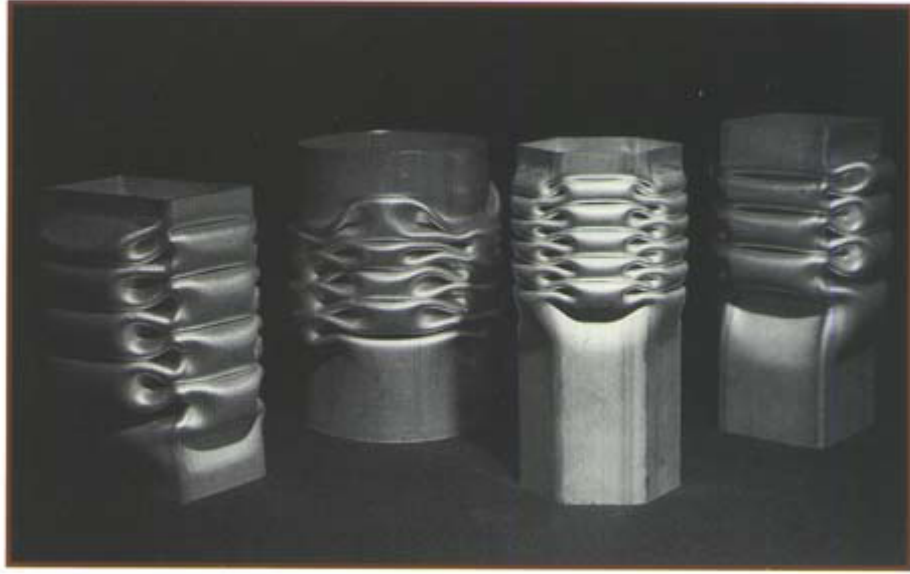
Yakın geçmişe kadar araçların kaza anında içerisindeki yolculara en az zararı vermelerinin yolunun büyük ve sağlam yapıda olmaları olduğu düşünülürdü. Enerji yönetimi bilimi zaman içerisinde geliştikçe alüminyumun en büyük özelliklerinden birisi olan enerji emme özelliği ön plana çıkmıştır (Şekil 6.17).



Şekil 6.16 Alüminyum çarpma kutusu [17]

Alüminyum ekstrüzyon teknolojisi tasarımcıya metali nerede ihtiyaç var ise oraya koyma imkanı sağlamıştır. Alüminyum ekstrüzyon; yapısal şekillerin geliştirilmesinden, fonksiyonel ve estetik gerekliliklerin yerine getirilmesine kadar birçok avantaj sunmaktadır. Alüminyum ekstrüzyon kalıpları döküm ve pres kalıplarına göre çok daha az maliyetli olduğundan, tasarımcı uğraştığı tasarım problemiyle ilgili birçok yeni kesit ve prototip deneme şansına sahip olabilmektedir. Birçok durumda ekstrüzyon kalıpların üretimi diğer üretim parçalarına göre daha kısa sürede tamamlanabilmektedir. Bu da otomotiv sektöründeki hızlı programa çok uygun bir durumdur.

Alüminyum ekstrüzyon yöntemiyle üretilen profiller presle imal edilmiş kesitlere göre daha yüksek eylemsizlik momentine sahiptirler. Bu sayede aracın toplam rijitliği artmakta ve aracın NVH (Ses, titreşim, sertlik) özellikleri iyileşmektedir.



Şekil 6.17 Farklı alüminyum ekstrüzyon kesitlerin aksel çarpma testi sonuçları [15]

Alüminyum ekstrüzyon gövde profilleri için iki tip alaşım önerilmektedir: 6xxx (Al-Mg-Si) ve 7xxx (Al-Zn-Mg) serileri. Bunların dışındaki birçok alüminyum alaşımlarda ekstrüzyon yapılabilmektedir fakat üretilebilirlik ve performans özellikleri bakımından en iyi sonuçları bu iki alaşım vermektedir.

6xxx (Al-Mg-Si) serisi alaşımlar: 6005, 6005A, 6061 ve 6063 alaşımlar bu grupta en çok kullanılanlardır. 6xxx serisi alaşımlar çok yüksek korozyon dayanıma ve kaynak kabiliyetine sahiptirler. Düşük fiyat ile yüksek mukavemet özellikleri sağlarlar. Bu serideki alaşımlar 7xxx serisi alaşımlara göre daha karmaşık ve ince kesitli şekillerde ekstrüze edilebilirler. 6063 bu grup içinde en düşük dayanıma sahip olan alaşımdır fakat aynı zamanda en kolay ekstrüze edilebilen alaşımdır bu sebeple birçok karmaşık kesitli profilde bu alaşım kullanılmaktadır.

7xxx (Al-Zn-Mg) serisi alaşımlar: 7004, 7005, 7029, 7116 ve 7129 bu seride en çok kullanılan alaşımlardır. 7029 ve 7129 en yüksek mukavemet değerlerine sahip alaşımlardır; 7004, 7005 ve 7116 ise daha iyi şekillendirilebilirlik özelliğine sahiptirler. 7xxx serisi alaşımlar genel olarak 6xxx serisi alaşımlardan daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler fakat korozyona daha az dayanıklıdır. Bu grupta sadece 7004 ve 7005 alaşımları kaynak edilebilirler.

Tablo 6.7’de alüminyum ekstrüzyonda kullanılan bazı alüminyum alaşımların mekanik özellikleri verilmiştir [15].

Tablo 6.7 Alüminyum ekstrüzyon alaşımlarının mekanik özellikleri [15]

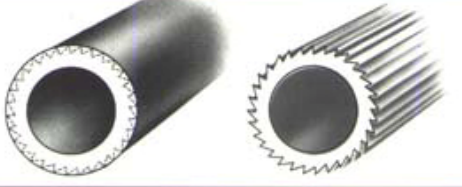
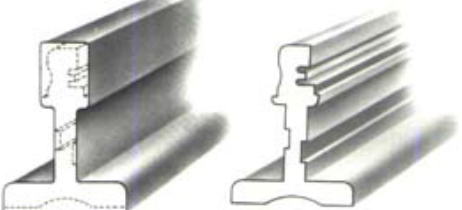
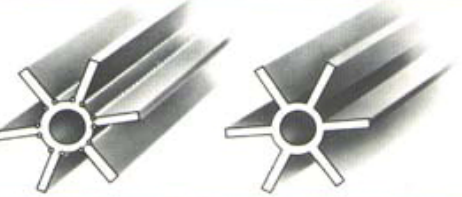
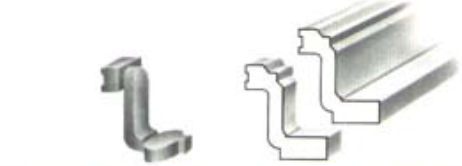
Alaşım ve ısıtılma işlemi	Gerilme Dayanımı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)	50 mm'deki uzama (%)	Kesme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
6005-T5	305	270	12	200	69
6005A-T5	305	270	12	200	69
6061-T1	150	90	20	100	69
6061-T4	240	145	22	165	69
6061-T6	310	275	12	205	69
6063-T4	170	90	22	105	69
6063-T5	185	145	12	115	69
6063-T6	240	215	12	150	69
7004-T5	400	340	15	220	72
7005-T53	395	350	15	225	72
7116-T5	360	315	14	200	70
7029-T5	430	380	15	270	70
7129-T5	430	380	14	270	70

6.5.2.1 Çarpışma enerjisi emişi

Bir yapının çarpma enerjisi emiş kapasitesinin belirlenmesinde, yapıdaki: parçaların yerleşimleri ve rijitlikleri, kuvvet akış yolları ve kuvvet transferi anahtar özelliklerdir. Bu tür yapılarda en çok kullanılan alüminyum alaşımlar; 6063, 6005, 6005A ve 6061’dir.

6.5.2.2 Yorulma

Bugüne kadar yapılmış olan testler neticesine göre yorulma dayanımı en yüksek olan alaşım grubu 7xxx serisidir. Fakat tecrübelerle sabittir ki yapıların yorulma dayanımları, kullanılan malzemeden çok yapıdaki bağlantıların tasarımı ile ilişkilidir. Yapıların yorulma performansları; kullanılan alaşımları değiştirmekten çok, bağlantı noktalarının bölgesel gerilmeleri azaltacak şekilde yeniden tasarlanmasıyla arttırılmalıdır [9]. Şekil 6.18’de alüminyum ekstrüzyon profillerin farklı malzemelerden üretilmiş parçaların yerlerinde kullanımı gösterilmiştir.

Birçok perçin vasıtasıyla birleştirilmiş şekiller tek bir alüminyum ekstrüzyona dönüştürülebilir	
İşlenmiş ve preslenmiş şekiller uygun formda ekstrüze edilmiş kesitlere dönüştürülebilir	
Yapısal bir elemanın işleme maliyeti ve ağırlığı, elemanı ekstrüzyona uygun bir formda yeniden tasarlayarak azaltılabilir	
Alüminyum ekstrüzyon profiller plastik veya ahşap kesitlerin yerini alabilir. Bu kesitler, çelik takviyeye ihtiyaç duymadan daha hafif, daha rijit ve daha güçlü yapılabilirler.	
Kaynaklı kompleler sık olarak ekstrüzyon kesitlere dönüştürülmektedirler. Bunun sebebi sadece maliyet azaltma değil aynı zamanda hassasiyet ve mukavemetide artırmaktır.	
Alüminyum ekstrüzyon birçok farklı kesit tasarımına imkan verdiği için sac levhaya göre çok daha özel tasarım ihtiyaçlarına yanıt verebilmektedir	
Kıvrımlı borusal profiller sık olarak ekstrüzyon profillere dönüştürülmektedirler. Bu sayede parçanın rijitliği ve mukavemeti arttığı gibi üretim maliyetide düşmektedir.	
Küçük döküm, dövme ve dolu malzemeden işlenerek üretilen parçalar ekstrüzyon profillere dönüştürülebilirler	

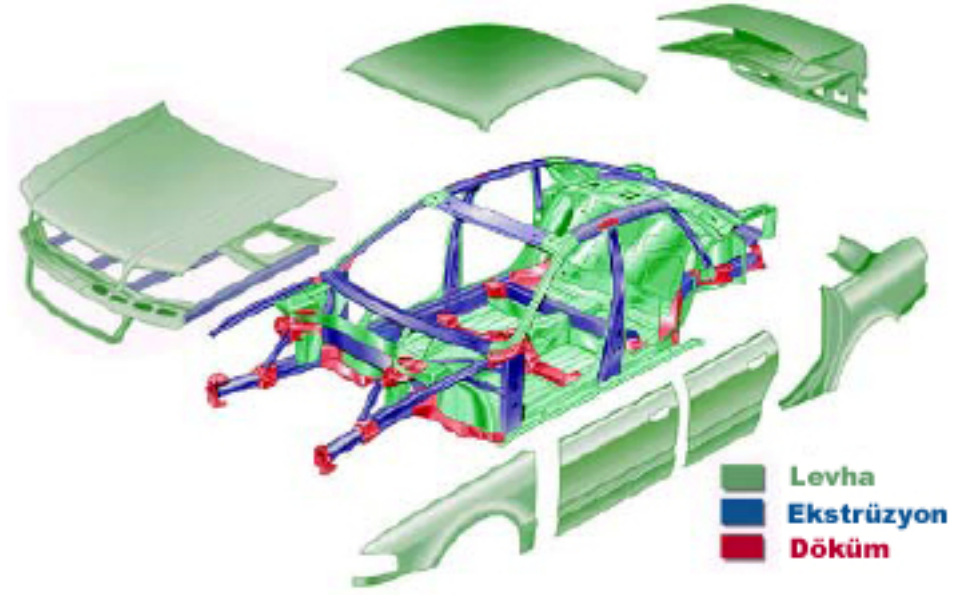
Şekil 6.18 İşlenmiş profillerin, alüminyum ekstrüzyon profillerle değiştirilmesi [15]

