

**TAŞITLARDA AĞIRLIK AZALTIMINDA HAFİF
MALZEME OLARAK ALÜMİNYUM KULLANIMI VE
OPTİMİZASYON**

Recep ÇAĞLAYAN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAŞITLARDA AĞIRLIK AZALTIMINDA HAFİF MALZEME OLARAK
ALÜMİNYUM KULLANIMI VE OPTİMİZASYON**

Recep ÇAĞLAYAN
0000-0003-0135-9325

Prof. Dr. Yahya IŞIK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA– 2020
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Recep ÇAĞLAYAN tarafından hazırlanan "TAŞITLARDA AĞIRLIK AZALTIMINDA HAFİF MALZEME OLARAK ALÜMİNYUM KULLANIMI VE OPTİMİZASYON" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Yahya IŞIK

İMZA

Başkan : Prof. Dr. Yahya IŞIK
0000-0002-1982-9666
B.U.Ü. Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Ali BAYRAM
0000-0001-7311-8358
B.U.Ü. Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ
0000-0002-1987-5750
B.T.Ü. Mühendislik ve Doğa Bilimleri
Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Akşel EREN
Enstitü Müdürü

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.../.../.....

Recep ÇAĞLAYAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TAŞITLARDA AĞIRLIK AZALTIMINDA HAFİF MALZEME OLARAK ALÜMİNYUM KULLANIMI VE OPTİMİZASYON

Recep ÇAĞLAYAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yahya IŞIK

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte başta güvenlik gereksinimleri olmak üzere konfor ve performans talepleri gibi artan istekler araçların ağırlığını artırmıştır. Bu çalışmada taşıt ağırlığının zamanla artma nedenleri incelenmiştir. Artan taşıt ağırlığı nedeniyle oluşan sorunlar ve ağırlık azaltma çalışmaları incelenmiştir. Ağırlık azaltmada en çok kullanılan hafif metal olarak alüminyum incelenmiştir. Alüminyumun taşıtlarda kullanımı ile sağlanan faydalara değinilmiştir. Ağırlık azaltımında alüminyum kullanımının yanında bilgisayar destekli optimizasyon teknikleri ile daha iyi sonuçlar elde edilebilmesi araştırılmıştır. Salıncak kolu tasarımında çelik malzeme yerine alüminyum alaşımı kullanımı ile hafifletme sağlanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, optimizasyon, ağırlık azaltımı, yakıt tasarrufu, taşıt ağırlığı, salıncak kolu

2020, vii + 60 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

THE USE AND OPTIMIZATION OF ALUMINUM AS A LIGHT WEIGHT MATERIAL
FOR MASS REDUCTION IN VEHICLES

Recep ÇAĞLAYAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Yahya IŞIK

With the development of technology, increasing demands such as comfort and performance demands, especially safety requirements, increased the weight of the vehicles. In this study, the reasons for the increase in vehicle weight over time were examined. Problems caused by increased vehicle weight and weight reduction studies were examined. Aluminum has been studied as the most used light metal in weight reduction. The benefits provided by the use of aluminum in vehicles are mentioned. In addition to the use of aluminum in weight reduction, it has been researched to obtain better results with computer-aided optimization techniques. In the design of the wishbone, an effort was made to use aluminum alloy instead of steel material.

Key words: Aluminum, optimization, mass reduction, fuel saving, vehicle weight, wishbone

2020, vii + 60 pages.

TEŐEKKÖR

Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teŐekkÖrlerimi sunarım.

Ayrıca tez danışmanım Prof. Dr. Yahya IŞIK'a tezi tamamlamam için gösterdiği özveri için teŐekkÖrlerimi sunarım.

Recep ÇAĞLAYAN
.../.../.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1 Alüminyum.....	14
2.1.1 Hafiflik.....	17
2.1.2 Mukavemet ve dayanıklılık.....	19
2.1.3 Yüksek mukavemet-ağırlık oranı.....	19
2.1.4 Esneklik.....	21
2.1.5 Korozyon dayanımı.....	28
2.1.6 Geri dönüşebilir olması.....	30
2.1.7 Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği.....	31
2.1.8 Kolay işlenebilme ve biçimlendirilebilmesi.....	32
2.2. Optimizasyon.....	42
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	48
4. BULGULAR.....	52
5. SONUÇ.....	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	60

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
0	Derece
%	Yüzde
°C	Santigrat (sıcaklık)
CO ₂	Karbondioksit
cd	Sürtünme katsayısı

Kısaltmalar	Açıklama
AB	Avrupa Birliği
ABS	Anti-lock Braking System (Kilitlenme Karşıtı Frenleme Sistemi)
AC	Alternatif Akım
AFNOR	Association Française de Normalisation
AISI	American Iron and Steel Institute
Al	Alüminyum
BS	British Standarts
CE	Conformité Européene(Avrupa'ya Uygunluk)
Cm	Santimetre
DC	Doğru Akım
DIN	Deutsches Institut für Normung
ECE	Economic Commission for Europe (Avrupa Ekonomi Komisyonu)
EN	European Norms
ESP	Electronic Stability Program (Elektronik Stabilite Programı)
EU	European Union
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standards
Gr	Gram
Kg	Kilogram
Km	Kilometre
Kw	Kilowatt
MPa	Mega Paskal
Mm	Milimetre
N	Newton
SAE	Society of Automotive Engineers
TCS	Traction Control System (Çekiş Kontrol Sistemi)
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UV	Ultraviyole
vb.	ve benzeri

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	Enerji tiplerinin karbondioksit emisyonları (gr/kWs)..... 3
Şekil 2.2.	AB’nde sera gazı emisyonlarının sektörlere göre dağılımı..... 4
Şekil 2.3.	Yıllara göre taşıtların ağırlığının artış grafiği..... 7
Şekil 2.4.	Taşıtlarda kullanılan hava yastıkları..... 8
Şekil 2.5.	Taşıtı oluşturan malzemelerin ağırlıkça oranları..... 13
Şekil 2.6.	Opel Corsa modelinin hafifletilmesi..... 18
Şekil 2.7.	Alüminyumun diğer metal ve metal alaşımlarla özkütle temelli mukavemet karşılaştırılması..... 20
Şekil 2.8.	Sürücüye yardımcı olan sistemler..... 21
Şekil 2.9.	Güvenlik asistanları..... 22
Şekil 2.10.	Euro NCAP tarafından yapılan çarpışma testinde 5 yıldız alan bir araç 23
Şekil 2.11.	Taşıt iskeleti yapı elemanları..... 24
Şekil 2.12.	Kaza esnasında gelen enerjinin yolcu kabinine zarar vermemesi için yapılan yönlendirmeler..... 25
Şekil 2.13.	Bir köpük ve yoğun bir katı madde ile enerji emilimi..... 26
Şekil 2.14.	Farklı alüminyum ekstrüzyon kesitlerin aksenel çarpma testi sonuçları. 27
Şekil 2.15.	Düz duvara çarpma testinde taşıtın 3. neslinin davranışı..... 27
Şekil 2.16.	Alüminyum radyatör ve eşanjör..... 31
Şekil 2.17.	Audi A3 levhadan üretilmiş ön bölümü..... 33
Şekil 2.18.	2018 model Audi A8 modelinde kullanılan birleştirme yöntemleri..... 34
Şekil 2.19.	Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin şematik olarak gösterimi... 35
Şekil 2.20.	Motor parçaları..... 37
Şekil 2.21.	Şaside alüminyum kullanımı..... 38
Şekil 2.22.	İlk tekerlekten günümüzde kullanılan tekerleğe geçişinin aşamaları..... 39
Şekil 2.23.	Araçlarda kullanılan alüminyum jant..... 39
Şekil 2.24.	5 cm’lik deformasyon gerçekleşene kadar çelik ve alüminyum jantın dayandığı yük..... 41
Şekil 2.25.	Taşıt üretim süreci..... 44
Şekil 2.26.	Topoloji optimizasyonunun ilerleme aşamaları..... 45
Şekil 2.27.	Optimizasyon tekniği ile parçanın hafifletilmesi..... 46
Şekil 2.28.	8 parçadan oluşan koltuk braketinin bilgisayar yardımıyla tek parçadan üretilmesi..... 47
Şekil 3.1.	Sac salıncak kolunun kabuk modeli..... 49
Şekil 3.2.	Sac salıncak kolunun sınır koşulları ve yükleme durumu..... 50
Şekil 3.3.	3 mm et kalınlığında St37 çeliğin analizi..... 50
Şekil 3.4.	3 mm et kalınlığında Al 5754 Hx6 alüminyum alaşımının analizi..... 51
Şekil 3.5.	3,4 mm et kalınlığında Al 5754 Hx6 alüminyum alaşımının analizi..... 51

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Teknolojik gelişmelerin taşıtların yakıt tüketimine olan etkisi.....	5
Çizelge 2.2. Yıllara göre alüminyum kullanımının artışı.....	10
Çizelge 2.3. Hafifletmede kullanılabilir potansiyel malzemeler.....	10
Çizelge 2.4. Farklı motorlara sahip taşıtların teknik özellikleri.....	12
Çizelge 2.5. Malzemelerin enerji tüketim oranları.....	15
Çizelge 2.6. Birincil alüminyum enerji tüketim eğilimi.....	16
Çizelge 2.7. Alüminyum alaşımları ticari sınıflandırması.....	16
Çizelge 2.8. Alüminyumun diğer metaller ile karşılaştırılması.....	17
Çizelge 2.9. Alüminyum malzemenin mekanik özelliklerinin değerleri.....	33
Çizelge 2.10. Optimizasyondan istenen temel parametreler.....	43
Çizelge 3.1. St37 çeliğin mekanik özellikleri.....	48
Çizelge 3.2. Al 5754 alüminyum alaşımının kimyasal birleşimi.....	49
Çizelge 3.3. Al 5754 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri.....	49
Çizelge 4.1. St37 çelik yerine Al 5754 alüminyum alaşım ile imal edilen tasarımda sağlanan ağırlık azaltımı.....	52