6.5.3 Gövdesi alüminyum-yoğun tasarlanan bir aracın incelemesi

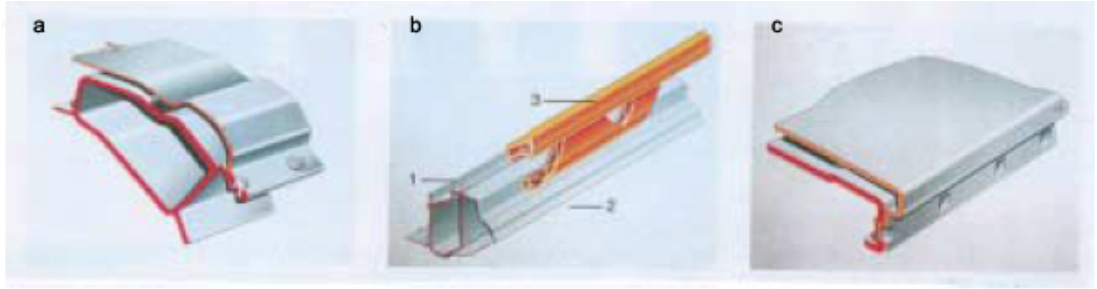
Bir kasada dayanıklılık, kesit kalınlığı ve kesit geometrisine bağlıdır. Bu, malzemenin doğrudan “elastisite modülü” ve “kayma modülü” ile ilişkilidir. Alüminyumun elastisite modülü 70.000 N/mm²’dir. Bu değer, çeliğin elastisite modülünden 2/3 daha azdır. Alüminyumun kayma modülü ise yaklaşık olarak 26.000 N/mm² dir. Bir alüminyum kasanın en azından elik kasanın özelliklerine sahip olması gereklidir. Elastisite modülü nedeniyle alüminyum kasalarda kalınlık çeliğe göre daha fazladır. AUDİ A8’de kesit kalınlığı, elik gövdeli bir araca göre 1.7-1.8 kat daha fazladır (Şekil 6.19). Şekil 6.20 ve 6.21’de Audi A8 aracın konstrüktif detayları gösterilmektedir [17].



Şekil 6.19 Audi A8 [17]



Şekil 6.20 Üretim yöntemlerine göre A8'in gövde yapısında kullanılan alüminyumlar [17]



Şekil 6.21 Konstrüktif Detaylar a) sac parçalar (dış yüzey), b) kapı çerçeveleri 1) Tek parça ekstrüzyon 2) sac parçası 3) dışarıdan görünmeyen kapı konstrüksiyon parçası, c) doğrudan bağlantılı parçanın şematik görünümü [17]

6.5.3.1 Konstrüktif Detaylar

- Gövde Yapısı : Uzay Kafes
- Tasarım tarihi : 1994
- Ağırlık : “BIW” + Kapamalar=249 kg
- Parça Adedi : 334
- Üretim Hacmi : 16,000 / Yıl
- Bağlantı Yöntemleri : Nokta direnç kaynağı=500
- : Perçin=1300
- : MIG Kaynağı=70 m

- Malzeme/Parça Adet : Ekstrüzyon=47 (%14)
- : Döküm=50 (%15)
- : Pres=237 (%71)
- Ağırlık kazanımı : 500 kg (%43)
- CO₂ Emisyonu : 231/355 g/km [17]

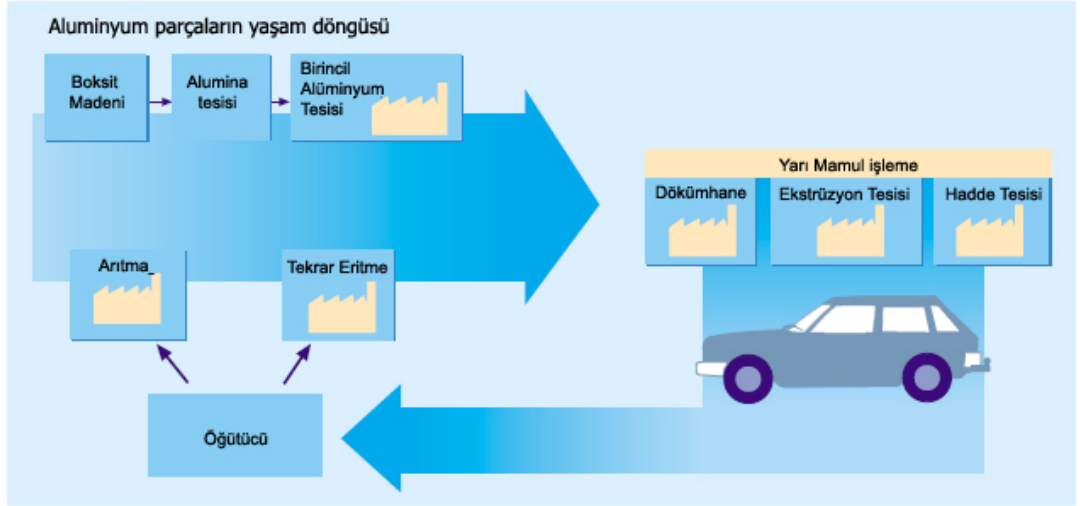
7. IVECO-DAILY MARKA MİNİBÜS ARKA BAGAJ KAPAĞININ ALÜMİNYUM MALZEMEDEN YENİDEN KONSTRÜKSİYON UYGULAMASI

Bu uygulamada Iveco Daily araçlarda mevcuden kullanılmakta olan arka bagaj kapağının yeniden konstrüksiyonu yapılacaktır. Bu parça şu an St 37-2 malzemedен imal edilmektedir. Yapılacak uygulamada bagaj kapağı mümkün olduğunca alüminyum malzeme kullanılarak tasarlanacaktır.



Şekil 7.1Daily minibüsün genel görünüşü [18]

Bu uygulamada, otomotiv endüstrisinin önceki başlıklarda değinilen isteklerinin ve ihtiyaçlarının yanında çevresel faktörlerde göz önünde bulundurulacaktır. Tasarım gerçekleştirilirken “LCA” (Yaşam Çevrimi Analizi) yaklaşımı kullanılacaktır. “LCA” yaklaşımında ürünün hammadde aşamasından geri dönüşümüne kadar tüm evreleri göz önünde bulundurulmaktadır [19].



Şekil 7.2 Otomotiv endüstrisinde kullanılan alüminyum parçaların yaşam döngüsü [11]

Çözümler arasından en uygununa ulaşmak için bu uygulamada öncelikle bagaj kapağının kullanılacağı araçlar genel olarak incelenecektir. Bunun ardından aracın arka duvar tasarımı ve bagaj kapağının temel özellikleri üzerinde durulacaktır.

7.1 Bagaj Kapağının Uygulanacağı Daily 18+1 Aracın Genel Özellikleri

Uygulamanın konusu olan bagaj kapağı öncelikle Daily model minibüslerin 18+1 okul aracı tipinde kullanılacaktır. İlerde Daily 14+1, 17+1 ve 20+1 gibi farklı modellerde de bu bagaj kapağının kullanılması planlanmaktadır.

7.2 Ürünün ve üretim sürecinin topolojik yapıları

Yeniden tasarlanacak olan bagaj kapağının ve bu kapağın üretim sürecinin topolojik yapılarının incelenmesi yeni ürün tasarımının daha doğru yapılabilmesi için önem arz etmektedir.

7.2.1 Ürünün topolojik yapısı

Ürünün topolojik yapısına ürünün temel fonksiyonu ile başlanacaktır. Bagaj kapağının temel fonksiyonu “bagaj bölümüne ulaşılmasının sağlanması ve bu bölgenin dış etkenlerden korunması”dır. Bu fonksiyon bagaj kapağın açılıp-

kapanması ile sağlanmaktadır. Kapağın açılıp-kapanması bagaj kapağı ve aracın arka duvarı tarafından sağlanmaktadır. Bagaj kapağı ve arka duvar bir organı meydana getirmektedir. Bagaj kapağı bu uygulamada incelenecek parçadır (Tablo 7.1).

Tablo 7.1 Bagaj kapağının topolojik yapısı

Temel Fonksiyon	Bagaj bölümüne ulaşılmasının sağlanması ve bu bölgenin dış etkenlerden korunması.
Fonksiyonun Sağlanması	Bagaj kapağın açılıp-kapanması
Fonksiyonu Sağlayan Organ	Bagaj kapağı ve aracın arka duvarı
İncelenecek parça	Bagaj kapağı

7.2.2 Üretim sürecinin topolojik yapısı

Bagaj kapağı ve arka duvar tedarikçi firmalar tarafından üretilmekte ve montaja hazır şekilde gönderilmektedir.

- Üretim sistemi : Ticari araç üretimi
- Üretim üniteleri : Bagaj kapağı üretimi
- Üretim yöntemleri : Ekstrüzyon, hadde, kaynak, yapıştırma, temizleme, boyama.
- Üretilen parça : Bagaj kapağı

7.2.3 Tasarımın temel özellikleri

Otomotiv sektöründeki ürün tasarımı bazı noktalar firmaya ve tasarımcıya bırakılmışken, birçok konu standartlar, regülasyonlar ve şartnameler ile koruma altına alınmıştır. Bunlar genellikle insan sağlığı ve hayatı ile ilgili taviz verilemeyecek konulardır.

7.2.3.1 Fonksiyonlar

Bagaj kapağının temel özelliği; yolculara veya araç kullanıcısına ait eşyaların aracın arka kısmında depolanmasının ve taşınmasının ve bu bölüme istendiğinde ulaşılmasının sağlanmasıdır.

- Bagaj bölümüne ulaşılmasının sağlanması

- Bagaj bölgesinin dış etkenlerden korunması
- Aracın plakasının üzerine monte edilmesi
- Arkadan oluşan çarpmalarda yolcunun korunması

7.2.3.2 Gereksinimler

Otomotiv endüstrisi, adetlerin çok yüksek olduğu ve insan sağlığı ve hayatı ile direkt ilişkili bir sektör olduğu için bu sektöre yönelik yapılan birçok tasarımda isteğe bağlı olmayan bazı gereklilikler vardır. Bu gereklilikler çoğu parça ve sistem için standartlar ve regülasyonlar ile belirlenmiştir. Bagaj kapağı için bu gereklilikler şunlardır:

- Geri dönüştürülebilme
- Çalışma esnasında oluşan gerilmelere dayanım
- Yorulma dayanımı
- Eğilme, burulma, dalgalanma dayanımı (Rijitlik)
- Bagaj bölgesinde yükleme-boşaltma için yeterli boşluk sağlama
- -40°C / 80°C derece arası sıcaklıklarda çalışabilme
- Arka duvar karkası ve arka cam ölçüleri ile tolerans çakışması yaratmama
- Korozyon dayanımı
- Sızdırmazlık

7.2.3.3 Özellikler

Özellikler; regülasyonlar, standartlar ve şartnameler dışında kalan fakat kullanıcıya ve üreticiye fayda sağlayan konulardır. Bagaj kapağı için belirlenen özellikler şunlardır:

- Aracın ömrü boyunca dayanıklılık
- Düşük seviyede gürültü meydana getirme
- Kolay montaj-sökülme
- Servis edilebilme
- Hafiflik
- Düşük yaşam çevrimi maliyeti
- Düşük malzeme tüketimi

7.2.4 İstenilen malzeme özellikleri

Tasarımın fonksiyonları, gereksinimleri ve özellikleri çerçevesinde istenilen malzeme özellikleri şu şekilde belirlendi:

- Düşük özkütle
- Yüksek korozyon dayanımı
- Yüksek elastisite modülü
- Yüksek dinamik dayanım
- İyi yüzey işleme özellikleri
- İyi geri dönüştürülebilme
- İşlenebilirlik
- Uygun fiyat

7.2.4.1 Kullanılabilecek muhtemel malzemeler ve malzeme seçimi

İstenilen malzeme özellikleri paralelinde kullanılabilecek muhtemel malzemeler şunlardır:

- Çelik
- Alüminyum
- Magnezyum
- Titanyum
- CTP (Cam Takviyeli Plastik)

Bu muhtemel malzemeler; düşük özkütle, korozyon dayanımı, yüzey işleme, elastisite modülü, dinamik dayanım, geri dönüştürülebilme, işlenebilirlik ve fiyat yönünden karşılaştırıldı (Tablo 7.2).

Tablo 7.2 Muhtemel malzemelerin karşılaştırılması

	Alüminyum	Çelik	Magnezyum	Titanyum	CTP
Düşük Özkütle	++	--	++	+	++
Korozyon dayanımı	++	--	++	++	++
Yüzey işleme	++	-	++	++	+
Elastisite modülü	+	++	-	+	--
Dinamik dayanım	+	++	+	+	++
İşlenebilirlik	++	+	++	+	-
Geri Dönüştürülebilme	++	+	+	+	+
Fiyat	-	++	-	--	-

Tablodan alınan verilerin neticesinde, bu uygulama için en uygun malzemenin alüminyum olduğu belirlenmiştir.

7.2.5 Alaşımların seçimi

Kapak tasarımı temelde iki farklı üretim yöntemiyle üretilmiş parçaların birleştirilmesi ile yapılacaktır. Alüminyum ekstrüzyon ve alüminyum levha. Bu iki farklı üretim yöntemi için otomotiv sektöründe standartlaşmış farklı alaşım grupları mevcuttur. Bu sebeple farklı üretim yöntemleri için farklı alaşımlar seçilecektir.

7.2.5.1 Alüminyum levhaların alaşımının seçimi

Bagaj kapağının dış gövdesini oluşturacak olan alüminyum panelin malzemesi, alüminyum gövde panelleri için otomotiv sektöründe standartlaşmış olan 2xxx, 5xxx ve 6xxx alaşımları arasından seçilecektir. Bu alaşımların karşılaştırılması Tablo 7.3'te görünmektedir [14].

Tablo 7.3 Alüminyum gövde panel alaşımlarının karşılaştırması A:En iyi B:Daha iyi C:İyi [14]

Alaşım ve ısıtılma işlemi	Korozyon Dayanımı	Şekillendirilebilirlik	Füzyon Kaynak Kabiliyeti	Punta Kaynak Kabiliyeti
2008-T4	B	B	B	B
2010-T4	B	B	B	B
2036-T4	C	C	C	B
5182-0	A	A	A	C
5454-0	A	B	A	B
5754-0	A	A	A	C
6009-T4	A	B	B	A
6022-T4	A	B	B	A
6111-T4	A	B	B	A

2xxx serisi alaşımları düşük korozyon dayanımları sebebiyle bu uygulama için uygun değildir. Bu alaşımlar dış ortamla daha az temas halinde olan uygulamalar için tercih edilmelidirler.

5xxx serisi alaşımlar daha iyi şekillendirilebilirlik özellikleriyle öne çıkmaktadırlar. Bagaj kapağı uygulamasında, plaka bölgesi dışında pres veya büküm yöntemiyle şekillendirilecek kısım bulunmamaktadır.

6xxx serisi alaşımlar yüksek korozyon dayanımları, iyi şekillendirilebilirlik özellikleri ve kaynak kabiliyetleri sebepleriyle öne çıkmaktadırlar. Ayrıca 6xxx serisi alaşımlar ekstrüzyon işlemi için de uygundur. Ekstrüzyon malzeme seçiminde 6xxx serisi malzemeye karar verilmesi durumunda bu iki malzeme birbirlerine kaynak edilebileceklerdir. Bunun yanında oluşabilecek muhtemel bir galvanik korozyonda baştan önlenmiş olacaktır.

Bu sebeplerle 6xxx serisi alüminyum alaşım kullanılmasına karar verilmiştir. Bu grup içerisinde de yüksek akma sınırı ve kesme dayanımı sebebiyle 6111-T4 alaşım seçilmiştir.

7.2.5.2 Alüminyum ekstrüzyon profillerin alaşımının seçimi

Alüminyum ekstrüzyon profillerin malzemesi yine hem otomotiv sektörü hem de bu üretim yöntemi için standartlaşmış, en uygun alaşım grupları olan 6xxx ve 7xxx alaşım grupları arasından seçilecektir. Bu alaşımların karşılaştırılması Tablo 7.4'te görülmektedir [15].

Tablo 7.4 Alüminyum gövde ekstrüzyon profil alaşımlarının karşılaştırması A:En iyi B:Daha iyi C:İyi (d):Önerilmemektedir [15]

Alaşım ve ısıtılma işlemi	Korozyon Dayanımı	Şekillendirilebilirlik	Füzyon Kaynak Kabiliyeti
6005-T5	A	B-C	A
6005A-T5	B	B-C	A
6061-T6	B	B-C	A
6063-T5	A	A-A	A
6063-T6	A	B-B	A
7005-T53	C	A-B	B
7029-T5	C	A-B	d
7116-T5	C	A-B	d
7129-T5	C	A-B	d

6xxx serisi alaşımlar; aynı şekilde bu grupta da, yüksek korozyon dayanımları, iyi şekillendirilebilirlik özellikleri ve kaynak kabiliyetleri sebepleriyle öne çıkmaktadırlar. Alüminyum gövde paneli malzemesi olarak 6xxx serisi bir alaşımın seçilmeside bu alaşımın seçimi için artı bir etkidir.

7xxx serisi alaşımlar düşük korozyon dayanımına sahiptirler. Bunu yanında 7005 serisi dışındaki 7xxx serisi alaşımların kaynak yöntemiyle birleştirilmemeleri

önerilmektedir. 7xxx serisi alaşımlar yüksek mukavemet-ağırlık oranları sebebiyle genellikle havacılık endüstrisi tarafından tercih edilmektedirler.

Bu sebeplerle 6xxx serisi alüminyum alaşım kullanılmasına karar verilmiştir. Bu grup içerisinde de yüksek işlenebilirlik değeri, rahat temin edilebilirlik ve yüksek mukavemet değerleri sebebiyle 6063-T5 seçilmiştir.

7.3 Bagaj kapağı formunun tasarımı

Bagaj kapağı form tasarımının temelinde üç ölçüt vardır:

- Statik tasarım ölçütü
- Dinamik tasarım ölçütü
- Çarpışma tasarım ölçütü

Statik tasarım ölçütü, statik yükler üzerine kurulmuştur. Statik yüklere verilebilecek en basit örnek inşaat sektörüdür. Bir pencerenin üstünden geçen kiriş üzerindeki duvarın ağırlığını taşıyacak kadar sağlam olmalıdır. Bu yükün binanın ömrü boyunca değişmeyeceği kabul edilmiştir. Bu sebeple böyle yüklere “statik yük” denilmektedir.

Taşıtlar için durum farklıdır. Yapı üzerindeki yük taşıtın tüm kullanım ömrü boyunca; yükleme-boşaltma, hızlanma-yavaşlama ve tüm vibrasyon şekilleri sebebiyle değişim gösterecektir. Bu durumda dinamik tasarım ölçütlerini göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

Çarpışma tasarım ölçütü dinamik yükler için kullanılmaktadır fakat yukarıda bahsedilen durumdan farklı olarak, tasarım ölçütü, enerji emişi ile ilgilidir. Tasarımda kullanılan malzemenin, elastik ve plastik davranışı ile parçanın formu göz önünde bulundurulmalıdır. Alüminyum; düşük elastisite modülü ve ekstrüzyon teknolojisi sayesinde, bu durumlarda çelikten daha iyi davranmaktadır.

7.3.1 Statik tasarım ölçütü

Yapısal parça veya sistemlerin tasarımında iki farklı statik tasarım ölçütü kullanılabilir: Mukavemet veya eğilme.

7.3.1.1 Mukavemet tasarımı

Mukavemet tasarımının temelinin “akma mukavemeti” oluşturmaktadır. Akma sınırı bu tez çalışmasında $\sigma_{0,2}$ sembolü ile gösterilecektir. Akma sınırı ($\sigma_{0,2}$), bir malzemenin, kalıcı deformasyona uğramadan dayanabileceği en büyük gerilme değeridir. Gerilme değeri, $\sigma_{0,2}$ değerinin altında kaldığı sürece parça elastik şekil değiştirecektir ve yükün kaldırılması durumunda tekrar eski şeklini alacaktır [20].

Mukavemet tasarımında, yapıdaki gerilmenin (σ) hiçbir zaman $\sigma_{0,2}$ değerini geçmemesi kontrol altına alınmalıdır.

$$\sigma < \sigma_{0,2} \quad (7.1)$$

Pratikte, yapılara her zaman bir emniyet faktörü verilir, (S).

$$\sigma < \frac{\sigma_{0,2}}{S} \quad (7.2)$$

7.3.1.2 Eğilme tasarımı (Rijitlik Tasarımı)

Önceki başlıklarda belirtildiği gibi, eğilme tasarımında temel faktör Elastisite modülüdür (E). Bu değer, malzemenin esnekliğini yansıtır. E değeri ne kadar düşükse, malzemenin esnekliği o kadar fazladır. İkinci karakteristik atalet momentidir I. Bu değer profilin kesitine bağlıdır. Kütlenin, kesitin ağırlık merkezi (tarafsız eksen) etrafındaki dağılımını yansıtır.

Eğilme tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, belirlenen yükleme değerinde yapının elastik deformasyonunun δ , talep edilen değer altında kaldığının kontrolüdür.

Bir kesitin rijitliği, elastisite modülü ve atalet momentinin ürünüdür: $E \times I$

$$\delta = \frac{ML^2}{2EI} \quad (7.3)$$

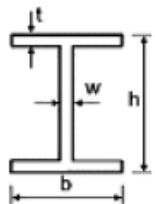
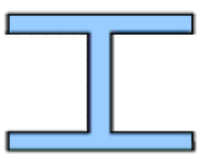
Örneğin dolu bir silindirik kesitin atalet momenti:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (7.4)$$

M : Moment

7.3.1.3 Mukavemet-Eğilme kıyaslaması

Çelik malzeme ile tasarımda genel uygulama; öncelikle yapının mukavemetinin hesaplanması, ardından eğilmenin gerekli değerin altında kaldığının kontrol edilmesidir. Alüminyum malzeme ile tasarımda öncelikle eğilme göz önüne alınmaktadır, mukavemet ise daha sonra kontrol edilmektedir. Alüminyum elastisite modülü çeliğin yaklaşık üçte biri değerindedir bu sebeple alüminyum ve çelik malzemeden tasarlanan iki benzer yapıda alüminyum malzemenin kullanıldığı yapının atalet moment çelik yapının üç katı olmalıdır (Şekil 7.3).

	Çelik	Alüminyum Alaşım	Alüminyum Alaşım	Alüminyum Alaşım
				
I (mm ⁴)	38,9 · 10 ⁶	116,7 · 10 ⁶	116,7 · 10 ⁶	116,7 · 10 ⁶
E (N/mm ²)	210.000	70.000	70.000	70.000
Rijitlik E x I (Nmm ²)	8,17 · 10 ¹²	8,17 · 10 ¹²	8,17 · 10 ¹²	8,17 · 10 ¹²
h (mm)	240	240	300	330
b (mm)	120	240,2	193,5	189,1
t (mm)	9,8	18,3	12,9	10
w (mm)	6,2	12	8	8
Ağırlık (kg/m)	30,7	30,3	19,4	16,9

Şekil 7.3 Alüminyum ve çelik I kesitlerin karşılaştırması [21]

7.3.1.4 Yorulma

Yapılar gerilme dalgalanmaları sebebiyle kazaya uğrayabilirler. Yapının dayanabileceği statik yükün çok altındaki gerilmelerde bile yapılar hata ile karşı karşıya kalabilirler. Bu duruma “yorulma” olarak tanımlanmaktadır. Yapıda oluşan çatlaklardan dolayı yapı hataya uğramaktadır.