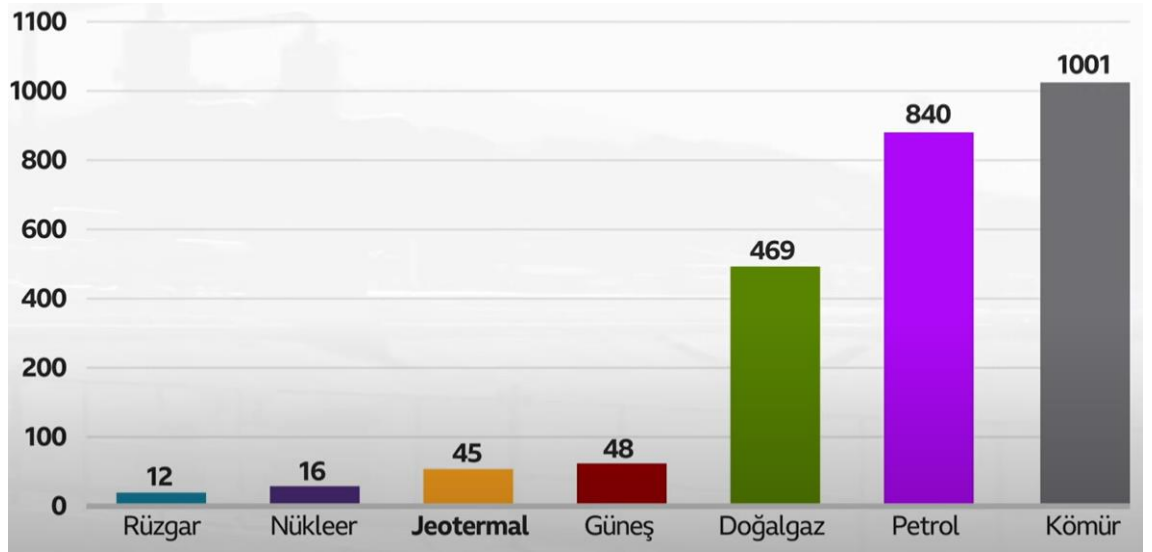
1. GİRİŞ

Teknoloji insanlara hizmet etmek ve yaşam koşullarını kolaylaştırmak için vardır. Ulaşımın asıl amacı insanlar ve eşyayı en kısa zamanda, az maliyetle ve kazasız istenen yere ulaştırmaktır. Kıtalar ve ülkeler arası yük taşımacılığı denizyolu, yolcu taşımacılığı ise hava yolu ile yapılması zaman ve maliyet açısından diğer ulaşım yollarından sıyrılmaktadır. Günümüzde kıtalar arası yük taşımacılığı Triple E sınıfı (Ekonomik, Ergonomik ve Ekolojik diye adlandırılan) 400 metre uzunluğunda 60 metre genişliğinde bulunan 20 feet'lik standart konteynerden yaklaşık 20.000 konteyner taşıyabilen konteyner gemileri ile yapılarak verimlilik sağlanmaya çalışılmaktadır. Küçük gemilerin yerine büyük konteyner gemilerinin geçmesinin asıl nedeni maliyetler, ekonomik krizler, petrol fiyatları ve rekabet nedeniyle zorunlu olarak hedeflenen verimliliklerdir. Yolcu taşımacılığında ise zaman ön plana çıkmaktadır. Uzun mesafelerde karayolu, denizyolu ve demir yolu ile günler süren yolculuklar havayolları sayesinde saatler içerisinde kat edilmeye başlanmıştır. Yapılan araştırmalar 400 km ile 600 km arası mesafelerin demiryolu ile seyahati en iyi ulaşım seçeneği olduğunu göstermektedir. Daha uzun mesafelerin uçak ile daha kısa mesafelerin karayolu ile kat edilmesinin yolcu taşımacılığında kullanılmasının maliyet ve zaman açısından daha iyi olduğu belirtilmiştir. Ulaşımda kullanılacak elektrikli, çift hatlı bir demiryolu 13,7 metre platforma ihtiyaç duyarken aynı kapasiteye sahip bir 6 şeritli otoyol ise 37,50 metre platforma ihtiyaç duymaktadır (Anonim 2020). Şehir içi ulaşım gelirse birden çok ulaşım seçeneği bulunmaktadır. Raylı sistemler, otobüsler, otomobiller, motosikletler, ticari taksiler, scooterler, bisikletler ve yürüyüş şehirlerde ulaşım aracı olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Raylı sistemler şehir içi ulaşımında en hızlı ve konforlu ulaşım çeşidi olarak doğayı daha az kirleterek, daha fazla yolcu kapasitesi ile doğa olaylarından daha az etkilenerek ve trafik sıkışıklığı olmayan, yer altında olması halinde yer kaplamayan ekonomik bir ulaşım yoludur. Şehir içi ulaşımında en büyük pay genellikle otobüslere aittir. Plansız büyüme neticesinde artan nüfusun hareketi için en uygun yol başta raylı sistem olmak üzere otobüsler tarafından sağlanmaya çalışılmaktadır. Şehirlerde ev, iş, okul, sağlık, alışveriş, eğlence ve yeşil alanların uzaklaşması ile artan hareketlilik toplu taşıma araçlarının yetersizliğini arttırdığı için özel otomobil kullanımına bağlı olarak şehirlerde trafik sıkışıklığı, park sorunu, hava kirliliği, daha fazla asfalt dökümü ile yeni

yolların yapımı, yeşil alanların azalması, insanların zamanlarını yollarda geçirmesine neden olmaktadır. Raylı sistemlerle günlük on binlerce, yüz binlerce yolcu taşınırken, otobüslerle binlerce yolcu taşınmakta, özel otomobiller ise bir veya iki yolcu ile hizmet vermektedir. Standart bir otobüs 26 oturan toplam 100 yolcu kapasitede iken 30 metrekare yer işgal eder. Günlük seferleri ile ortalama 1000 yolcu taşır. Özel otomobiller ise 5 kişilik olmasına rağmen genelde 1 veya 2 yolcu taşıyıp 10 metrekare işgal etmekte bazen de gün boyu kullanılmamaktadır. Günlük 1000 kişiyi taşıyan standart bir otobüs kişi başı 0,03 metrekare şehirde işgal ederken 2 kişi taşıyan otomobil ise 5 metrekare işgal ederek toplamda 166 kat daha fazla yer işgal etmektedir. Bu işgal raylı sistemlerde daha da azalmaktadır. Çevre kirliliği açısından bakarsak 1 kg CO₂ salınımını raylı sistemler 42 km, otobüsler 12 km, özel otomobiller ise 7 km'de oluşturur (Çakar 1997). Motorlu taşıtlar yakıtlarını yakmak için atmosferden insan hayatı ve doğa için yaşam kaynağı olan oksijeni alıp yerine zararlı gazları atmosfere salmaktadır. Ancak raylı sistemler elektrik ile çalıştığı için elektrik enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları olan hidroelektrik, rüzgâr, güneş ve jeotermal santralleri gibi temiz enerji kaynaklarından yararlanabilmektedir. Karayolu taşıtlarının gürültü kaynağı olduğu ve insanları rahatsız edecek şekilde gürültü oluşturduğu da unutulmamalıdır. Sürdürülebilirlik açısından bakarsak karayolu taşıtları rakipsiz olmayıp ülkeler arası yük taşımacılığında hava yolu, deniz yolu, raylı sistemler, boru hatları, yolcu taşımacılığında hava yolu ve raylı sistemler iyi birer alternatif iken şehir içi taşımacılıkta raylı sistemler, bisikletler ve yaya olarak seyahat imkânları iyi birer alternatif olarak bulunmaktadır. Bu nedenle başta otomobiller olmak üzere karayolu taşıtları artan baskılar neticesinde obezlikten kurtulmaya ve daha az harcamaya çalışarak daha da çevreci olmaya çalışmalıdır. Bu çalışmada gittikçe artan taşıt ağırlıklarının nedenleri incelenmiştir. Taşıt ağırlığının azaltımında alüminyum kullanımı ve bilgisayar destekli tasarımla ile sağlanabilecek hafifletmelere değinilmiştir. Salıncak kolu tasarımında St 37 çelik malzeme yerine Al 5754 alüminyum alaşımı kullanımı ile hafifletme sağlanmaya çalışılmıştır

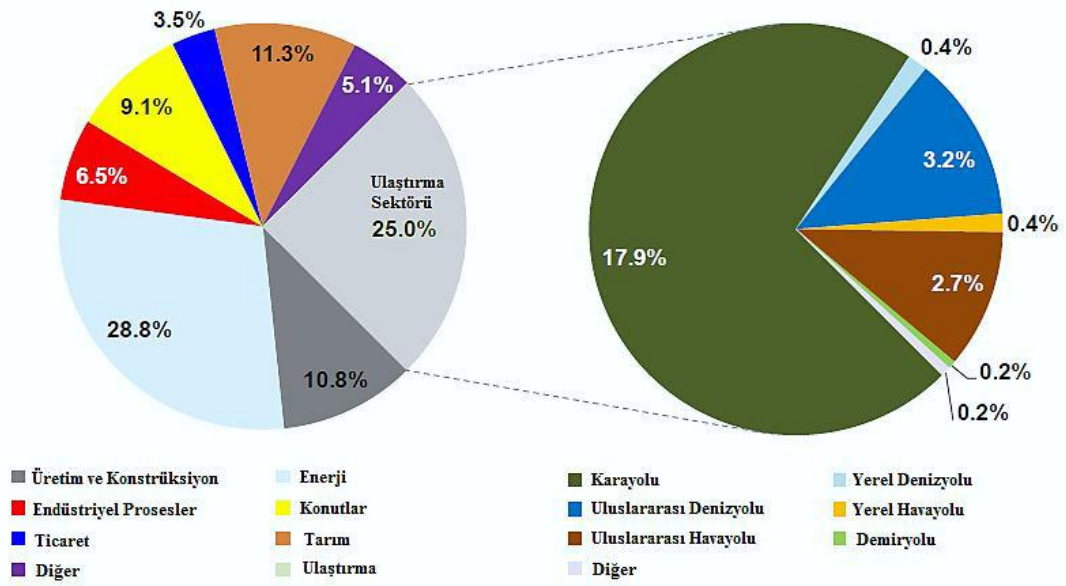
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Hızlı kentleşme, sanayileşme ve nüfus artışı gibi bilinçsiz insan davranışları nedeniyle iklim değişiklikleri meydana gelmekte, sıcaklıklar artmakta, yağış rejimleri değişmekte, buzullar erimekte ve deniz seviyesi yükselmektedir. Bu nedenle ekolojik baskılar giderek artmaktadır. Artan ekolojik baskılar neticesinde taşıtların atık gaz miktarı düşürülmeye çalışılmaktadır. Hill ve ark. (2011) tarafından yapılan araştırmada Avrupa Birliği ülkelerinde sera gazı emisyonları sektörlere göre dağılımı araştırılmıştır. Sera gazı emisyonlarının önemli kısmının başta karayolu taşımacılığı olmak üzere ulaştırma sektörü tarafından kaynaklandığı belirlenmiştir. En büyük enerji tüketicisi konumunda bulunan otomobiller petrol ve türevleri ile doğayı kirletmektedir. Egzoz gazı, yaşadığımız ortama CO₂, kurşun ve diğer zehirli maddeleri bırakmaktadır. Petrol ve türevleri nedeniyle artan çevre kirliliği ve sera gazları dünyanın ısınmasına ve doğal felaketlerin yaşanmasına sebep olmaktadır. Enerji tiplerinin karbondioksit salınımları aşağıdaki şekilde sunulmuştur.



Şekil 2.1. Enerji tiplerinin karbondioksit emisyonları (gr/kWs) (Yalçınalp 2019)

Avrupa Birliği üyesi ülkelerinin ulaşımda petrole bağımlılığı %96'nın üstünde olup enerji tüketiminin %33,1'i, karbon emisyonunun %25'i ulaştırma kaynaklıdır. 1994 yılında yürürlüğe giren Euro 1 normları yerine günümüzde Euro 6 normları bulunmaktadır. Gelecekte ise Euro 7 normları sayesinde taşıtlar emisyonlarını belirlenen değere kadar düşürmeye çalışacak olması doğa adına olumlu bir gelişmedir. Karbondioksit emisyonlarını Avrupa Birliği 2025'de 81 g/km, 2030 yılında ise 59 g/km seviyesine indirmeyi hedeflemiştir. Bunu başarabilmek için daha hafif, elektrikli ve hibrit taşıtlar üretilmektedir (Anonim 2017a).



Şekil 2.2. AB'nde sera gazı emisyonlarının sektörlere göre dağılımı (Hill ve ark. 2011)

Ülkelerin katı çevreci politikaları ve artan rekabet ile birlikte otomotiv üreticileri esas amacı belirli bir yükü belli bir noktaya en az enerji tüketerek ve enerji verimliliğini artırarak taşımak olan taşıtların en az maliyet ile çalışabilmesi için araştırmalar yapmaktadır. Müşterilerin araç alımında öncelikleri fiyat, yakıt tüketimi ve güvenlidir. Günümüzde otomotiv üreticilerinin asıl sorunları ise çevreyi koruma, yakıt tasarrufu ve güvenlidir. Bu nedenle üreticiler verimli motorlar yapmakta, aerodinamik tasarım yapmakta, taşıtları hafifletmekte ve küçültmektedirler. Taşıtların güç ağırlığı (ağırlık/motor gücü) Avrupa Standartlarına göre 15-20 kg/kw'dir (Anonim 2020i). Ağırlık azaltışında sağlanan başarı ile motor ve aktarma organları küçültülmektedir. Artan rekabet nedeniyle müşteri taleplerini karşılayan üreticiler daha iyi satışlara ulaşabilir. Yasalar gereği çevreci standartlar ile CO₂ emisyonları azaltılmaya çalışılmakta ve emisyonu

fazla olan araçlardan daha fazla vergi alınmaktadır. Araçlarda yapılacak hafifletme ile sağlanacak yakıt tasarrufunun yanında daha az CO₂ doğaya salınır.

King (2007) yaptığı araştırma ile yakıt tüketimini azaltan teknolojik yenilikleri araştırmıştır. Yapılacak teknolojik yenilikler ile sağlanacak yakıt tasarrufu aşağıda çizelgede sunulmuştur.