Bir yapının yorulma dayanımı şu niteliklere bağlıdır:

- Ana malzeme
- Tasarım
- İmalat kalitesi
- Gerilme değişimleri

Ana malzeme: Genel olarak alüminyum alaşımlarının yorulma dayanımı çelik alaşımlardan daha düşüktür. Bunun yanında, uygun tasarımla, alüminyum yapıları çelik yapılar kadar yorulma dayanımlı yapmak mümkündür.

Tasarım ve imalat kalitesi: Stres yoğunluğunu arttıran etkenler yorulma hatasına sebep olabilirler. Örneğin: Civata ve perçin delikleri, geometrik yapıda ani değişimler, kaynak, vs. Bu durumda tasarımcının sahip olduğu “know-how⁹” yapıların ömrünün uzun olmasında öne çıkmaktadır.

Gerilme değişimleri: Otomotiv endüstrisinde yük değişimlerinin önlenmesi mümkün değildir. Yükleme, boşaltma, durma, kalkma, şok, yoldan kaynaklanan vibrasyon, vb. Bunun yanında gerilme değişimlerinin genliği tasarım ve imalat süresince alınacak önlemler sayesinde limitlenebilir.

Alüminyum malzemenin otomotiv endüstrisinde kullanımında yapının en az çelik yapı kadar ömrünün olacağı garanti altına alınmalıdır.

Bunu yapmanın en iyi yolu; testler sayesinde “strain-gage¹⁰” ler ile araçtan veri toplamak ve bu verileri matematiksel modeller yardımıyla değerlendirmektir.

⁹ Teknik bilgi

¹⁰ Uzama ölçer

7.3.1.5 Bölgesel tasarımın önemi

Yorulma hatasının sebebi genelde; ani geometri değişimi, içsel gerilmeler, delikler gibi gerilme yığılmalarına sebep olan bölgelerde çatlakların oluşması ve zamanla bu çatlakların ilerlemesi ve yayılmasıdır. Yorulma gerilmesi periyodik gerilmeler olduğu durumlarda çok büyük oranda artmaktadır. Çatlaklar sabit yükler altında durağan kalmaktadır. Sadece kesit geometrisinin uç gerilmeleri taşıyamadığı durumlarda kırılma meydana gelmektedir [9].

Yorulma çatlaklarının oluşacağı muhtemel bölgeler:

- Füzyon kaynakların tepe ve kök noktaları
- İşlenmiş köşeler
- Delikler
- Kesilmiş köşeler
- Yüksek temas basıncı altındaki yüzeyler
- Civata dişlerinin dibi

Bu etkileri azaltmak için şu detaylara dikkat etmek gerekmektedir: Detayların karmaşıklığını azaltmak, yüksek kaynak kalitesini garanti altına almak, koroziif ortamları engellemek.

7.4 Mevcut bagaj kapağının incelemesi

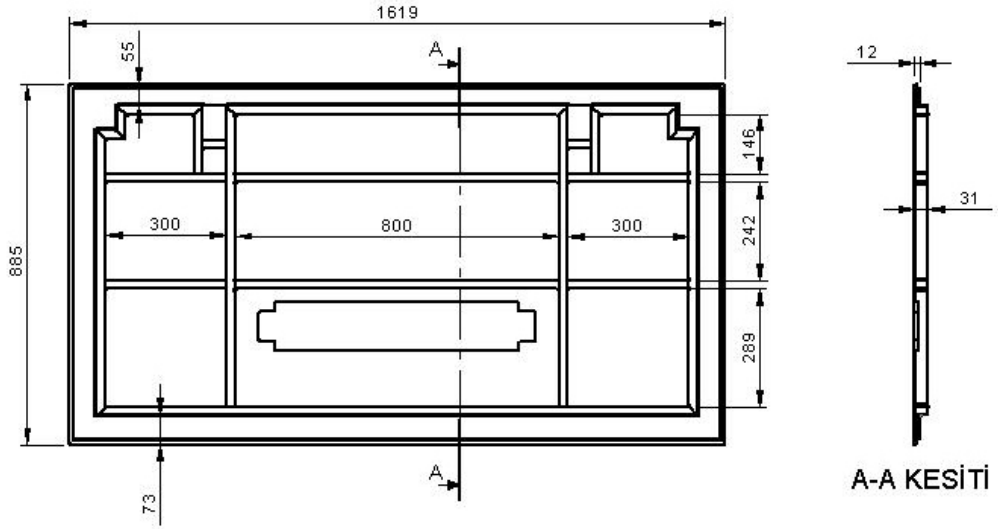
Daily bagaj kapağı mevcutta St37 malzemedan üretilmektedir (Şekil 7.4 ve 7.5). Bagaj kapağı 20x30x0.8 mm profilden örülmüş bir karkas üzerine 1 mm kalınlığında St 37 levhanın kaynatılması ile üretilmektedir. Form bozukluklarına sebebiyet vermemek için, profil karkas St 37 levhaya direk olarak kaynatılmamaktadır. Levha ile karkas arasında montajı sağlayan bir sac parça daha bulunmaktadır. Bu sac parça karkasla dış paneli birbirine bağlamanın yanında levhanın dış konturlarının stabilitesinde arttırmaktadır (Şekil 7.6).



Şekil 7.4 Daily bagaj kapağının içten görünüşü



Şekil 7.5 Daily bagaj kapağının dıştan görünüşü [18]

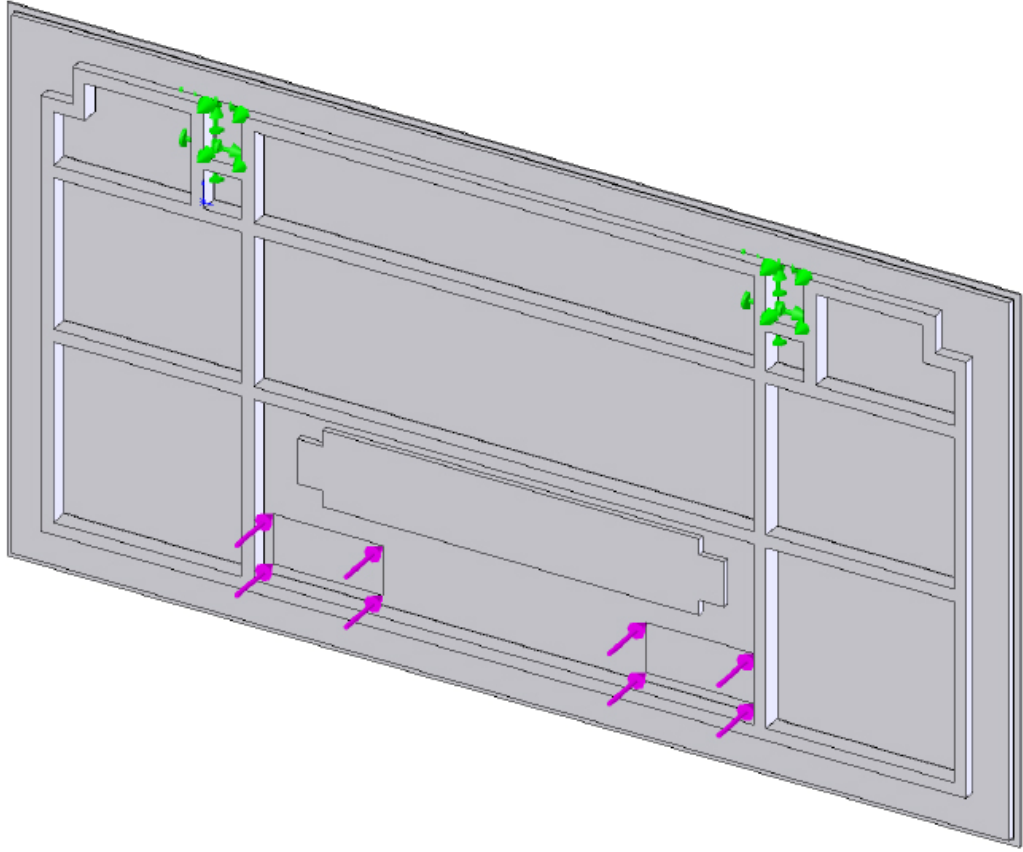


Şekil 7.6 Mevcut bagaj kapağının genel ölçüleri [22]

7.5 Mevcut bagaj kapağının FEM analizi

Mevcut bagaj kapağının statik-FEM analizi CosmosWORKS¹¹-2004 analiz programında yapılmıştır. Bu analizde bagaj kapağının arka duvara menteşe vasıtasıyla bağlandığı bölge sabit kabul edilmiştir. Bagaj kapağının iki elçeğinin bulunduğu bölgelerden her birine bagaj kapağının açılma yönünde 490 N, toplam 980 N kuvvet uygulanmıştır (Şekil 7.7). Normal çalışma şartlarında bagaj kapağına bu büyüklükte bir kuvvet uygulanmamaktadır. Yapılan analiz statik olduğundan, dinamik kuvvetleri de göz önünde bulundurmak için bu büyüklükte bir kuvvet uygulanmıştır. Bunun yanında, eski ve yeni tasarlanan kapaklardaki deformasyonları karşılaştırmak içinde bu büyüklükte bir kuvvet seçilmiştir.

¹¹ Ticari bir sonlu elemanlar analiz yazılımı



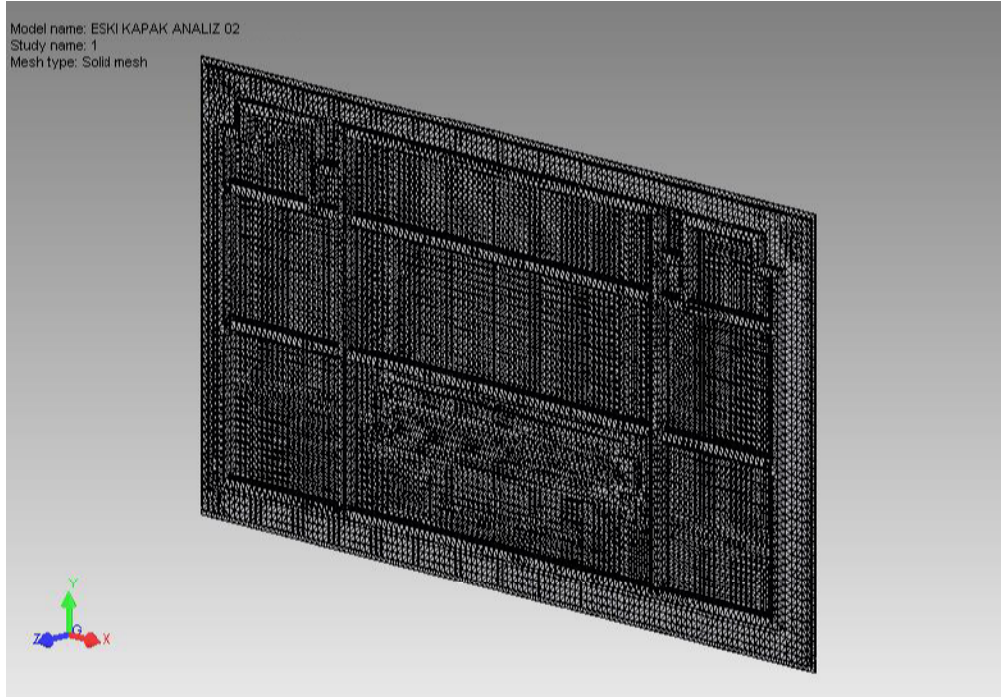
Şekil 7.7 Mevcut bagaj kapağının FEM analizindeki sabit bölgeleri ve uygulanan kuvvetler

7.5.1 Sonlu elemanlar ağ yapısı¹²

FEM analizinde kullanılan Mesh yapının detayları şu şekildedir (Şekil 7.8):

- Kullanılan mesh yapısı : Standart
- Jacobian kontrolü : 4
- Eleman türü : Tetragonal lineer eleman
- Eleman boyutu : 13.9659 mm
- Tolerans : 0.698295 mm
- Mesh kalitesi : Yüksek
- Toplam düğüm adedi : 165265
- Toplam eleman adedi : 85829