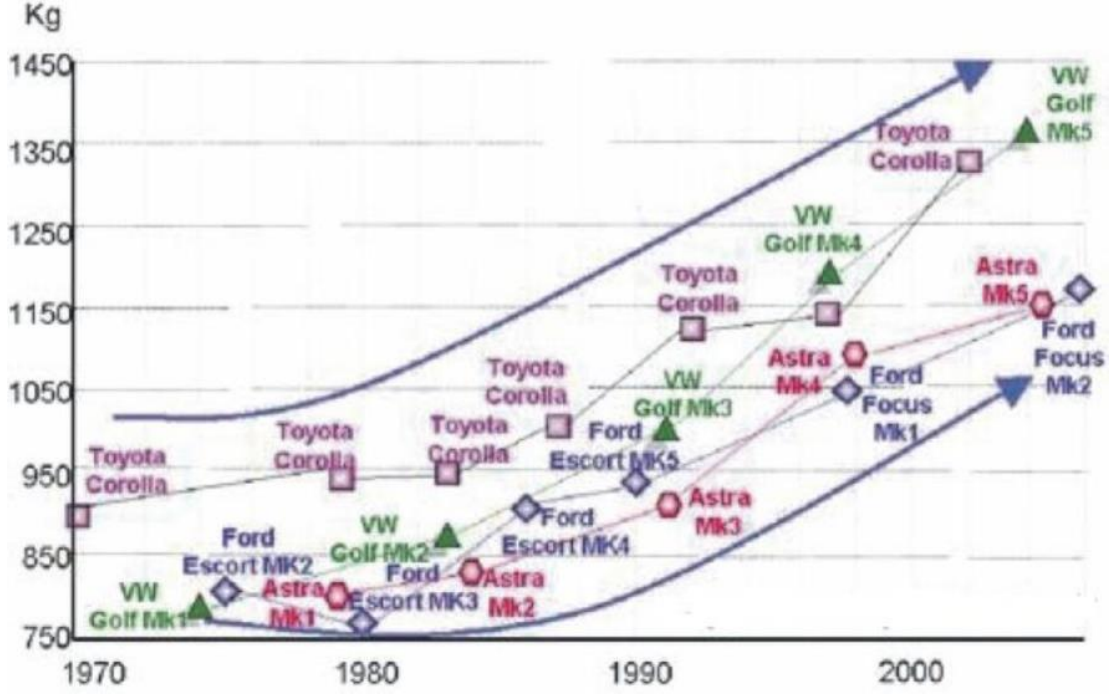
Çizelge 2.1. Teknolojik gelişmelerin taşıtların yakıt tüketimine olan etkisi (King 2007)

Teknoloji / Malzeme/ Tasarım İyileştirmesi	Yakıt Ekonomisine Tahmini Katkısı (%)
Küçük motor kullanılması ve geliştirilmiş turbo sistemler	10-15
Doğrudan enjeksiyon sistemlerinin kullanılması	10-13
Araç ağırlığında hafifletmeler	10
Elektrikli motor teknolojileri	7
Start-Stop sistemleri ve frenlerdeki iyileştirmeler	7
Valf uygulamaları	5-7
Çift kavramalı transmisyon kullanımı	4-5
Mekanik sürtünmelerin azaltılması	3-5
Düşük sürtünme katsayısına sahip lastikler	2-4
Geliştirilmiş aerodinamik tasarım	2-4

Geçmişte yaşanan petrol krizi nedeniyle otomotiv üreticileri bu krizden çıkış yolları aramışlardır. Petrole mahkûm olan taşıtlar için Amerikalı otomobil üreticileri çözüm olarak yakıt sarfiyatının azaltılmasında en hızlı ve tek yolun ağırlık azaltımı olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda seri üretime başlanması da bunda etkili olmuştur. Gelecek nesilleri ve doğayı göz ardı etmeden günümüzün ihtiyaçlarını karşılayabilmek olan sürdürülebilirlik ile iyileştirme parça bazında hafif parça üretmeye başlayarak ve ardından hafif parça sayısını arttırmak otomotiv üreticilerinin birinci öncelikleri olmuştur. Araçların yakıt tüketimini ve buna bağlı olarakta emisyon oranlarını azaltmada kullanılacak en etkin yol taşıt ağırlığında hafifletmeler yapılmasıdır. Taşıt ağırlığını azaltmak için taşıt şaseleri yeniden tasarlanmakta, her parça için ağırlık azaltımı yapılmaktadır. Ağırlık azaltımı ile yakıt tüketimi azalır, karbon salınımı azalır, motor daha verimli çalışır, daha az egzoz salınımı sağlanır, titreşim azalır, araç performansı artar, hızlanma ve frenleme performansı artar, kullanılan malzeme

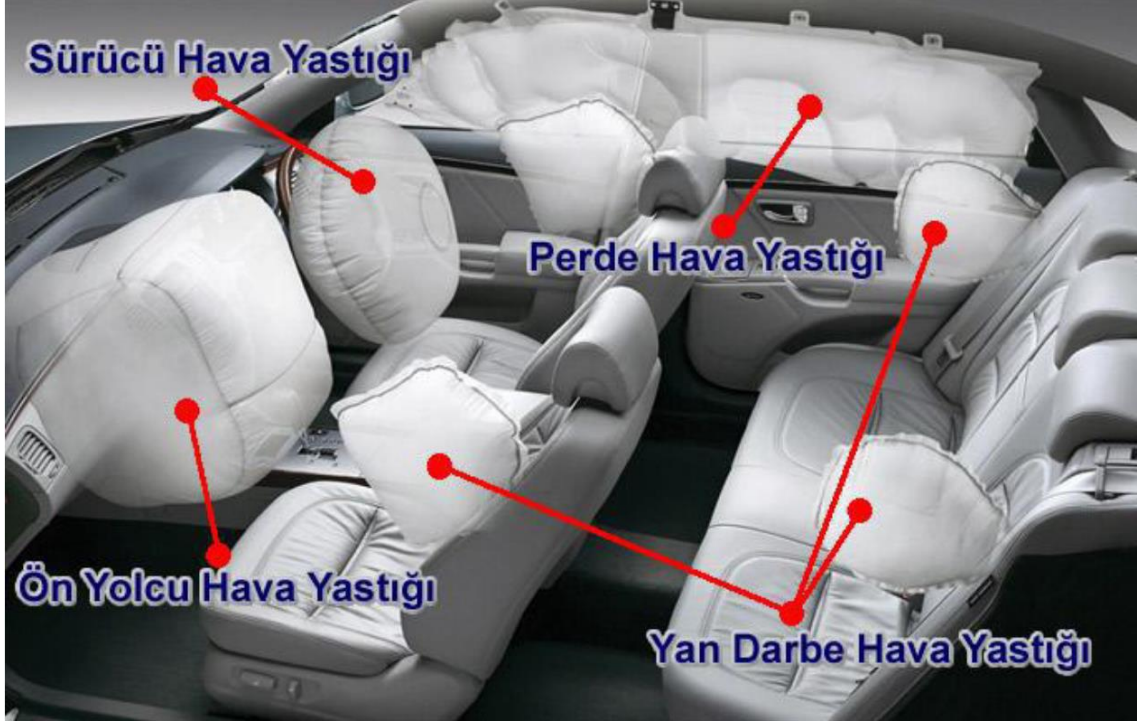
maliyetleri düşer. Hafifletme uzun seyahat yapılan araçlar için daha fazla öneme sahiptir. Alüminyum çelikten 3 kat hafif olmasına rağmen üretiminde çok fazla elektrik tüketilmesi nedeniyle yaklaşık 5 kat daha pahalıdır. Yakıt tasarrufu alüminyum kullanımı ile sağlanabilir ancak alüminyum ile sağlanan yakıt tasarrufu alüminyumun yüksek fiyatı nedeniyle sınırlanmaktadır. Hafifletme ile aracın toplam ömrü boyunca daha az yakıt tüketilmesi ile yüksek fiyatı toplam ömrü boyunca elde edilen tasarruf ve yüksek verimli geri dönüşümü ile günümüzde alüminyum kullanılabilir hale gelmiştir. Batarya ve hibrit teknoloji ile araçlarda ağırlık artışı olur hafifletme bu nedenle elektrikli ve hibrit araçlar için son derece önemlidir. Üretilmeye başlandığı 1966 yılından 2020 yılına kadar 46 milyondan fazla satılan ve dünyanın en fazla satılan otomobili Toyota Corolla modeli 1966 yılında 720 kilogram iken 2019 yılında satılmaya başlayan 12. nesil ise benzinli model 1265 kg, hibrit model ise 1385 kilograma ulaşırken, bu süreçte pek çok farklı faktörün ağırlığın artmasına neden olduğu görülmektedir. Aşağıdaki şekilde ise taşıt ağırlıklarının yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Otomobil ağırlığı konusu, taşımacılık sektöründe özellikle dikkat edilen, verimliliği direkt olarak etkileyen dolayısı ile maliyetler üzerinde önemli etkisi bulunan geniş bir başlıktır. Otomotiv üreticileri ağırlık azaltmak için çeşitli çalışmalar yapmakta, değişik malzemeler kullanmakta, optimizasyon, parça eksiltme vb. çalışmalarla daha fazla hafiflik amaçlanmaktadır. Taşıt tasarımında ağırlık ile ilgili olarak tüm şartlar ve istekler göz önüne alınarak tasarlanmalıdır. Asansör halatının kopma yükünün izin verilen yüke bölünmesi ile emniyet katsayısı bulunur. İnsan taşımada kullanılan asansör halatları emniyetten asla taviz verilmeyeceği yerler olduğu için halatın kopacağı yükün tam 12 katı yüke dayanacak şekilde halat seçimi yapılır. İnsanların yaşamı ve makinelerin ömrü için emniyet önemli olup emniyet katsayısı ile sıcaklık, dinamik yükler ve titreşimin etkileri azaltılır. Üretilen taşıtlar, hava araçları, kazanlar, köprüler, vinçler, çelik yapılar, civatalar, parçalar hep kullanıldığı yerin özelliğine göre emniyet (güvenlik) katsayısı ile üretilirler. Fazla malzeme kullanarak yüksek maliyetli ve emniyetli (overdesigned) tasarımda yapılabilir. Sağlanan yüksek emniyete karşın ağırlık artışı nedeniyle maliyet ve yakıt tüketimi artar. Aynı şekilde maliyetleri kısarak daha emniyetsiz tasarımda yapılabilir. Hafifleyen taşıt ile yakıt tasarrufu sağlanmasına karşın emniyetsiz ve müşterilerin güvenlik nedeniyle tercih etmeyeceği taşıt olur. Önemli olan ise istekler ve kısıtlar ile en iyi tasarımı yakalayabilmektir. Taşıtlarda sağlanan ağırlık

azaltımıyla yapıların ağırlıkları azaltılarak taşıma kapasitesi artar. Sağlanan taşıma kapasitesi artışı hafif malzeme kullanımı ile artan maliyeti minimize eder.



Şekil 2.3. Yıllara göre taşıtların ağırlığının artış grafiği (Anonim 2020a)

Edinilen birikimle birlikte performans talebi artmış, performansı artırmak için daha güçlü motorlar, şanzımanlar kullanılmış, güvenlik için hava yastıkları, çocuk koltukları kullanılmaya başlamış, konfor talepleri için klima, elektrikle ayarlanabilir koltuklar, cam tavan, ABS ve ASR eklenmiş ve bu gibi nedenlerle ağırlık artmıştır. Üretilen araçların gerekli yasal istekleri karşıladığını belgelemesi için homologasyon sertifikası alması gerekir. Avrupa Birliği zorunlu olarak taşıtlarda hava yastığı, emniyet kemeri, klima ve ABS gibi birçok sistemin bulunmasını ve tüm parçaların CE (Conformité Européene) belgeli olmasını istemektedir. Hava yastıkları olası kaza esnasında yolcunun kafasını çarpabileceği yerlere konulmaktadır. Taşıtlarda bulunan hava yastıkları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Aşkar 2018).



Şekil 2.4. Taşıtlarda kullanılan hava yastıkları (Aşkar 2018)

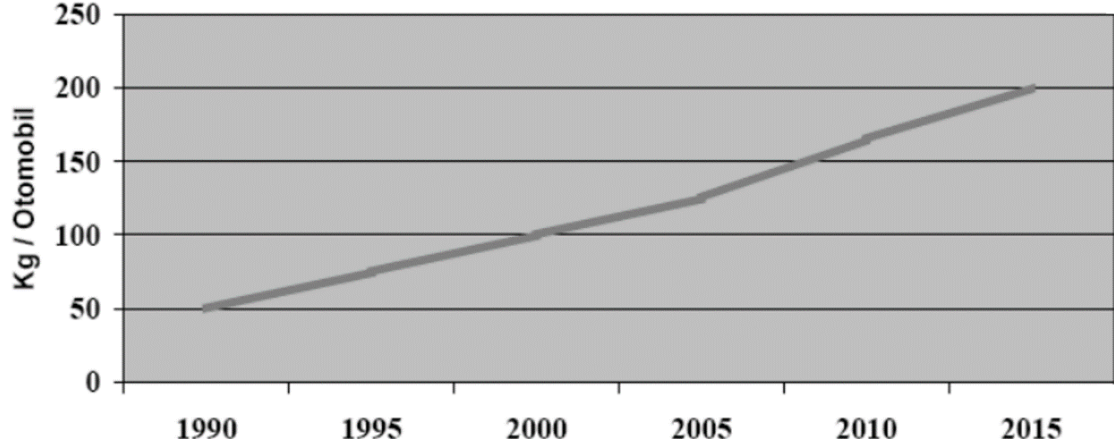
Araçlar IIHS (Insurance Institute for Highway Safety, Yol Güvenliği Sigorta Enstitüsü) ve Euro NCAP (European New Car Assessment Programme, Avrupa Yeni Otomobil Değerlendirme Programı) gibi kuruluşlar tarafından çarpışma testlerine tabi tutulmaktadır. Taşıtların Euro NCAP'ten 5 yıldız alması ve sürücü için %90 ve üstü koruma sağlaması için parça eklemeler, yeni parçalar, darbe sönümleyici kirişler, çarpışma önleyici ve takip mesafesi kontrolü için radar gibi yeni ürünler, özel yaşam kafesleri eklenmiştir. Özellikle taşıtların en korumasız yeri olan tavan ve yanlar güvenlik için dayanımlı olması istenmektedir. Konfor için motor gürültüsü ve rüzgârın araç içine girmesini engellemek için yalıtım yapılmıştır. Tasarımın merkezinde insanlar olduğu için koltuklar kişinin boyu, kilosuna uygun olarak ayarlanabilir ve ergonomik olması ve ısı konfor sağlaması sağlık açısından önemlidir. Koltuklar dayanıklı olduklarını kanıtlamak için FMVSS 209 - 210 ve ECE R14 emniyet kemer çekme testi ve ECE R80 statik itme testini geçmesi gerekmektedir. Antropometri, insan vücudu ölçüleri ile ilgilendir. Antropometrik ölçüler ırk, coğrafya, yaş, cinsiyet, beslenme, sağlık, spor ve sosyal konuma bağlı olarak her topluma has özelliklere sahiptir. Ülkemizde erkekler 1.74 cm, Bosna-Hersek'te 1.84 cm, Amerika'da 1.78, Japonya'da 1.72 cm, Endonezya'da 1.58 cm ortalama boy uzunluğuna sahiptir. Kadınlar ise yaklaşık olarak