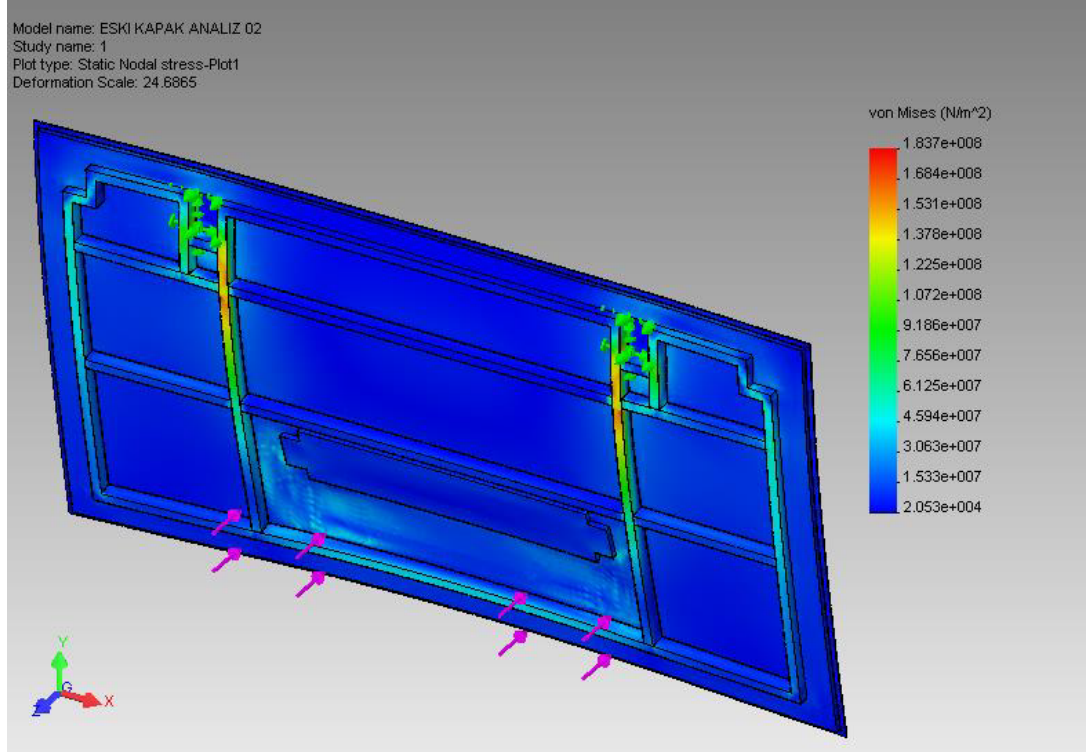
¹² FEM metodunda kullanılan, analiz edilecek elemanı parçalara bölen ağ yapısı



Şekil 7.8 Mevcut bagaj kapağının mesh yapısı

7.5.2 Gerilme sonuçları

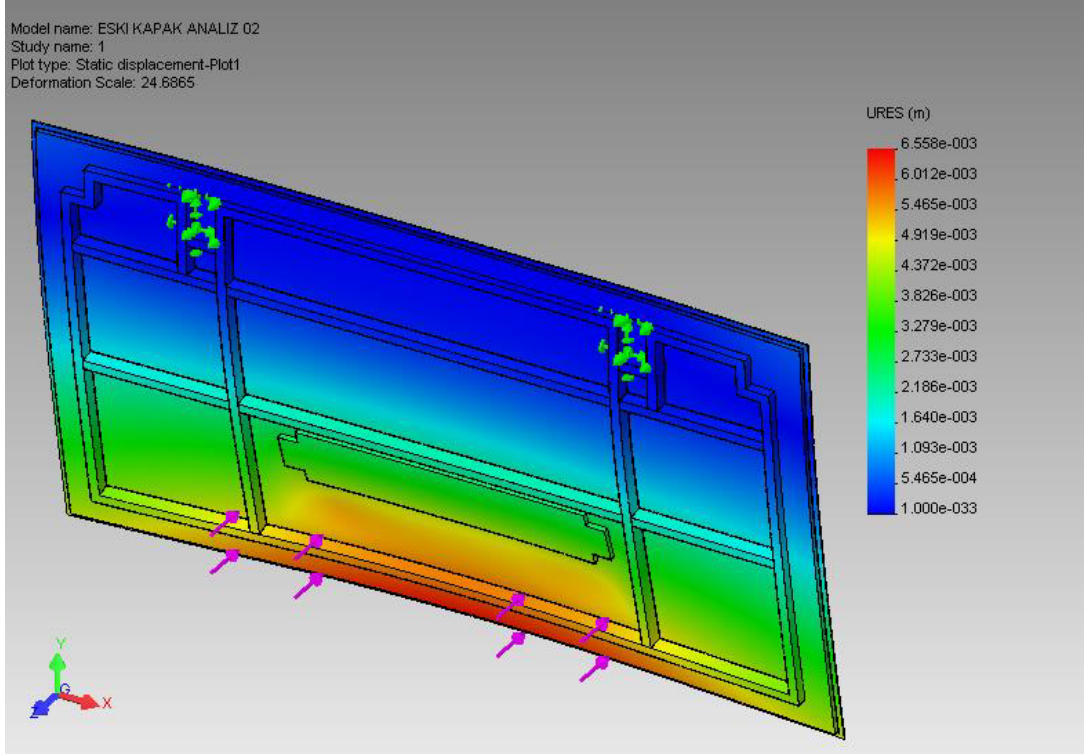
Analiz sonucunda bulunan en yüksek gerilme değeri 183.7 N/mm^2 'dir. Bu gerilme bagaj kapağını orta kısmını boylamasına geçen iki profilin menteşe noktalarına yakın bölgesinde oluşmuştur (Şekil 7.9). Bu yapının imal edildiği malzeme olan St 37'nin akma sınırı 220.6 N/mm^2 'dir. Bu sebeple 183.7 N gerilme değeri emniyetli bir değerdir. Bu gerilmenin; yükleme noktalarına en yakın, yapıyı Y ekseninde geçen iki profilin menteşe bağlantı noktalarına yakın bölgelerinde oluşmuş olması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 7.9 Mevcut bagaj kapağının gerilme dağılımı

7.5.3 Yer değiştirme (Sehim)

Mevcut kapakta en büyük yer değiştirme değeri 6.56 mm olarak bulunmuştur. Elastik limit içerisindeki bu yer değiştirme beklendiği gibi, yapının görece daha zayıf bölgesi olan sac levhadan imal edilen dış çerçeve bölgesinde oluşmuştur. Kapağın Y eksenindeki uzunluğunun 885 mm olduğu ve bu esnemenin kapak açıkken, yani herhangi başka bir parçaya çarpma riski olmadığı göz önüne alındığında, 6.56 mm elastik esneme kabul edilebilir bir değerdir (Şekil 7.10).



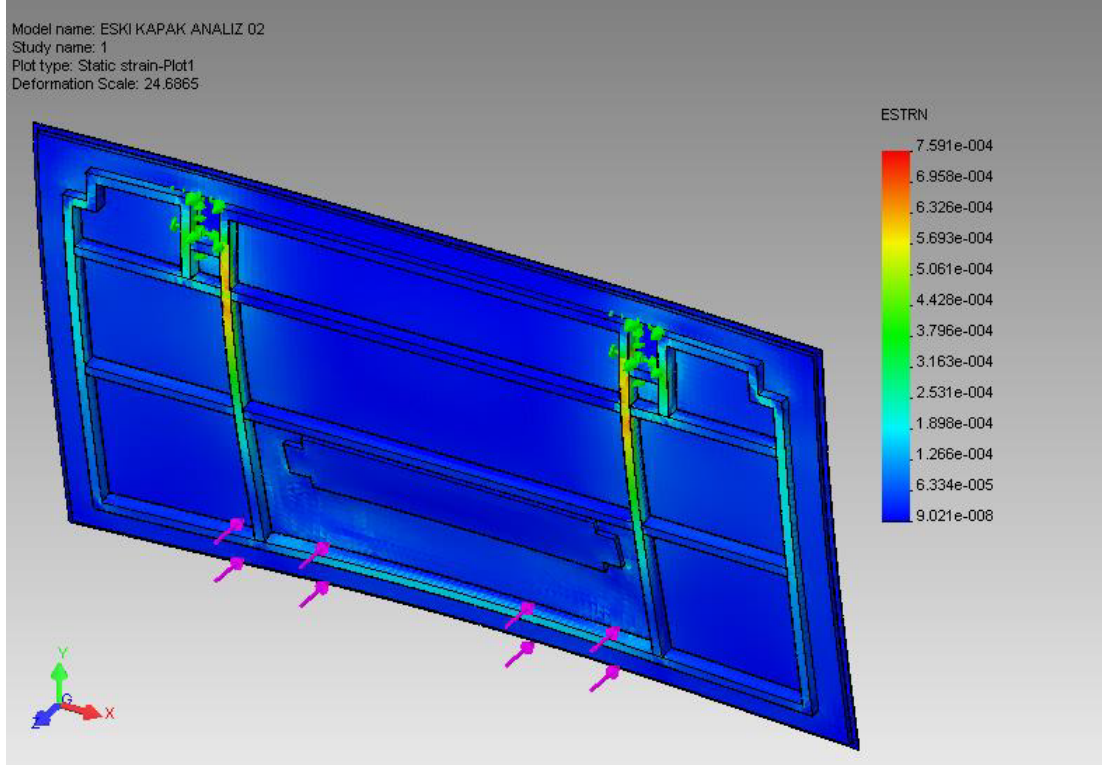
Şekil 7.10 Mevcut bagaj kapağının yer değiştirme dağılımı

7.5.4 Birim şekil değişimi (Strain)

Birim şekil değiştirme, gerilmenin malzemenin elastiklik modülüne oranıdır. Çeliğin elastiklik modülü 210.000 MPa'dır. Yapıda oluşan en büyük gerilme 183.7 MPa'dır. Bu durumda yapıda gerçekleşmesi beklenen en büyük birim şekil değiştirme değeri 8.7×10^{-4} 'tür.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (7.5)$$

Analiz sonucunda yapıdaki en büyük birim şekil değişim değeri 7.6×10^{-4} olarak bulunmuştur. Yapının geometrisinin homojen olmadığı, malzeme verilerindeki farklılıklar ve analiz programındaki hata oranı göz önüne alındığında hesaplanan değer yazılımdan elde edilen değeri doğrulamaktadır. Elastik limit dahilinde birim şekil değişimi, gerilmeyle doğru orantılı olduğu için, en büyük birim şekil değişimi, en büyük gerilmenin olduğu bölgede oluşmuştur. (Şekil 7.11)



Şekil 7.11 Mevcut bagaj kapağının birim şekil değişimi dağılımı

7.5.5 Tasarım kontrolü

Tasarım kontrolü mevcut kapakta oluşan en yüksek gerilme değerine göre yapılmıştır (Şekil 7.12). Emniyet faktörü, S , kapakta oluşan en büyük gerilmenin kullanılan malzeme olan St37 çeliğin akma sınırına oranıdır.