erkeklerden 13 cm daha kısadır. Ergonomik çalışma şartlarını sağlamak için insan vücut ölçüleri ile oynanamadığı için insan makine uyumu için insan vücut ölçülerine uyumlu tasarımlar yapılması gerekmektedir. Bu nedenle tasarımlarda ölçü aralığı olarak %5 alt sınır ile %95 üst sınır arasındaki en az %90'ı kapsaması gerekmektedir. Farklı toplumlarda bulunan kişilerin aynı koltukta doğru oturuş pozisyonunda ergonomik oturuşu için koltuğun yükseklik, eğim, derinlik, baldır desteği, yan destekleri gibi 18 farklı oturuş pozisyonuna ayarlanabilir özellikte taşıtlar günümüzde bulunmaktadır. Ayrıca koltuklarda hava yastığı, masaj, ısıtma ve soğutma özellikleri de bulunmaktadır. Ayrıca emniyet kemerinin kontrolü için koltuklara ağırlık sensöründe takılmaktadır. Bu gibi özellikler koltuğun ağırlığını arttırmaktadır. Taşıtların bağımsız test şirketleri tarafından zorlayıcı testlere tabi tutulması daha hızlı ve ağır taşıtların daha güvenli olmasını sağlarken güvenlik talepleri ağırlık artışının ana nedenidir. 2011 yılında yapılan araştırmada yakıt tüketiminin %75'i ağırlıktan kaynaklanmaktadır (Anonim 2011a). Hareket eden taşıtın maruz kaldığı direnç kuvvetleri yakıt sarfiyatını arttırır. Hareket ve hava direncinden oluşan bu dirençler ağırlığın azaltılması ile azalır. Taşıt hareket halindeyken birçok kuvvetin etkisinde kalmaktadır. Hava direnci dışındaki tüm dirençlerde ağırlığın etkisi bulunmaktadır. Ağırlık azaltımı ile hacim küçülür böylece dolaylı olarak hava direncide ağırlık etkisi ile azalır. Sürtünme kuvveti taşıtı engellemeye çalışarak yavaşlatır. Sürtünme kuvvetini azaltmak için günümüzde taşıtlar yuvarlak hatlara sahip olup, ön camların eğimi arttırılmış, dikiz aynalar yuvarlatılmış, kapı kolları ve farlar gövdeye gömülerek hava akışı yönlendirilmeye çalışılmıştır. Bu sayede aerodinamik tasarımlar ile sürtünme katsayısı 0.22 cd'ye kadar düşürülebilmektedir. Ancak sürtünme direnci, yer çekimi ve ivmelenme direnci direk ağırlık etkisindedir. Ford Motor Company'nin 1994 yılında aynı model orta boy kırk araçta yaptığı toplam 310 kg'lık bir hafifletme, tüm araçlar için %8'e varan yakıt tasarrufu sağlamıştır (Hagen 2001).

Hafifletme yöntemi geleneksel çelik gibi ağır malzeme yerine alüminyum, titanyum, magnezyum, yüksek mukavemetli çelik, kompozit, plastik gibi hafif malzemelerin kullanılması ile sağlanır. Bu hafif malzemeler gelecek için büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Günümüzde mevcut taşıtlarda kullanılan çelikler yerine daha hafif malzeme ve tasarımsal değişiklikler ile birlikte taşıt ağırlığında büyük azalmalar

sağlanacaktır. Taşıtlarda alüminyum kullanımı kademeli olarak artmakta olup yıllara göre kullanım artışı aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir. 2030 yılında yaklaşık 250-300 kg alüminyum kullanımı olabileceği ön görülmektedir.

Çizelge 2.2. Yıllara göre alüminyum kullanımının artışı (Anonim 2006)



Otomotiv sektöründe günümüzde sac metal şekillendirme yeteneklerinin artması ile ağırlıklar azalımı artmıştır. Bu nedenle günümüzde taşıt parçaları daha hafif ve sağlam üretilmektedir. Hafifletmede kullanılacak alternatif malzemeler aşağıdaki çizelgede sunulmuştur (Anonim 2010).

Çizelge 2.3. Hafifletmede kullanılacak potansiyel malzemeler (Anonim 2010)

Hafif Malzeme	Yerine Gececeği Malzeme	Ağırlıktaki Azalma (%)	Parça Başına Göreceli Maliyet
Yüksek Alaşımli Çelik	Yumuşak Çelik	10	1
Alüminyum	Çelik, Dökme Demir	40-60	1,3-2
Magnezyum	Çelik veya Dökme Demir	60-75	1,5-2,5
Magnezyum	Alüminyum	25-35	1-1,5
Cam Fiber Takviyeli Polimer Kompozit	Çelik	25-35	1-1,5
Grafit Takviyeli Kompozit	Çelik	50-60	2-10+
Titanyum	Alaşımli Çelik	40-55	1,5-10+
Paslanmaz Çelik	Karbonlu Çelik	20-45	1,2-1,7

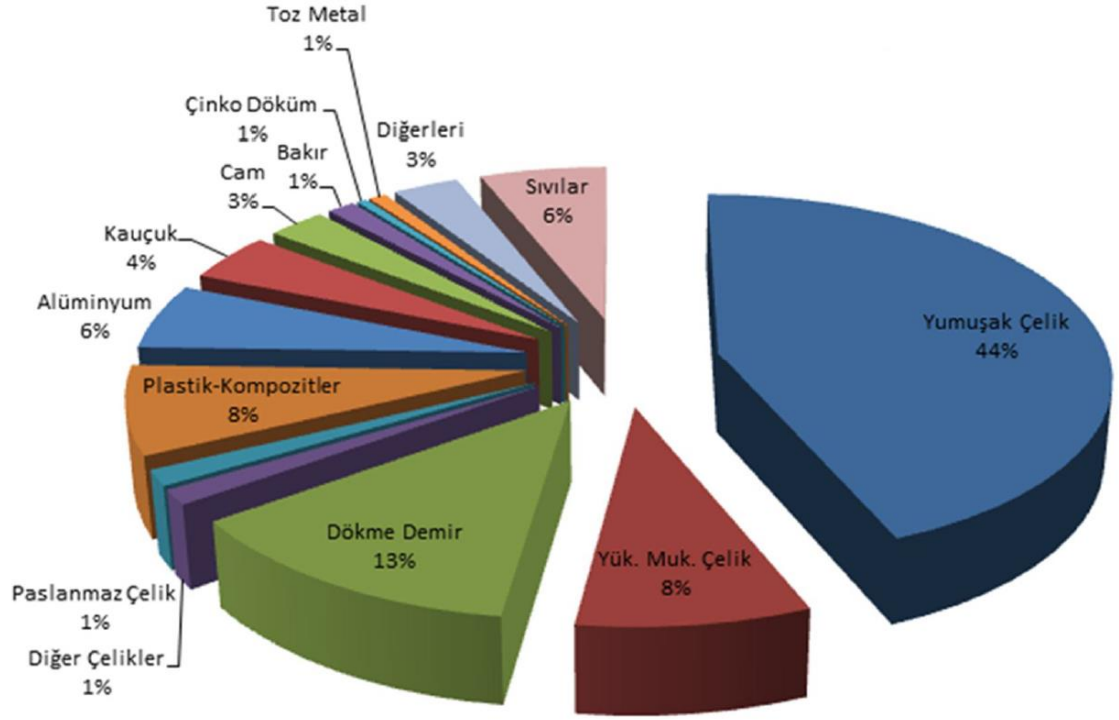
Taşıtlarda hafifletme kullanılan parçaların daha hafif malzemelerden üretilmesi ile mümkün olabilmektedir. Daha büyük oranlarda hafifletmenin sağlanabilmesi için parçaların tasarım aşamasında ele alınarak çeşitli teknikler ile dizayn edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada çeşitli bilgisayar destekli optimizasyon teknikleri

kullanılmaktadır. Benzin ve dizel motorlu araçların ağırlık azaltma çalışmaları hibrit ve elektrikli araçlar için daha fazla önem arz etmektedir. Otomotiv sanayinin geleceği otonom sürüş, elektrikleme, mobilite ve araç paylaşımı ile tamamen değişecektir. Otomobiller ulaşım aracı olmaktan çıkıp farklı teknolojiler ile akıllanacaktır. İçten yanmalı motorlara göre daha basit yapıda olması ve frenleme esnasında enerji depolayabilmesi ve çok daha verimli (yaklaşık 3 kat) çalışan elektrikli motorlar sayesinde taşıtlar daha iyi hızlanır ve daha sessizdir. Ancak içten yanmalı motorlu taşıtlara göre tam şarj ile gidilen mesafenin kısalığı, bataryaların enerji yoğunluğunun az olması, uzun şarj süresi, dolun istasyonlarının azlığı ve fiyatlarının yüksek olması elektrikli araçların yaygınlaşmasını engellemektedir. Avrupa Komisyonu araç sürüş alışkanlığı ile ilgili yaptığı araştırmada günlük ortalama sürüş mesafesi İngiltere’de 40 km, Almanya, İtalya ve Fransa’da 50-60 km, Polonya ve İspanya’da 70 km’den fazladır (Paşaoğlu ve ark 2012). Mevcut elektrikli araçlarda bulunan şarj ile haftalık sürüşler Avrupa ülkelerinde mümkündür. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 2018 yılına ilişkin yapılan istatistiklere göre ülkemizde otomobillerin yıllık ortalama 13.776 km yaptığı ve istatistiğe göre ortalama günlük olarak ülkemizdeki otomobillerin 38 km yol yaptığını göstermektedir. Avrupa ülkelerine nazaran daha fazla toplu taşıma kullanan ve otomobil sahipliği oranı daha az olan ülkemizde elektrikli araçlar tek şarj ile Avrupa Birliği ülkelerine nazaran daha fazla günlük kullanımı söz konusu olabilmektedir (Anonim 2020m). Elektrikli araçlar artan ağırlıkları dolayısı ile hafifletme için daha fazla alüminyum gibi hafif malzemeye ihtiyaç duyarlar. Elektrikli araçlar gücünü bataryadan alıp elektrik motoru yüksek torka ve çok iyi hızlanmaya sahiptir. Bu özellik aşağıdaki çizelgede yakıt maliyeti aynı olması halinde karşılaştırılmak üzere sunulmuştur (Anonim 2020i). Hibrit araçlar ise sürüş durumuna göre elektrik ya da benzin motorundan güç almakta ve frenleme enerjisi bataryaları şarj etmekte kullanılır. Yaklaşık olarak benzin ve dizel motorlu araçlar toplam 1300-1600 kg ağırlığında iken elektrikli araçlarda ek olarak 300-600 kg batarya bulunmaktadır. Hibrit modellerde ise batarya yaklaşık 44-120 kg’dır. Ticari araçlarda ise batarya 600-1500 kg’dır (Anonim 2019a).

Çizelge 2.4. Farklı motorlara sahip taşıtların teknik özellikleri (Anonim 2020i)

Özellikler	Elektrik Motoru	İçten Yanmalı Benzinli Motor	Hibrit Motor
Yakıt maliyeti	0,68	0,68	0,68
Yük (kg)	136	363	240
Motor gücü (HP)	30	70	72
Bir dolun mesafe	79,2	450,5	150,1
0-100 km/saat	21,3	19,5	17,2
0-400 m hızlanma	36,3	35,3	20,4
Taşıtlı maliyeti	5,18	3,50	5,52

Song ve ark. (2009) yaptığı çalışmada alüminyum, çelik ve kompozit malzemelerin denendiği 1 kg'lık cam fiber malzemenin 1,8 kg çelik ve 0,9 kg alüminyum ile aynı rijitlikte olduğu belirtilmiştir. Çelikler, kimyasal bileşim ve ısıl işlemler ile istenen mekanik özelliklere kavuşurlar. Yüksek mukavemet, tokluk, sertlik, aşınma direnci, kaplanabilme gibi özelliklere sahip olması ile birlikte dövülebilmekte ve işlenebilmektedir. Yüksek alaşımlı çelikler 550 Mpa akma dayanımı, 700 Mpa gerilme dayanımı ve üstü isteklere cevap verebilir. Geleneksel çeliklere göre %50 pahalı olmasına rağmen daha hafif ve daha ince olmaları nedeniyle uygulamalarda et kalınlığının azalımı ile %24 hafifletme yapılabilir (Yüce 2013). Malzeme seçiminde; güvenilirlik, performans, üretebilme ve maliyet etkilidir. Günümüzde alüminyum başta olmak üzere titanyum, magnezyum, seramik ve plastiklere rağmen çelikler taşıtta istenen farklı özelliklere cevap verebilmesi, iyi fiyat performansı ile yüksek oranda kullanılmaktadır. Mukavemetin artması ile birlikte çeliklerin şekillendirilmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle mukavemet ve işlenebilirlik birlikte ele alınarak malzeme seçilmelidir. Çelikler insan güvenliği için özellikle güvenlik kafesi, şasi, kapı, kapı kirişi, tavan ve gövde gibi taşıtlı iskeletinde güvenlik gerekçeleriyle bol miktarda kullanılmaktadır. Mayyas ve ark. (2012) taşıtlı oluşturulan malzemelerin ağırlıkça oranlarını aşağıdaki şekilde hazırlamışlardır.



Şekil 2.5. Taşıtı oluşturan malzemelerin ağırlıkça oranları (Mayyas ve ark. 2012)

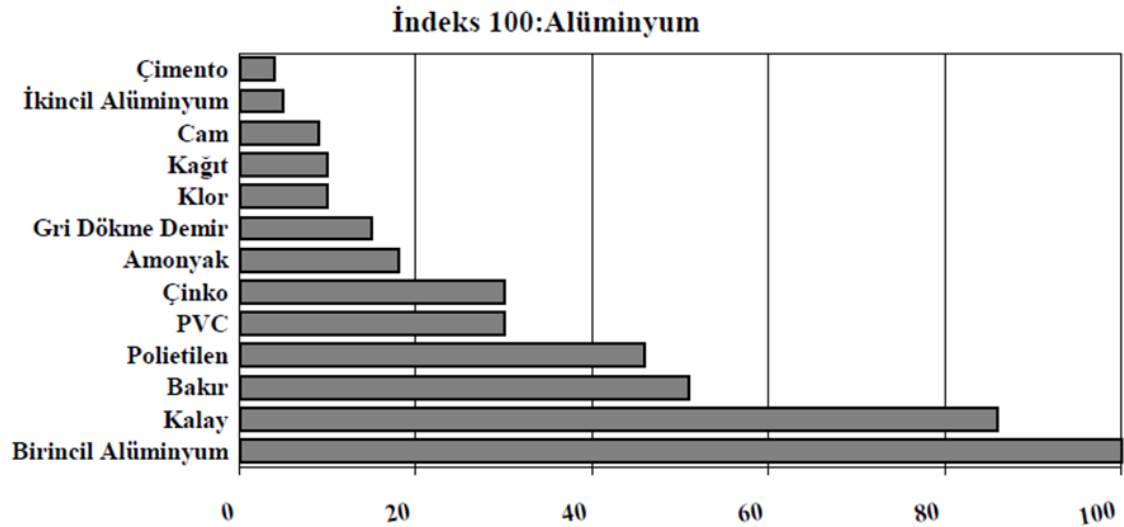
Çelik yaygın kullanımına rağmen alüminyuma karşı başta yüksek yoğunluğu nedeniyle günümüzde hafifletme amacıyla yerini alüminyuma bırakmaktadır. Taşıtlarda geçmişte yoğun çelik kullanımı yerini günümüzde alüminyum alaşımlarına bırakmıştır. Gelecekte ise yeni kullanım alanları ve yeni üretim yöntemleri ile yeni alaşım hafif alüminyumlara doğru kayması beklenmektedir. Değişik kompozisyon ve farklı ısıl işlem ve farklı birleşimler ile alüminyumlar geniş kullanım alanı bulmuştur. Alüminyum esaslı kompozitler ise paslanmaması, aşınma direnci, sertlik ve mukavemeti nedeniyle yüksek maliyetine rağmen kullanım alanı artmaktadır. Alternatif malzemeler kullanılarak üretilmiş parçaların sağladığı hafifletme oranları kullanılan malzemeye ve tasarıma bağlı olarak değişiklik gösterir. Örneğin plastik deformasyona karşı dirençli olması istenen bir parçada kullanılacak olan 1 kg alüminyum 3-4 kg çelik malzemenin yerini alabilir. Fakat sertlik parametresi ön planda olduğu bir parça için ise 1 kg alüminyum yaklaşık 2 kg'lık çelik malzemenin yerini alabilir. Örnek bir uygulamada çelik malzemedan yapılmış parça, alüminyum alaşımları kullanılarak %60 oranında hafifletilmiş olup, daha sonra bu parça tasarım optimizasyonu sayesinde %16 daha hafif hale gelmiştir (Anonim 2010).

2.1. Alüminyum

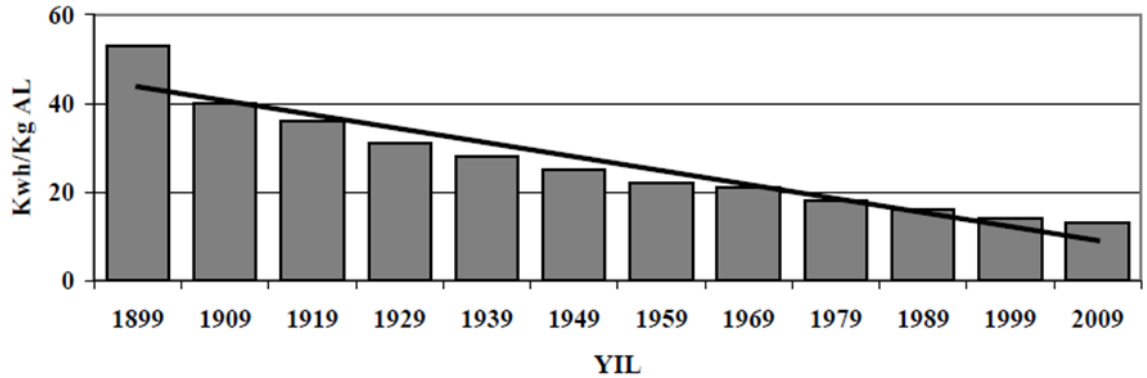
Periyodik cetvelin III A grubunda bulunan ve atom numarası 13, atom ağırlığı 26.89 g/mol olan +3 değerlikle gümüş renkte sünek bir element olan alüminyum başta oksijen olmak üzere elementlerle mukavemetli oksitler ve silikatlar yapabilir. Birleşik oluşturma istekleri nedeniyle doğada saf halde bulunmazlar ve ortamda bulunan oksijen ile oluşturduğu oksit tabaka deniz suyuna karşı sızdırmaz ve dirençlidir. Ergime noktası 659,8 °C, kaynama noktası 2450 °C olup alaşım elementleri katılarak büyük ölçüde özellikleri değiştirilebilmektedir. Alüminyum, yeryüzünün %8'ini oluşturmakta ve bazı metaller gibi doğada oksitlenmiş haldedir. Milattan önce kullanıma başlayan demir ve bakıra rağmen eldesi zor olduğu için genç alüminyum metali insanlık tarafından ticari kullanımı geç olmuştur. Genç alüminyum günümüzde demir çelikten sonra en fazla üretilen metal olmuştur. Alüminyumun ana hammaddesi yüksek tenörü nedeniyle genellikle boksittir. Boksit, alüminyum üretiminin yanında çimento, refrakter ve aşındırıcı sanayinde de kullanılmaktadır. Boksitte %30-60, kil minerallerde %20-30 oranında alümina (alüminyum oksit) bulunur. Gine, Avustralya, Vietnam, Jamaika ve Brezilya en büyük boksit rezervlerinin bulunduğu yerlerdir. Ülkemizde bulunan önemli boksit yatakları Toros kuşağında bulunmaktadır. Seydişehir'de bulunan ülkemizin tek birincil alüminyum tesisinde %56 Al_2O_3 tenörlü böhmitik tip boksit cevheri bulunmaktadır. Boksit madeni ilk olarak Fe_2O_3 ve SiO_2 'den arındırılmalıdır. Boksit madeni %90 oranında yüzeye yakın yerde bulunur ve açık madencilik yaygındır. Açık madencilik yapıldığı için kazı alanı daha sonra doldurulup ağaçlandırılabilir. Maden sahalarının yanına alüminyum tesisleri kurulur. İlk olarak boksit bayer metodu ile alümina (Al_2O_3)'ya dönüştürülür ardından alümina Hall-Herault metodu (elektroliz) ile saf alüminyum elde edilir. Yaklaşık 4 birim boksitten bayer metodu ile 2 birim alümina (alüminyum oksit) elde edilmekte, 2 birim alümina ise elektroliz ile 1 birim metal alüminyum elde edilmektedir. 1428 kg ağırlığındaki bir araç 5082 kg madene ihtiyaç duymakta olup 63 kg alüminyum için ise 254 kg boksit madenine ihtiyaç duyulmaktadır. Taşıt üretimi ciddi bir madencilik faaliyeti gerektirmektedir (Anonim 2004).

Madenden işlenerek üretilen birincil alüminyum üretiminde alüminadan alüminyum eldesinde kullanılan elektroliz işlemi sırasında çok fazla elektrik enerjisi kullanılır. Harcanan enerjinin %60-80 bu aşamada kullanılır. Ayrıca birincil alüminyum eldesinde enerji maliyeti toplam üretim maliyetinin %40'ıdır. Birincil alüminyum üretiminde harcanan elektrik nedeniyle çeliğe nazaran pahalı bir metaldir. Birincil alüminyumda harcanan enerji çelik üretiminde harcanan enerjinin 5 katıdır. Bu nedenle alüminyum eldesinde tüketilen enerji ilk başlarda 40 kwh/kg iken günümüzde 13 kwh/kg seviyelerine maliyet nedeniyle indirilmiştir. Özellikle alüminyum tesislerinde kullanılan enerji önem arz ettiği için genelde hidroelektrik santrallerinin yakınına kurulur. Bu açıdan bakarsak alüminyumun eldesinde kullanılan enerji yenilenebilir enerji olup en ucuz temin edilen enerji kaynağıdır. Birincil alüminyum üretimi temel alınarak diğer malzemelerin üretiminde harcanan enerji miktarları oranı aşağıdaki çizelgede sunulmuştur (Anonim 2006).

Çizelge 2.5. Malzemelerin enerji tüketim oranları (Anonim 2006)



Çizelge 2.6. Birincil alüminyum enerji tüketim eğilimi (Anonim 2006)



Alüminyuma çeşitli elementler katılarak mekanik özellikleri iyileştirilmektedir. Katılan bazı elementlerin ergime sıcaklığı alüminyumdan daha yüksek olduğu için bu elementler eritildikten sonra alüminyum eriyiği katılması gerekir. Alüminyuma eklenen elementler alüminyuma yeni özellikler kazandırarak yoğunluğu az miktarda artırırken mekanik özellikleri iyileştirmektedir. Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri saflığına, alaşım elementlerine, mikro yapısına ve imal yöntemine bağlı olarak değişir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur. Yeni kullanım alanları ve yeni elde edilen alaşımlar alüminyumu vazgeçilmez kılmaktadır. Alüminyum alaşımları üretim yöntemi olarak dövme ve döküm olarak iki ana gruba ayrılır.

Çizelge 2.7. Alüminyum alaşımları ticari sınıflandırması

Sınıflandırma	Dövme Alaşımı Temel Elementi	Döküm Alaşımı Temel Elementi
1XXX	Saf Alüminyum (>%99 Al)	Saf Alüminyum (>%99 Al)
2XXX	Bakır	Bakır
3XXX	Mangan	Silisyum ile Magnezyum veya Bakır
4XXX	Silisyum	Silisyum
5XXX	Magnezyum	Magnezyum
6XXX	Magnezyum ve Silisyum	-----
7XXX	Çinko	Çinko
8XXX	Lityum	Kalay
9XXX	-----	Diğer elementler

Alüminyum ve diğer çok kullanılan metallerin temel özellikleri aşağıdaki çizelgede sunulmuştur.