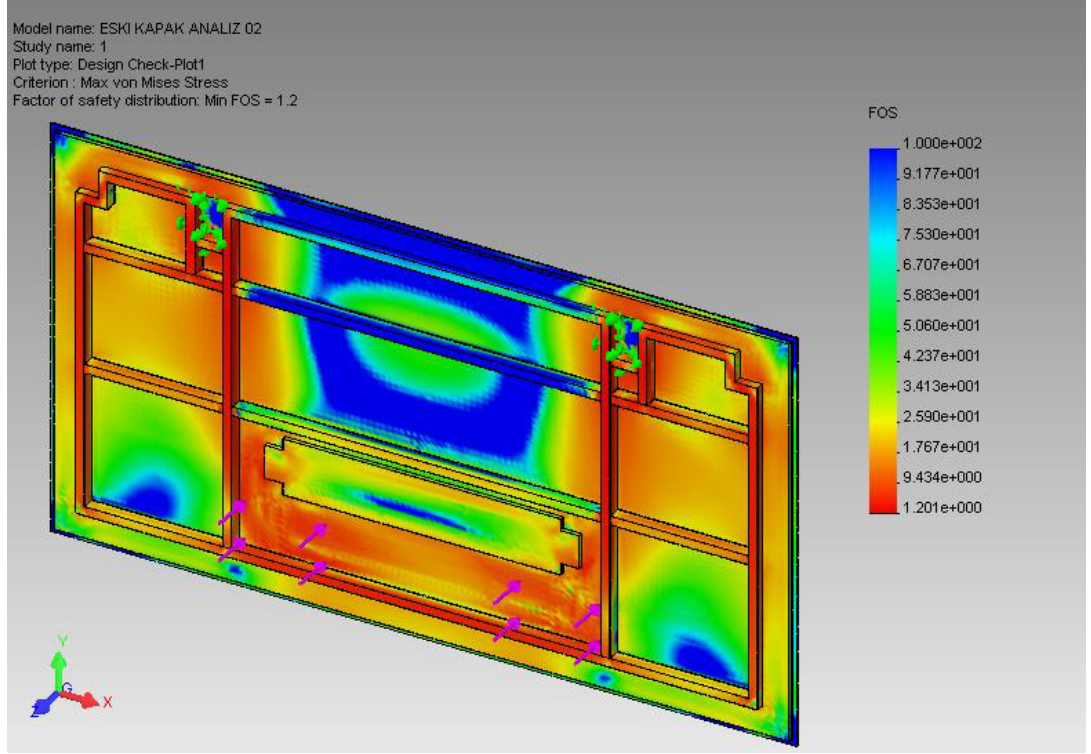
- Bulunan en yüksek gerilme değeri (σ) : 183.7 N/mm²
- Akma sınırı ($\sigma_{0,2}$) : 220.6 N/mm²

$$S = \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma} \quad (7.6)$$

$$S=1,2$$

Bu değer yapının güvenli olduğunu göstermektedir. Otomotiv sektöründe, özellikle ‘S’ kodlu emniyet parçaları için 1.2’den daha büyük emniyet faktörleri

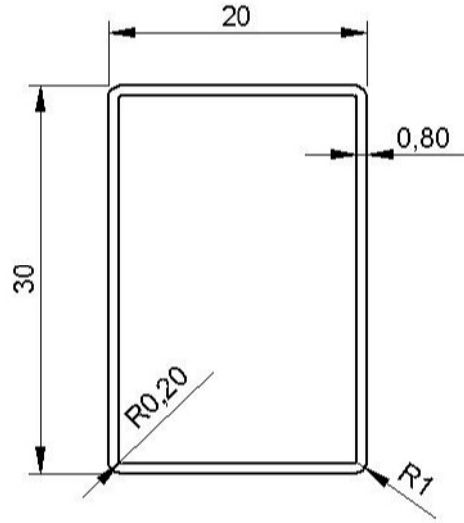
kullanılmaktadır. Üzerinde çalışılan bagaj kapağının gerek emniyet parçası olmaması, gerekse seçilen kuvvetlerin kapağın normal çalışma şartlarında karşılaştacağından büyük olması sebebiyle bulunan değer uygundur.



Şekil 7.12 Tasarım emniyet faktörü dağılımı

7.6 Mevcut kapak tasarımında kullanılan karkas profilinin incelemesi

Mevcut kapakta karkas profili olarak 20x30x0,8 mm St37 malzemeden imal profil kullanılmıştır (Şekil 7.13).

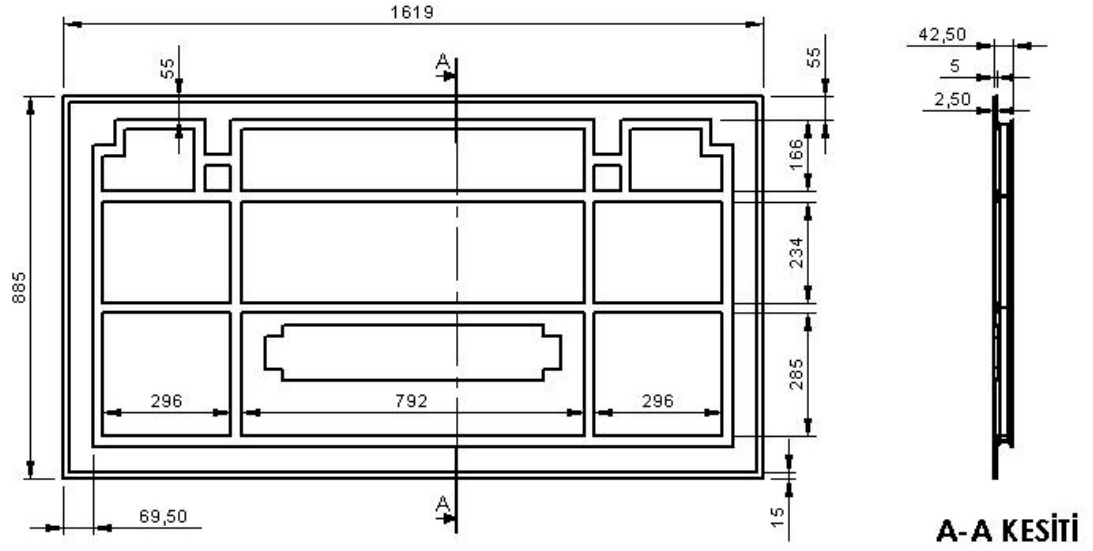


Şekil 7.13 Mevcut karkas profili kesiti [22]

- Kesit alanı (A) :76.6 mm²
- X eksenindeki atalet momenti (Ix) :5177.6 mm⁴
- Y eksenindeki atalet momenti (Iy) :9696.4 mm⁴

7.7 Yeni bagaj kapağı tasarımı

Yeni bagaj kapağı tasarımına tez konusu dahilinde optimizasyon çalışması mantığıyla yaklaşılabilecektir. Kapağın kullanım özelliklerine, fonksiyonelliğine ve diğer parçalar ile uyumuna yönelik herhangi bir değişiklik yapılmayacaktır. Yapılacak tasarım araçta herhangi bir değişiklik yapılmasına gerek kalmadan mevcut tasarımla birebir değişebilir özellikte olacaktır. Kapağın diğer parçalarla ilişkili ölçülerinde herhangi bir değişiklik yapılmayacaktır. Bu sayede alüminyum ve çelik malzemenin net bir kıyaslaması yapılabilecektir. Bunun yanında yapılacak değişiklikler aracın fonksiyonel yapısını değiştirmedikten ve kullanıcıya direkt yansıyan bir görüntü farkı yaratmadığından tasarlanacak olan yeni kapağın mevcut araçlarda, araç model değişikliği yapılmadan kullanılma imkanı sağlanacaktır. Bagaj kapağının alüminyum karkas profilinin yeniden tasarlanmasının yanında dış panel kalınlığında 1 mm'den 2.5 mm'ye çıkarıldı (Şekil 7.14).

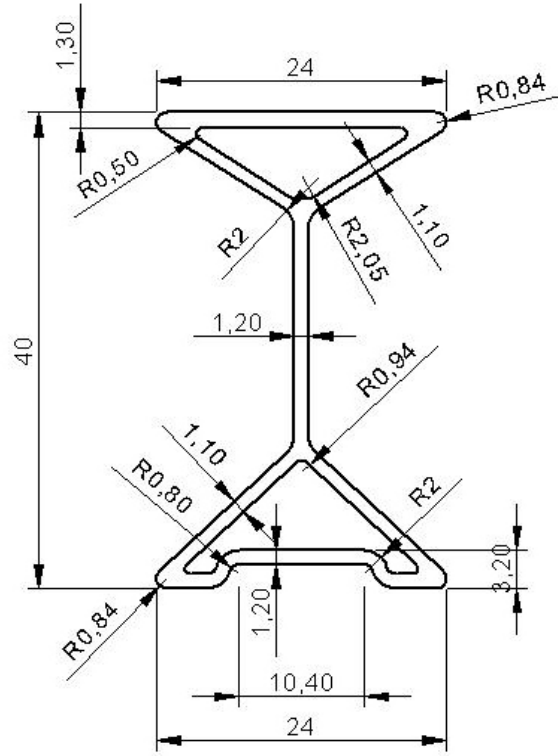


Şekil 7.14 Yeni bagaj kapağının genel ölçüleri

7.7.1 Yeni karkas kesiti tasarımı

Yeni kesit tasarımında göz önüne alınacak temel ölçütler kesitin Y eksenindeki atalet momenti ve kesit alanıdır. Alanın önemi yapının toplam kütlesi sebebiyledir. Atalet momenti ise kapağın yük altında eğilmesi açısından önemlidir. Karkas yapıda kullanılacak alaşım olan 6063 T5 alaşımının akma sınırı 145 N/mm^2 'dir. Burada kullanılacak alüminyum kesit çelik kesite göre daha kalın olacağından akma sınırı konusunda sorun yaşanmayacaktır. Bu sebeple en önemli tasarım kriterleri eğilme ve ağırlıktır. Bagaj kapağına açma-kapama sırasında uygulanacak kuvvet Y ekseninde olduğundan burada Y eksenindeki atalet momenti X eksenindeki atalet momentine göre daha fazla önem kazanmaktadır.

Yeni kapak tasarımında kullanılacak profil 6063 T5 alüminyum alaşımdan, ekstrüzyon yöntemiyle üretilecektir.



Şekil 7.15 Yeni karkas profili kesiti

- Kesit alanı (A) :149.5 mm²
- X eksenindeki atalet momenti (Ix) :5619.3 mm⁴
- Y eksenindeki atalet momenti (Iy) :36480.9 mm⁴

Yeni kesitin Y eksenindeki atalet momenti eski kesitin 3.76 katı, X eksenindeki atalet momenti ise eski kesitin 1.085 katıdır. Kesit alanı eski kesitin 1.95 katıdır. Arttırılmış mekanik özelliklerin yanında, yeni kesit, alt kısmında oluşturulan kot farkı sayesinde yapıştırma prosesi için kolaylık, daha yüksek kalite ve yapışma performansı sağlamaktadır (Şekil 7.15).

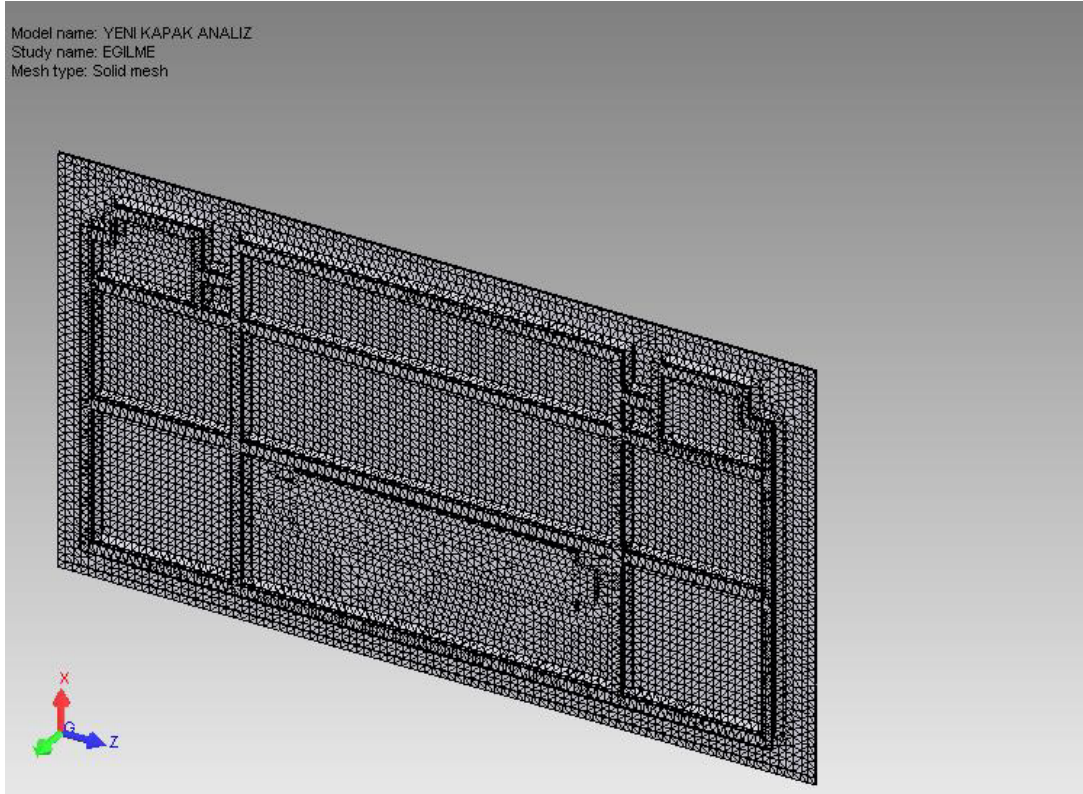
7.8 Yeni tasarlanan bagaj kapağının FEM analizi

Yeni bagaj kapağının statik-FEM analizi aynı şekilde CosmosWORKS-2004 analiz yazılımında yapılmıştır. Bu analizdeki tüm kuvvetler ve sınır şartları mevcut bagaj kapağının analiz özellikleri ile aynıdır.