Çizelge 2.8. Alüminyumun diğer metaller ile karşılaştırılması

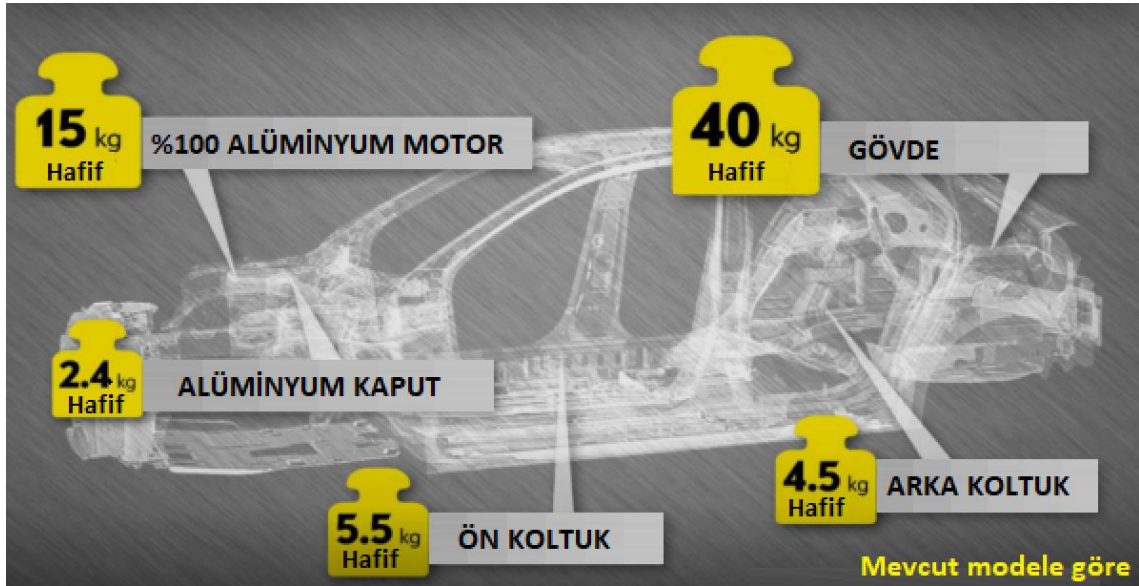
Özellik	Birim	Alüminyum	Magnezyum	Titanyum	Bakır	Demir
Yoğunluğu	g/cm ³	2.7	1,738	4,5	8,96	7,86
Elastisite Modülü	GPa	70	45	116	97-110	207
Ergime Sıcaklığı	°C	660.32	650	1668	1084,62	1538
Kaynama Sıcaklığı	°C	2519	1090	3287	2562	2861
Isı kapasitesi	J/(mol·K)	24,2	24.8	25.06	24,44	25,10
Isıl İletkenlik	W/(m.K)	237	156	21,4	401	80,4
Isıl Genleşme	µm/(m·K)	23,1	24.8	8.6	16,5	11,8
Çekme Dayanımı	MPa	49-700	135-285	250-985	231,38	459
Brinell Sertlik	Mpa	245	260	715	874	490

Alüminyumun günümüzde kullanımının artmasını sağlayan önemli özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikler tek başına ve diğer özellikleri ile beraber kullanılarak alüminyum yüzyılımızın stratejik metali olmuştur. Alüminyumun en önemli özellikleri aşağıda sunulmuştur.

2.1.1. Hafiflik

Hafiflik, alüminyumun en önemli özelliğidir. Alüminyumun yoğunluğu 2,70 gr/cm³ iken çeliğin yoğunluğu 7,8 gr/cm³'tür. Aynı hacimde çelikten 3,5 kat daha hafif olması alüminyumu hafiflik istenen durumlarda vazgeçilmez kılmaktadır. Böylece %65'lik ağırlık azalımı başarılır. Hafif üretilen araçlar daha az enerji tüketir, daha hafiftir ve iyi manevra özelliğine sahiptir. Tek parça olarak taşınamayan parçalar alüminyumdan imal edilerek taşınabilir hale gelmektedir. Çeliğin yerine ikame edilen alüminyum gerekli mukavemet değerlerini sağlayabilmek için daha kalın imal edilmektedir. Genel olarak kalınlık 1,5-1,8 katı artar. 10 mm kalınlığındaki çeliğin yerine 15-18 mm kalınlığındaki alüminyum kullanılarak %50 oranında hafifletme sağlanır. Alüminyum alaşımları yapısal özelliklerden taviz vermeden bizlere büyük oranda hafifletme imkânı sunmaktadır. Mukavemetleri eşit olmak koşuluyla alüminyum malzemenin standart çelik malzemenin %60, yüksek alaşımlı çelikten ise %40 oranında daha hafiftir. Eşit sertlik değerinde yine aynı malzemeler karşılaştığında alüminyumun çelik malzemelere

göre %45 daha hafif olduğu gözlenmiştir. Alüminyum en fazla ulaşım alanında olmak üzere ambalaj, inşaat, makine ve elektrik alanında kullanılmaktadır. Parçaları alüminyumdan yapılmış bir taşıtın geleneksel çelik yapıli taşıda göre yaklaşık olarak %24 daha hafif olabileceği belirtilmektedir. Bu hafifletme ise 100 km'lik bir yolculuk için 2 litre yakıt tasarrufu demektir. Jaguar firması üretmiş olduğu bir modelinde monokok (monocoque) alüminyum şase yapısı sayesinde 150 kg'lık bir hafifletme sağlamıştır. General Motors araçlarında ortalama 166 kg, Honda ise araç ağırlığının yaklaşık %10'u oranında alüminyum alaşım kullanmaktadır (Anonim 2011b). Alüminyum, demir-çelikten 3 kat daha hafif olması ile 1400 kg ağırlığındaki araçta iyi alüminyum kullanımı ile 300 kg hafifletme yapılabilir ve yapılan %10 ağırlık azalımı %5-10 oranında yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Sağlanan hafifletme ile araçların ağırlık merkezi yere yaklaşır, devrilmesi ve savrulması engellenir ve araçlar daha güçlü ve hızlı olabilmektedir. Ağırlık merkezinin taşıtın ortasında ve yere yakın olması, dört tekerlekten çekiş ve elektronik stabilite sistemi (ESP) devrilme gibi istenmeyen durumlar için tasarımcıların başvurduğu yöntemlerdir. 6. nesil Opel Corsa modelinde alüminyum kullanılarak motorlarda 15 kg, koltuklarda 10 kg gibi hafifletme yapılarak önceki nesle göre 108 kg hafifleyerek toplamda %10 hafiflemiştir (Soysal 2019).



Şekil 2.6. Opel Corsa modelinin hafifletilmesi (Soysal 2019)

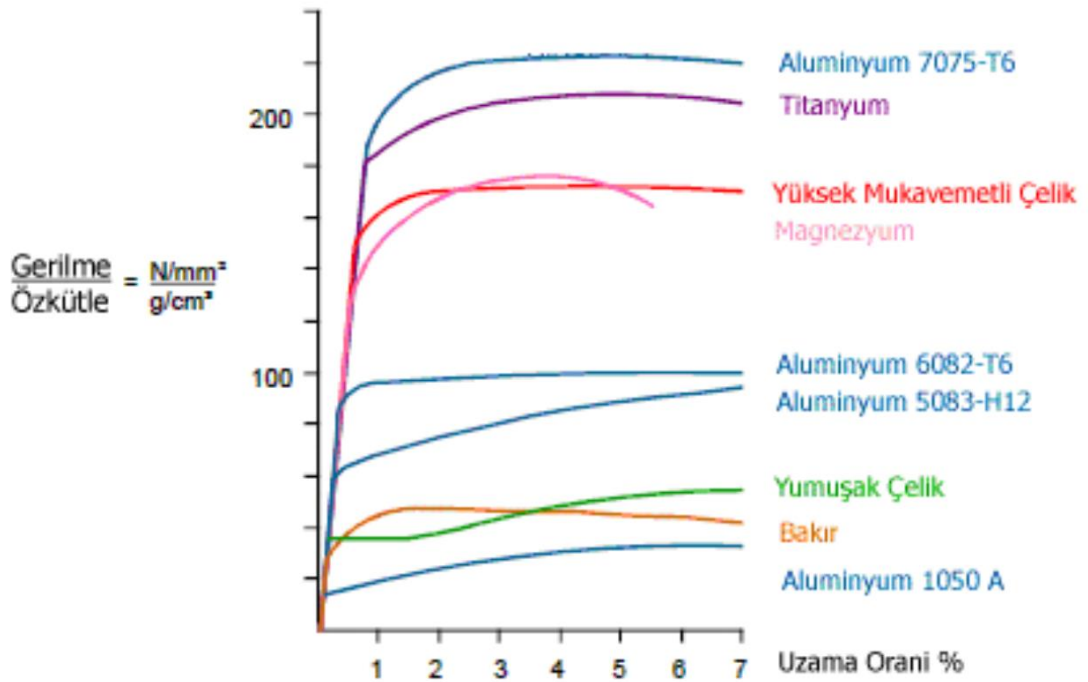
2.1.2. Mukavemet ve dayanıklılık

Alüminyum saf halde sünek malzeme olup alaşımları saf halinin 15 katı daha mukavemetli olabilmektedir. Brinell Sertliği saf halde 20 iken alaşımlarında 175'e çıkmaktadır. Yüzey sertliği eloksal ile daha da iyileştirilebilir. Alüminyum sıcak, soğuk ve UV ışınlarından etkilenmez. Malzemelerin mukavemeti, bileşim ve iç yapısı değiştirilerek arttırılabilir. Saf alüminyumun çekme dayanımı yaklaşık 49 MPa iken 7029 alaşımın çekme mukavemeti 430 MPa, bazı alaşımlar ısıtılma işlemleriyle çekme dayanımı 700 MPa'a çıkarılabilmektedir. Saf halde taşıtlarda kullanılmaya uygun olmayan alüminyum alaşımlandırılarak taşıtlarda kullanılan çeliklerden daha iyi mukavemet değerleri sunmaktadır (Yıldırım 2006).

2.1.3. Yüksek mukavemet-ağırlık oranı

Uçak imalinde ilk olarak ahşap kullanımı yerini demir çeliğe bırakmıştır. Demir çeliğin yüksek yoğunluğu uçakları sınırladığı için yeni arayışlar içine girilmiştir. Alüminyum II. Dünya Savaşı ortamında uçaklarda düşük yoğunluğu nedeniyle yoğun olarak kullanılmak istenmiştir. Ham maddeden alüminyum üretimi özellikle II. Dünya Savaşı'ndan itibaren artmakta olup demir-çelik metaller hariç en fazla kullanılan metal olmuştur. 1973 yılında yaşanan petrol krizinin ardından hafif otomobil üretimi artınca alüminyum, hızla çelik ve dökme demirin yerini almaya başlamıştır. Yeni kullanıma giren bir metal olarak alüminyum hafifliği, mukavemet-ağırlık oranının yüksekliği, korozyon dayanıklılığı, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği gibi özellikleri demir ve çeliğin yerine kullanılmasını sağlamıştır. Yüksek mukavemetli çelikler en yüksek mukavemete sahiptir. Akma dayanımları özkütlelerine bölündüğünde en iyi değer 7075 seri alüminyumda olduğu aşağıdaki şekilde görülmektedir (Cobden 2019). Alüminyumun 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. Alüminyumun yüksek mukavemet-ağırlık oranı sayesinde uçaklar daha küçük motorlar ile uzun mesafeler uçabilmektedir. Alüminyum, hafifliğin yanı sıra sağlamlığı, özellikle esneyebilmesi uçakların ve dolayısı ile havacılık sektörünün

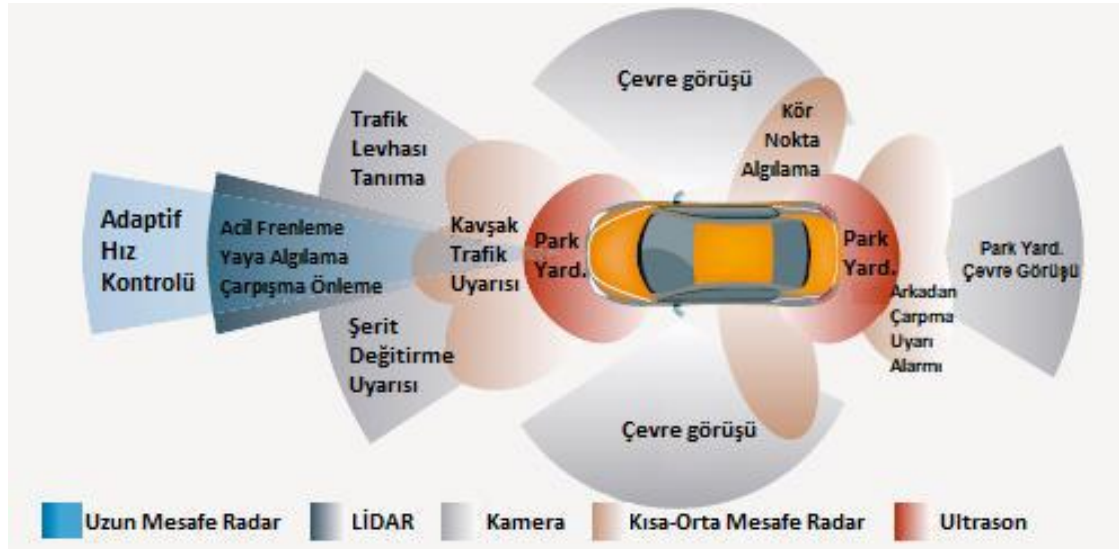
gelişmesine en büyük katkıyı sağlamıştır. Günümüzde uçakların %80'i alüminyum alaşımlarından oluşmaktadır (Ashley 1994). Su ve korozyona karşı dayanımlı duralüminyum (alüminyum-bakır) alaşımı kullanımı sonrası gelecekte en önemli uçak malzemesi alüminyum-lityum alaşımlarının olması beklenmektedir. Alüminyuma ilave edilen lityum düşük yoğunluğu sayesinde hem yoğunluğu azaltır hem de elastisiteliği artırır. Alüminyum lityum alaşımları lityumun en hafif metal olması ile düşük yoğunluğu, yüksek mukavemeti, tokluğu ve yorulma (aşınma) direnci özelliklerini %30'un üstünde artırması nedeniyle yakıt tankı ve roketlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Yaklaşık %2 lityum içeriğiyle alüminyum-lityum alaşımları ile uçakların %20 hafiflemesi mümkündür. Bu nedenle kompozitlerin yerini alabilecek kapasitededir. Uçaklar hafif olduğunda daha hızlı ve daha uzak mesafede uçarlar ve yük kapasitesi artar. Alüminyum, aynı avantajları daha fazla performans ve yüksek yakıt verimi isteyen otomotiv tasarımcıları içinde sunmaktadır (Alan 2008). Uzay havacılık ve yarış pistleri için sunulan yüksek maliyetli teknolojiler zamanla üretim maliyetinin azalmasıyla otomotiv sanayinde de kullanılmaya başlamıştır.