7.8.1 Sonlu elemanlar ağ yapısı

FEM analizinde kullanılan Mesh yapının detayları şu şekildedir (şekil 7.16):

- Kullanılan mesh yapısı :Standart
- Jacobian kontrolü :4
- Eleman türü : Tetragonal lineer eleman
- Eleman boyutu :13.393 mm
- Tolerans : 0.82 mm
- Mesh kalitesi : Yüksek
- Toplam düğüm adedi : 168573
- Toplam eleman adedi : 89289

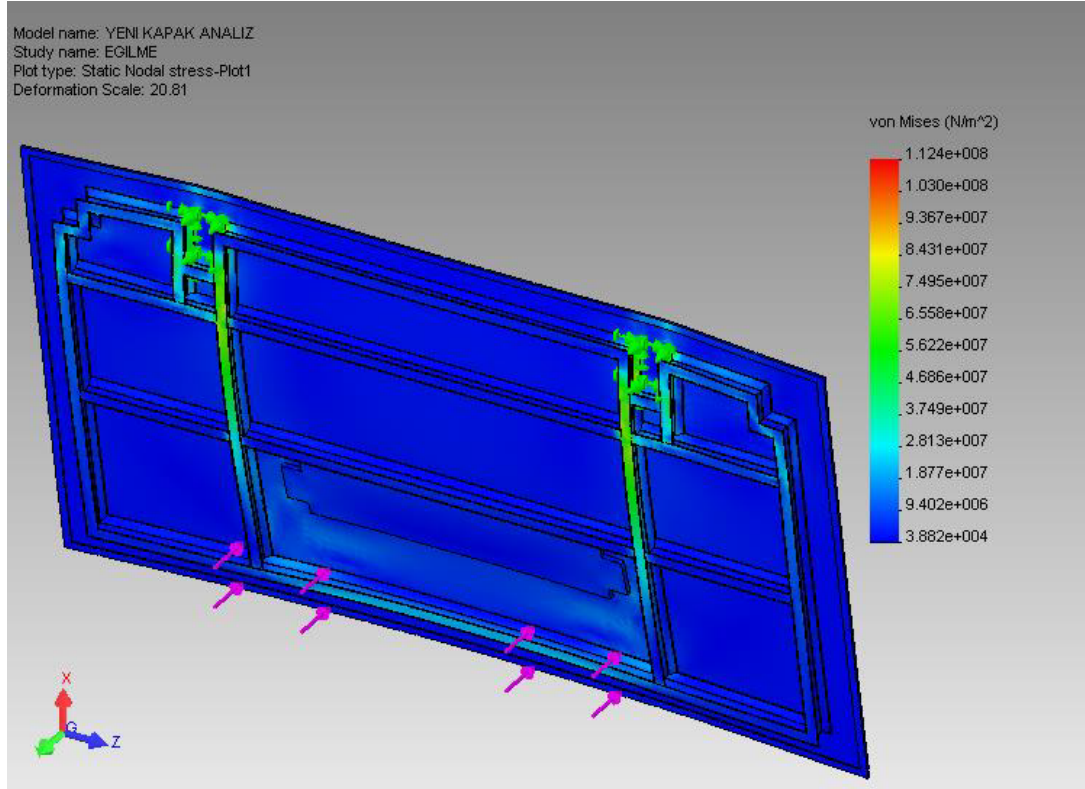


şekil 7.16 Yeni bagaj kapağının mesh yapısı

7.8.2 Gerilme sonuçları

Analiz sonucunda bulunan en yüksek gerilme değeri 112.4 N/mm^2 'dir. Bu gerilme mevcut bagaj kapağı analizinde olduğu gibi, bagaj kapağının orta kısmını boylamasına geçen iki profilin menteşe noktalarına yakın bölgesinde oluşmuştur (Şekil 7.17). Bu kapağın imal edildiği malzeme olan 6063 T5 alüminyumun akma sınırı 145 N/mm^2 'dir. Bu sebeple 112.4 N gerilme değeri emniyetli bir değerdir. Bu gerilmenin; mevcut kapak analizinde olduğu gibi yükleme noktalarına en yakın, yapıyı Y ekseninde geçen iki profilin menteşe bağlantı noktalarına yakın bölgelerinde oluşmuş olması beklenen bir sonuçtur.

Yeni tasarımda kullanılan alüminyum profilin kesit alanının mevcut profile göre daha büyük olması ve daha kalın alüminyum levha kullanılması sebebiyle yeni tasarımda oluşan en büyük gerilme mevcut kapakta oluşan gerilmenin %61'i seviyesindedir.

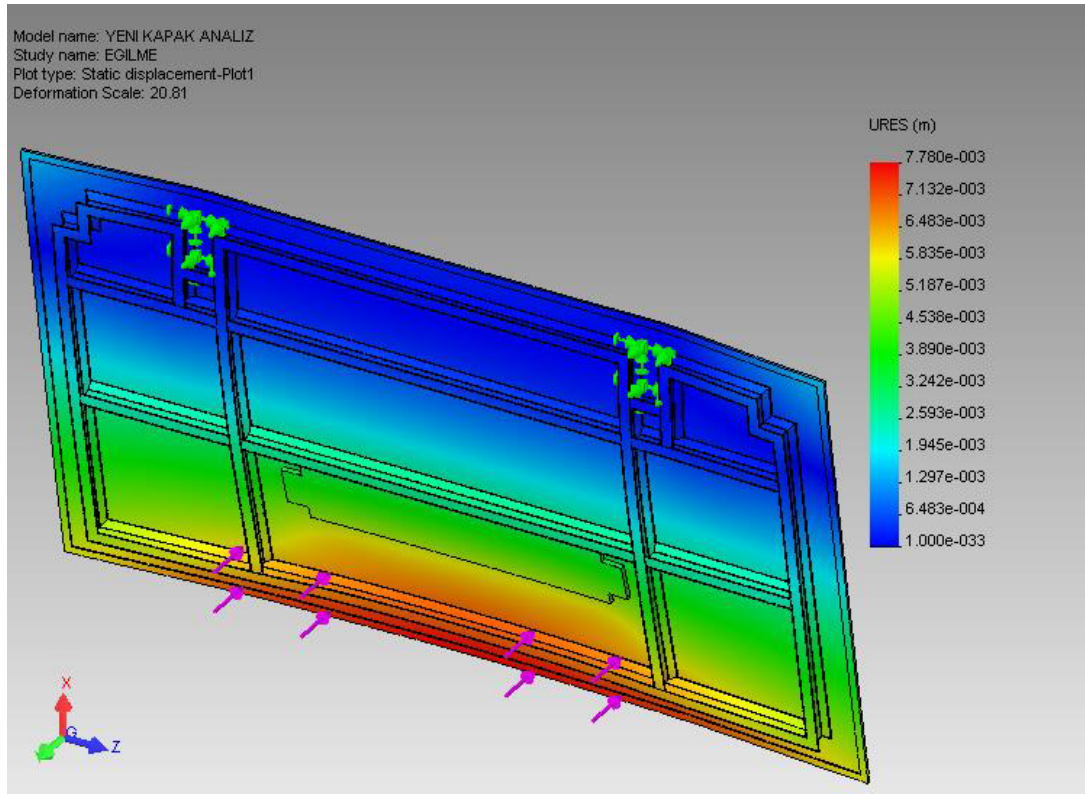


Şekil 7.17 Yeni tasarlanan bagaj kapağının gerilme dağılımı

7.8.3 Yer değiştirme (Sehim)

Yeni kapakta en büyük yer değiştirme değeri 7.78 mm olarak bulunmuştur. Elastik limit içerisindeki bu yer değiştirme beklendiği gibi, yapının görece daha zayıf bölgesi olan alüminyum levhadan imal edilen dış  er eve bölgesinde oluşmuştur (şekil 7.18).

 nceki konularda belirtildiği gibi yer değiştirme (Sehim), alüminyum malzemeden imal edilen yapılar için en önemli tasarım kistasıdır. Alüminyum malzemenin elastiklik modülünün  elik malzemenin üçte biri seviyesinde olması aynı geometrik yapıdaki alüminyum yapının  elik yapının üç katı esneyeceği anlamına gelmektedir. Bu örnekte,  elik yapının en büyük esnemesi 6.56 mm iken alüminyum yapının en büyük esneme değeri 7.78 mm bulundu. Görüldüğü gibi doğru tasarlanmış yapılar sayesinde alüminyum malzeme ile  elik malzemeye çok yakın esneme değerleri sağlanabilmektedir.



şekil 7.18 Yeni tasarlana bagaj kapağının yer değiştirme dağılımı

7.8.4 Tasarım kontrolü

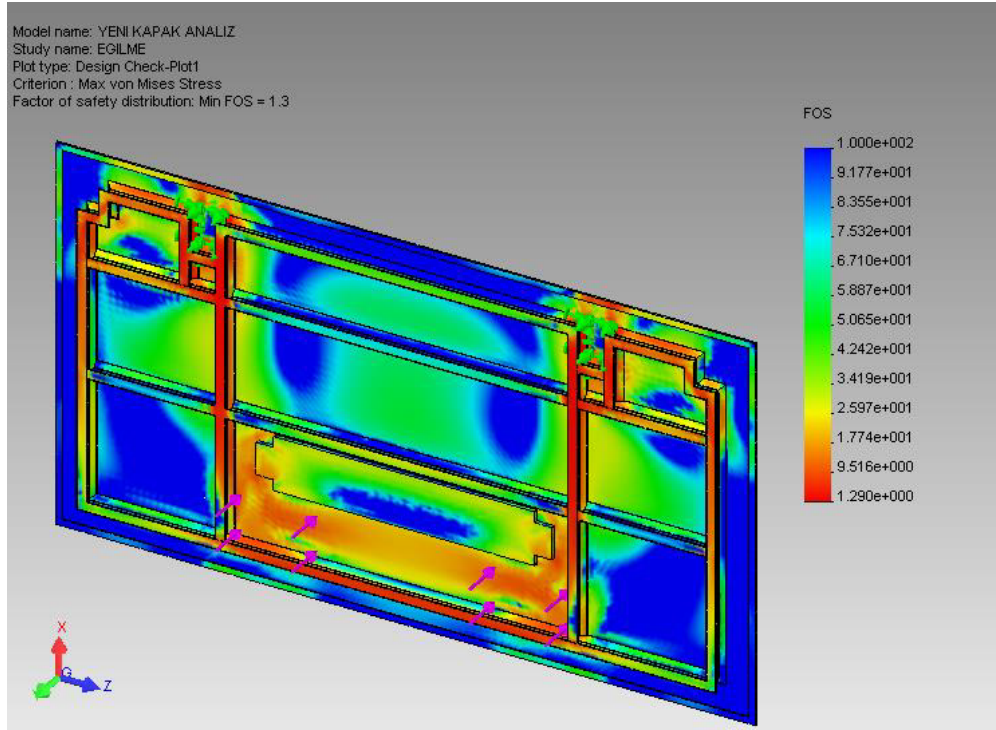
Tasarım kontrolü yeni tasarlanan kapakta oluşan en yüksek gerilme değerine göre yapılmıştır. Emniyet faktörü, S , kapakta oluşan en büyük gerilmenin kullanılan malzeme olan 6063 T5 alüminyumun akma sınırına oranıdır (Şekil 7.19).

- Bulunan en yüksek gerilme değeri (σ) : 112.4 N/mm²
- Akma sınırı ($\sigma_{0,2}$) : 145 N/mm²

$$S = \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma} \quad (7.7)$$

$$S=1,3$$

Görüldüğü gibi akma sınırı çeliğe göre daha düşük olan alüminyum malzeme kullanılmasına rağmen alüminyum yapının emniyet faktörü çelik yapının emniyet faktöründen daha büyüktür. Bunun sebebi, doğru kesit ve yapı tasarımı ve doğru alaşım seçimidir.



Şekil 7.19 Tasarım emniyet faktörü dağılımı

7.9 Mevcut bagaj kapağı tasarımı ve gerçekleştirilen yeni bagaj kapağı tasarımının karşılaştırılması

Tablo 7.5 Mevcut ve yeni tasarlanan bagaj kapaklarının karşılaştırması

	Mevcut Tasarım	Yeni Tasarım	Oran- Yeni/Mevcut
En büyük gerilme / Akma sınırı (Mpa)	183.7 / 220.6	112.4 / 145	%61
En büyük yer değiştirme (mm)	6.56	7.78	%118
Emniyet faktörü	1.2	1.3	%108
Toplam ağırlık (kg)	21.2	11.6	%54.7
Toplam işçilik Maliyeti (YTL)	130	80	%61
Toplam malzeme maliyeti (YTL)	30	71	%266
Toplam maliyet (YTL)	160	151	%94

Yeni tasarlanan alüminyum karkas profilinin daha büyük et kalınlığına sahip olması ve yüksek atalet momenti sebebiyle yeni kapakta oluşan en büyük gerilme mevcut kapaktakinin %62'i seviyesindedir (Tablo 7.5).

Yer değiştirmeyi belirleyen etkenler: parçanın sınır şartları, kuvvet büyüklükleri, parçanın atalet momenti ve malzemenin elastisite modülüdür. Sınır şartları ve kuvvet büyüklükleri, her iki tasarımda özdeştir. Alüminyum malzemenin elastisite modülü çeliğin yaklaşık üçte biri değerindedir. Yeni tasarımın Y eksenindeki atalet momenti mevcut tasarımın Y eksenindeki atalet momentinin yaklaşık 3,75 katıdır. Bu sebeple oluşan yerdeğiştirme mevcut tasarımdan sadece %18 fazladır (Tablo 7.5). Emniyet faktörü S, yeni tasarımında %8 oranında daha büyüktür (Tablo 7.5).

Ağırlık azaltımı bu tasarımın ana hedefidir. Yeni tasarım, mevcut tasarımın sağladığı mekanik özelliklerden vazgeçmeden %45 civarında hafifletme sağlamıştır. 9,6 kg ağırlık azaltımı otomotiv sektöründe çok önemli bir değerdir. Tasarım ticari bir araçta kullanılacaktır. Ticari araçlarda aracın toplam ağırlığının azaltımı faydalı yükü arttırdığı için bu ağırlık azaltımının önemi bir kat daha artmaktadır (Tablo 7.5).

Alüminyum tasarımdaki toplam işçilik çelik tasarımın %61'i seviyesindedir. Bunun en önemli sebebi profil karkasın dış panele kaynak metodu yerine poliürethan bazlı bir yapıştırıcı ile yapıştırılmasıdır. Sac yapıda dış panelde ondülasyona sebebiyet

vermemek için profil karkas dış panele direk olarak kaynatılamamaktadır. Bu sebeple iki yapıyı birleştirecek özel bir geçiş parçasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu geçiş parçası işçilik maliyetini önemli ölçüde arttırmaktadır (Tablo 7.5). Yeni tasarımdaki toplam malzeme maliyeti eski tasarımın %266'sı seviyesindedir (Tablo 7.5).

Alüminyum tasarımın malzeme maliyeti çelik tasarıma göre yüksek olsa da düşük işçilik maliyetleri sebebiyle her iki tasarımın toplam maliyetleri yaklaşık aynı seviyededir. Bagaj kapakların yapımında kullanılan yapıştırıcı, kaynak teli, vs. gibi yardımcı malzemeler işçilik maliyeti içerisinde değerlendirilmiştir. Bunun yanında alüminyum bagaj kapağının çelik kapak kadar korozyon korumasına ihtiyacı yoktur.

Bu özellik maliyet hesabına katılmamış olmakla birlikte alüminyum bagaj kapağı lehindeki bir başka noktadır.

8. SONUÇ

Alüminyum özellikle son 50 yılda, birçok sektörde büyük ilerleme kaydetmiş bir metaldir. Günümüzde alüminyum, süreç parametreleri bilinen, birçok farklı uygulama alanında başarı ile kullanılan, bir malzemedir. Birçok yönden, dünyanın en çok kullanılan metali olan çelikle karşılaştırılabilecek özelliklere sahiptir. Bunun yanında, özkütlesi çeliğin özkütlesinin yaklaşık üçte biri seviyesindedir. Yakıt ekonomisi sağlanmasında ve düşük emisyon değerlerinin yakalanmasında alüminyum otomotiv endüstrisi için anahtar malzemedir.

Gerçekleştirilen alüminyum bagaj kapağı uygulamasında da görüldüğü gibi alüminyum malzemenin kullanımı ile bir yapı, mekanik özelliklerinde önemli bir kayıp olmadan %50'ye varabilen oranlarda hafifletilebilmektedir.

Alüminyum yeni üretim tekniklerinin ve yeni alaşımların geliştirilmesi ile bir otomobilin neredeyse tüm parçalarında kullanılabilecek potansiyele sahiptir. Geçtiğimiz on yılda alüminyum otomotiv endüstrisinde önemli bir ilerleme yakalamıştır. Alüminyum daha çok motor bölgesindeki parçalar, güç aktarım parçaları, jantlar ve ısı değiştiriciler gibi özelleşmiş uygulamalarda kullanılmıştır. Gelecekte alüminyumun otomobil gövdelerinde kullanım oranının artması, yeni levha şekillendirme ve kaynak teknolojilerinin geliştirilmesiyle yakından ilgilidir. Bunun yanında alüminyumun otomobillerin diğer parçalarında kullanım miktarının artması bu malzemenin özellikle motor bloğu ve araç gövdesinde daha fazla kullanılmasına bağlıdır.

Malzeme ve üretim maliyetleri alüminyumun otomotiv sektöründeki kullanım miktarının artma hızını yavaşlatabilecek en büyük etkenler olarak görülmektedir. Birincil alüminyum üretimindeki elektroliz aşaması son dönemde büyük gelişme göstermiş olsa da bu adımda hala maliyet azaltma imkanı mevcuttur. Yarı mamul üretiminde ise sürekli döküm tekniğinin alüminyum levha üretiminde önemli maliyet

avantajı sağlayabileceği düşünülmektedir. Alüminyum montajında ise lazer kaynak teknolojisinin %50'ye varan ucuzlatma imkanı sunması beklenmektedir. Alüminyumun üretim maliyetini azaltmak için günümüzde birçok araştırma yürütülmektedir.

Alüminyumdan üretilen parçaların daha fazla hafifletilebilmeleri için karbon bileşimli alüminyumların geliştirilmesi önem taşımaktadır. Yeni alaşımların geliştirilmesi ve tasarımda optimizasyon araştırmaları ağırlık azaltımı ile sonuçlanabilecek diğer çalışmalardır.

Otomotiv firmalarının alüminyum hakkındaki nispeten düşük mühendislik bilgisi ve mühendislerin alıştıkları, defalarca tecrübe ettikleri çelik malzeme ile tasarım yöntemlerini devam ettirme eğiliminde olmaları alüminyumun otomotiv sektöründe yaygınlaşmasına engel olabilecek diğer etkenlerdir. Bu etkenleri önlemek için alüminyum üreticisi firmaların, otomotiv firmalarına teknik destek vermesi ve sanayi-üniversite işbirliği büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **European Aluminium Association TALAT Lecture 1101**, 1999. Resources and Production of Aluminium, Geoff Budd, Birmingham.
- [2] **European Aluminium Association TALAT Lecture 4202**, 1994. Weldability, Ulrich Krüger, Berlin.
- [3] **Ashley, S.**, 1994. Aluminum vehicle breaks new ground, *Mechanical Engineering*, **116**, No.2
- [4] **Alüminyum raporu**, 2005. TMMOB Türkiye Maden Mühendisleri Odası, Ankara.
- [5] **Dr. Kazdal Zeytin, H.**, 2000. Alüminyum alaşımları, otomotiv endüstrisinde uygulamaları ve geleceği, MAM-MKTAE/OSD, Gebze, Türkiye.
- [6] **European Aluminium Association TALAT Lecture 1501**, 1994. Aluminum: Physical properties, Characteristics and Alloys, Ron Cobden, Banbury.
- [7] **Ashby, M.**, 2001. *Material Selection in Mechanical Design*, 52, Butterworth-Heinemann, MA.
- [8] **Aluminum: The corrosion resistant automotive material**, 2001. The Aluminum Association, Washington DC.
- [9] **Sharp, M. and Nordmark, G. and Menzemer, C.** , 1996. Fatigue design of aluminum components and structures, McGraw-Hill, New York.
- [10] **European Aluminium Association TALAT Lecture 1204**, 1999. Precipitation hardening, M.H. Jacobs, Birmingham.
- [11] **Aluminum in the automotive industry**, 1999. European Aluminium Association, Brussels.

- [12] **Hadley, S. and Das, S. and Miller, J.**, 2000. Aluminium R&D for automotive uses and the department of energy's role, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, USA.
- [13] **Koewius, A.**, 1996. Die Freude am Fahren und die Ökologisches Vernunft, Teil 1, Alminium, Germany.
- [14] **Aluminum for automotive sheet panels material**, 1998. The Aluminum Association, Washington DC.
- [15] **Aluminum automotive extrusion manual**, 1998. The Aluminum Association, Washington DC
- [17] **Scamans, G.**, 2005. Aluminium Structured Vehicles: Myths and realities, *Light Metal Surface Science Annual Conference*, Trondheim, June 15-16.
- [18] **Iveco-Daily ürün broşürü**, 2005. Otoyol San. A.Ş.
- [19] **Parr, T. and Friesen, F.**, 2002. *Final Report: Lightweight Potential of an Aluminium Intensive Vehicle*, Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH, Aachen.
- [20] **Junivall, R. and Marshek, K.**, 2000. *Fundamentals of machine component design.*, pp. 175-221, John Wiley&Sons, Inc., NJ.
- [21] **Good Practices in Aluminum Chassis Design and Repair**, European Aluminium Association Mass Transport, Brussels.
- [22] **Otoyol San.A.Ş. Arşivi**, 2005. Otoyol San. A.Ş.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Şanlıurfa'nın Akçakale İlçesi'nde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Mersin'de tamamladı. 1997 yılında Mersin Özel Toros Fen Lisesi'nden mezun oldu ve aynı yıl içerisinde İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümünde okumaya hak kazandı. Lisans eğitimini 2002 yılında tamamladı. 2003 yılının bahar döneminde İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Konstrüksiyon Yüksek Lisans Programına kabul edildi. Halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Ayrıca Otoyol-Iveco San. A.Ş.'de ürün geliştirme mühendisi olarak çalışmaktadır.