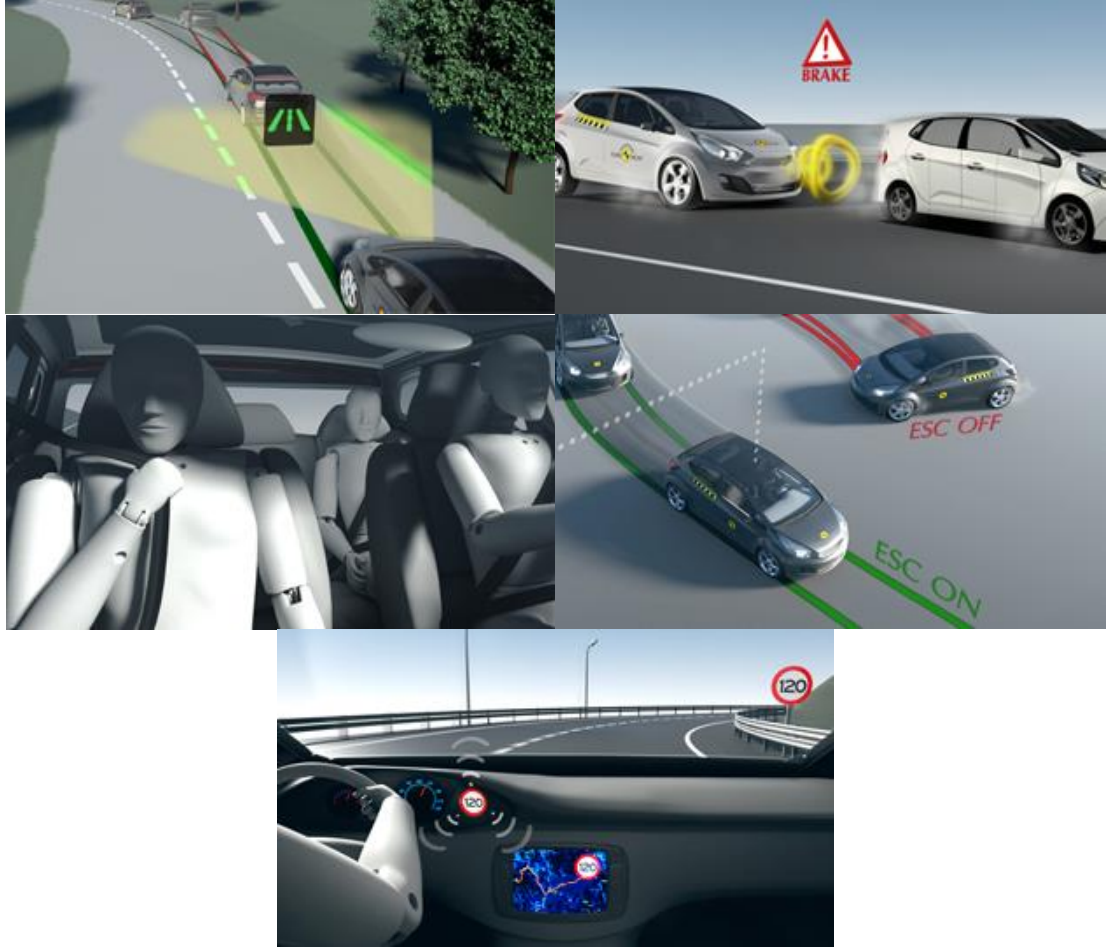
Şekil 2.7. Alüminyumun diğer metal ve metal alaşımlarla özkütle temelli mukavemet karşılaştırılması (Cobden 2019)

2.1.4. Esneklik

Her yıl trafik kazalarında milyonlarca kişi ölmekte ve yaralanmaktadır. Bu kazaları önlemek için aktif ve pasif koruma sistemleri bulunmaktadır. Aktif koruma sistemi şerit takip sistemi, öndeki aracı izleyip fren desteği sunan sistemler, park sensörleri, ABS, TCS, ESP gibi sistemlerdir. Trafik yoğunluğu ve ani fren yapmak sürücülerde stres kaynağı olduğu için bu sistemler sürücüyü rahatlatmaktadır. Günümüzde telefon ile görüşmeler, mesaj yazma sürücünün gözünü yoldan almasına sebep olup kaza oluşumuna sebebiyet vermektedir. Sürüşe yardımcı olan sistemler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Kadayıfçı 2007 ve Anonim 2020j).



Şekil 2.8. Sürücüye yardımcı olan sistemler (Kadayıfçı 2007)



Şekil 2.9. Güvenlik asistanları (Anonim 2020j)

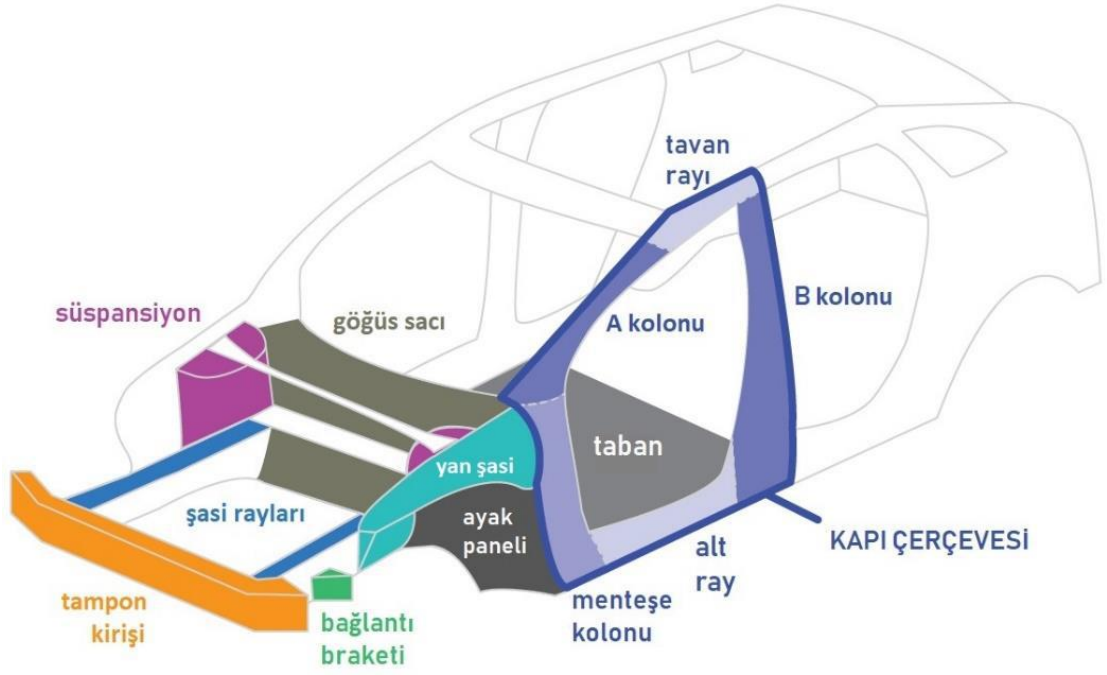
Aktif koruma sistemleri kazanın olmasını engellerken pasif koruma sistemleri ise kazada yolcunun ölümü ve yaralanmasını engellemek üzere taşıdın tasarımı, malzeme seçimi ile başta şasi olmak üzere yolcunun hayatını korumayı sağlayan sistemlerdir. Pasif koruma sistemi hava yastıkları, aktif gergili emniyet kemerleri, koltuk kafalıkları, darbelere dayanımlı yakıt deposu, ezilebilen tamponlar, yangın tüpü, ilk yardım seti, güçlendirilmiş gövde ve şasedir. Şasenin rijitliği sürüş konforunu arttırırken aynı zamanda olası çarpmalarda enerjinin şase tarafından emilmemesi halinde taşıt içindeki yolcu ciddi şekilde gelen enerjiye tepki vererek yolcunun ölümü ve yaralanması söz konusu olabilir. Gövde ve şasede yolcu güvenliği için bazı bölgelerin deforme olması istenirken bazı bölgelerin deforme olması asla istenmez. Bu sayede kaza nedeniyle oluşan tepki kuvveti insanda hasara neden olması engellenerek hasarın istenen parçalarda olması sağlanır. Ölümlerde kazanın etkisiyle ön ve arka kabine kadar gelen darbeler önemli bir sorundur. Bu nedenle araçta bulunan koruyucular gelen darbeyi emebilmeli

ve kabine ulaşmasını engellemelidir. Otomobil üreticilerini daha güvenli araç üretmeye teşvik ederek insan ölümlerini en aza indirmeye katkı sağlamak için 1996 yılında Avrupa’da kurulan Euro NCAP çarpışma testine soktuğu araçlara 5 yıldız üzerinden başarı puanı vermektedir. Önden çarpmalarda çarpışma anındaki 64 km/h hız ile çarpışma testleri yapılmaktadır. Bu testlerde önden çarpma durumunda araç içi yolcuu korumak için taşıtların ön ve arka kısımda alüminyum darbe sönümleyici kullanılabilir. Aşağıda 2015 yılında yapılan testte yetişkin yolcu korumada 100 üzerinden 97 puan alan 5 yıldızlı araç görülmektedir (Anonim 2019b).



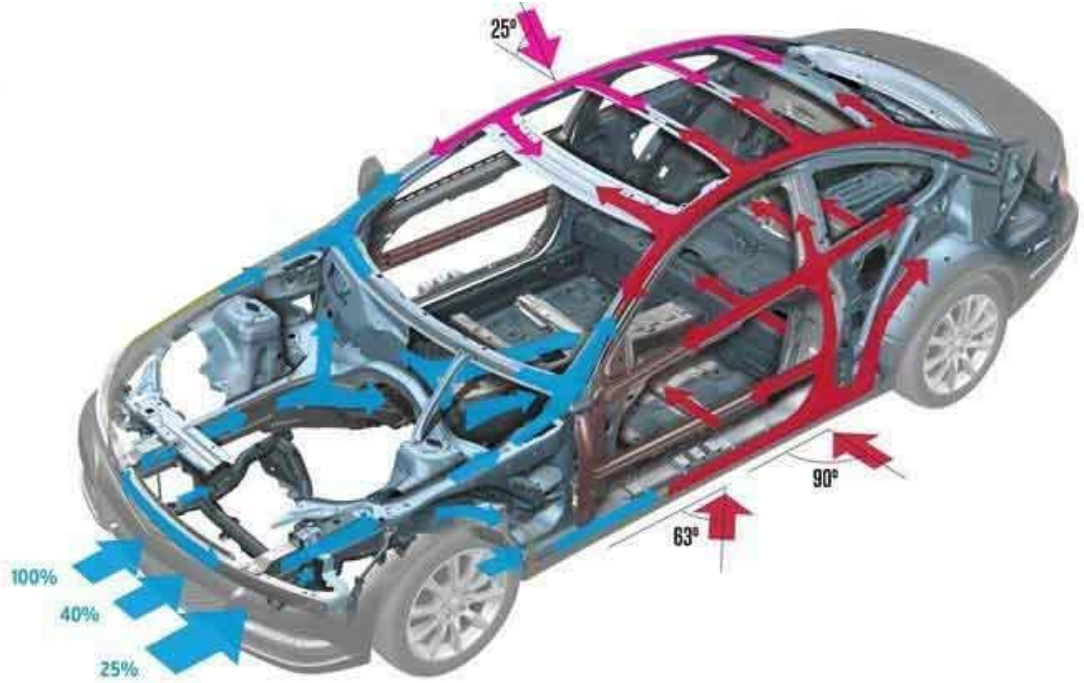
Şekil 2.10. Euro NCAP tarafından yapılan çarpışma testinde 5 yıldız alan bir araç (Anonim 2019b)

Alüminyumun yüksek mukavemet ağırlık oranı nedeniyle çelikle kıyaslanırsa aynı darbe enerjisi daha az ağırlıkla ile karşılayabilmektedir. Üreticiler alüminyumun darbeyi akordiyon gibi katlanarak emme ve hızla gelen kinetik enerjisi absorbe etme özelliğinden yararlanmışlardır. Gelen çarpma enerjisi parçaların yerleşimi, mekanik özellikleri, kuvvetlerin akışı ile tasarımcılar tarafından yönlendirilmiştir. Karayollarında meydana gelen kazaların çoğu olan önden çarpmalarda bu enerjisi alması için ön tampon, çarpma kutusu ve ana ray bulunmaktadır. Taşıt iskeleti ön kısmı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Aşkar 2018).



Şekil 2.11. Taşıt iskeleti yapı elemanları (Aşkar 2018)

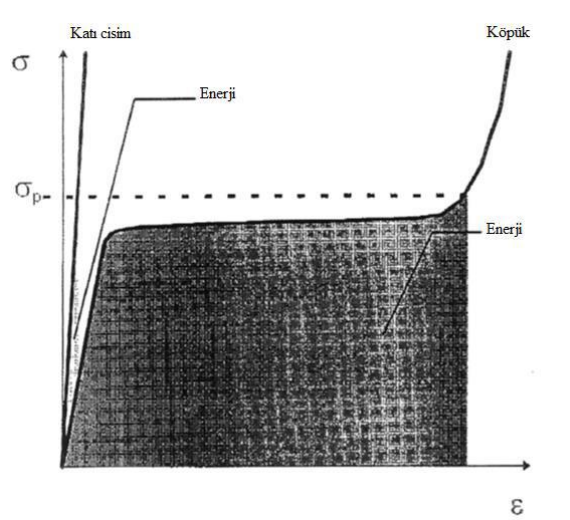
Kaza anında oluşan enerji, yolcu kafesi içindeki yolculara zarar vermemesi için araçta ezilerek bu enerjiyi yutan malzemeler bulunur. Ezilen bu malzemeler girintili yapıları sayesinde bükülmeye başlayarak enerjiyi emme görevini yerine getirirler. Aşağıda gelen çarpma enerjisini yönlendirmek için yapılan yönlendirmeler görülmektedir (Anonim 2020b).



Şekil 2.12. Kaza esnasında gelen enerjinin yolcu kabine zarar vermemesi için yapılan yönlendirmeler (Anonim 2020b)

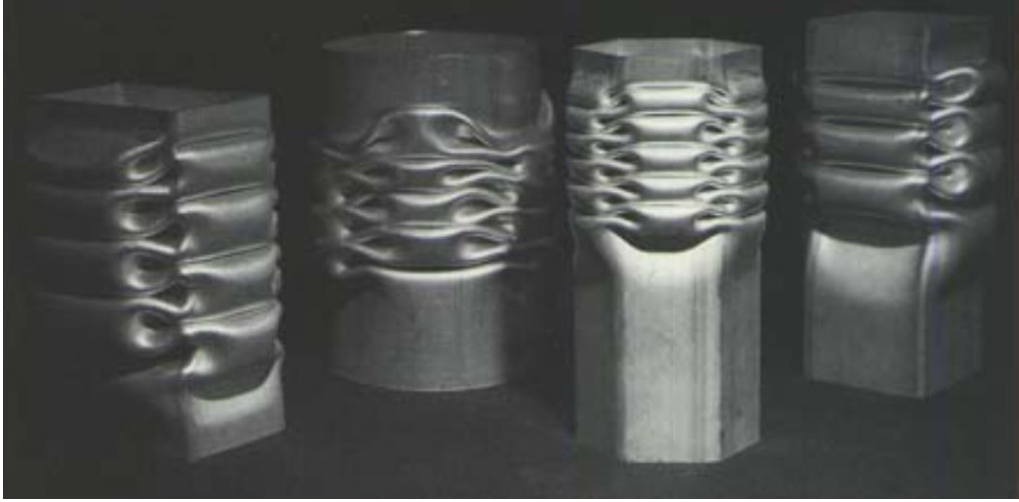
Yüzey merkezli kübik kristal özelliği sayesinde boyunun 400 katına kadar esneyebilen ve 5-6 mikron kalınlığında folyo olarak üretilebilecek esnekliğe sahip alüminyum aynı şekilde darbe sönümleyici olma konusunda da iyi bir mekanik özelliklerle en önemli adaydır. Çarpışma testlerinde hasarlanacak araçlar gerektiği için tasarımcılar bilgisayar ortamında çarpışma simülasyonu da yaparak daha hızlı ve ucuz bir şekilde sonuçlara ulaşabilmektedir. Alüminyum elastik ve şok absorbe edebilme özelliğine sahiptir. Enerjiyi kontrollü absorbe edebilmek için malzeme üzerinde bazı takviye ve delikler bulunabilmektedir. Darbe sönümleyici olarak 2-3 mm kalınlığında 5xxx serisi alaşımlar uygundur. Aynı dayanımda bulunan çelik ve alüminyum malzeme kıyaslanırsa hasar oluşuncaya kadar alüminyum çeliğin 3 katı daha fazla enerji emer (Yıldırım 2006). Gelişen teknoloji ile birlikte kullanıma giren alüminyum esaslı kompozit malzemeler yüksek maliyetine rağmen aşınma direnci, mukavemeti ve sertliği ile kullanılmaya başlanmıştır. Alüminyumdan imal edilen sandviç paneller bal peteği kompozit malzemelerine göre daha yüksek enerji sönümlene kapasitesine sahip olup ayrıca ucuz ve alternatiftir. Tahta ve kemiğin gözenekli oluşu nedeniyle bunlardan esinlenilerek üretilen alüminyum köpükler, yalıtkanlığı, enerji emmesi, darbe sönümlenmesi, tokluğu, iyi akustik özelliği, yanmama özelliği, geri dönüşebilirliği, titreşim azaltma özelliği,

hafifliği (düşük yoğunluğu) ile kompozit malzemelerin ve günümüz mühendislik malzemelerinin yetersiz kaldığı yerlerde kullanılabilir. Alüminyum köpüklü sandviç paneller %400 genişleme ve %80 gözenekli olması nedeniyle çelik panellere göre 8 kat sağlam ve %25 daha hafiftir. Alüminyum köpükler, alüminyuma göre daha fazla enerji emebilir ve daha fazla plastik deformasyon enerjisine sahiptir. Alüminyum metal tozları ve köpürtücü olarak genelde TiH₂ (metal hidrit) tozu ile homojen karışımı ile metal köpükleri üretilip %84–95 oranında gözenek ve 5 mm boyutlarında hücreler elde edilebilmektedir (Yavuz ve ark. 2009). Köpüklerin yoğunluğu azaltılarak daha fazla deforme olması sağlanabilir. Ahmad ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada 0,5 ile 0,7 g/cm³ yoğunluktaki alüminyum köpüklerin çarpışma kutularında enerji emme kapasitesinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bu köpüklerde %95 oranına varan gözenek (hava) olması hafifliğin ana sebebidir. Alüminyumun enerji emme kapasitesi kapalı hücreli alüminyum köpük ile daha da artırılabilir. Alüminyum köpükler araçlarda kapı ve taban kaplamalarında, profillerin içinde dolgu malzemesi olarak, ön ve arka çarpışma kutularında, tamponlarda dolgu olarak, ses yalıtımlarında ve zırh levhalarında bulunmaktadır. Köpük malzemeler katı hale göre daha iyi hafifliğin yanında yalıtım, esneklik, titreşim sönümlenme sunduğu için günümüzde tüm ulaşım yollarında kullanılmaktadır. Köpük malzemeler, katı elastik malzemelere kıyasla daha iyi enerji emebilme özelliğine sahip olup karşılaştırma aşağıdaki şekilde sunulmuştur (Grilec ve ark. 2010).



Şekil 2.13. Bir köpük ve yoğun bir katı madde ile enerji emilimi karşılaştırılması (Grilec ve ark. 2010)

Alüminyum sandviç paneller yoğun titreşim ve dinamik yük altında çalışan durumlarda enerji emme potansiyeli ve yüksek dayanımı ile helikopter kuyruk çubuklarında kullanılmaktadır. Alüminyum köpüklü sandviçler darbe sönümlemenin yanı sıra gürültü kontrolü içinde iyi bir seçimdir. Ayrıca havanın iyi bir izolasyon malzemesi olması sayesinde hava içine hapsedilmiş köpükler ses ve ısı yalıtımı sağlamaktadır.



Şekil 2.14. Farklı alüminyum ekstrüzyon kesitlerin aksenal çarpma testi sonuçları (Anonim 1998)

Üreticiler, ürettikleri araçları teknolojinin gelişimi, müşteri istekleri ve edinilen tecrübe ile belirli aralıklarda büyük değişime sokmaktadır. Üretilen her yeni nesil taşıt daha iyi özellikler sunmak üzere pazara çıkmaktadır. Aşağıda üretilen aracın düz duvara çarpma testi fotoğraflarına baktığımızda ilk araçta çarpma etkisiyle deformasyon yaşam alanına kadar ilerlemiş ve sürücü ve yolcunun yaralanma ve ölüm riski olduğu görülmektedir. Son fotoğrafta yapılan iyileştirme ve teknoloji ile çarpma etkisi yaşam kafesine kadar ulaşamamış ve sürücü ve yolcunun korunması sağlanmıştır. Bu özellikle malzeme davranışlarının iyi şekilde anlaşılması ve uyulması gereken yasal zorunluluklar sayesinde gerçekleşmiştir.



Şekil 2.15. Düz duvara çarpma testinde taşıtın 3 farklı neslinin davranışı (Anonim 2020)

2.1.5. Korozyon dayanımı

Korozyon metallerin en büyük sorunu olup dikkat etmek gerekir. Korozyon nedeniyle metaller kullanılmaz duruma geldiği için çeşitli kaplama ve boyama gibi ek maliyetler ortaya çıkmaktadır. Saf alüminyum atmosferde %21 oranında bulunan oksijen ile birleşerek 1-2 mikron kalınlığında pasivasyon özelliği ile alüminyum oksit tabakası oluşturur ve bu tabaka üstün korozyon dayanımının ana sebebidir. Korozyon kimyasal bir tepkimedir. Asıl önemli hayati durum ise korozyonun malzeme ve çevresine bıraktığı fiziksel, kimyasal ve diğer özellik kayıplarıdır. Alüminyum oksit tabakası kararlı durumda dış koruyucu tabaka oluşturduğu için demirdeki pas gibi yüzeyden sıyrılmaz ve kaybolmaz aksine sıyrılmaya olduğunda hemen oksijen ile birleşerek tekrar oksit tabaka oluşturur. Demir çelikler pas karşı boyanması halinde boyanın kalkması gibi durumlar meydana gelebilir ve kaplamalarda ise hasar halinde alüminyum gibi oksitlenmediği için paslanma yüzeysel ve çukur şeklinde ilerleme yapar. Demir çelikler çözüm olarak uzun ömürlü en iyi koruma sağlama amacıyla sıcak daldırma galvaniz ile pas karşı korunması için kaplanır. Bu nedenle taşıtlarda, gemilerde ve kimya sanayiinde atmosfer ortamı, su, petrokimyasal gibi ortamlarda uzun malzeme ömrü nedeniyle alüminyum sıklıkla kullanılmaktadır. Saf halde iyi korozyon dayanımı göstermesine rağmen kötü mekanik özellikleri bulunan alüminyum alaşımlandırmak için eklenen bakır (Cu), magnezyum (Mg), çinko (Zn), krom (Cr), mangan (Mn) korozyon özelliğini azaltır. Özellikle bakır içeren alaşımların korozyon dayanımı oldukça düşüktür. Ayrıca sülfürik asit, civa, klorürler ve diğer halojenler bu oksit tabakayı deldiği için dikkat etmek gerekir. Alüminyum alaşımlarının korozyona maruz kaldığı ortamlar; klorürler, NaCl-H₂O₂ çözeltileri, nemli ortamlar, deniz suyu, hava ve su buharı ortamlarıdır. Alüminyum, doğal oksit tabakaya sahip olduğu için çeliğin ihtiyaç duyduğu boya, kaplama ve galvaniz gibi uygulamalara gerek yoktur. Özel uygulamalar için alüminyum eloksal kaplama ile 1-2 mikron oksit tabakası 10-25 mikrona kadar çıkarılabilir. Ayrıca elektrolite renkli boya eklenerek alüminyumlar renklendirilebilir. Aşınma dikkat edilmesi gereken önemli bir konu olarak çok büyük tehlikelere, arızalara ve maliyetlere yol açabilir. Kaplama yapılmasının asıl sebebi korozyon direncini arttırmak olmasının yanında sürtünme katsayısını azaltma ve aşınmış yüzeyi eski haline döndürme ve estetik nedenlerle de yapılır. Kaplama

sayesinde asıl malzeme nemden, havadan ve korozyondan koruyucu tabaka tarafından korunur. Malzeme özellikleri kullanım için engel teşkil etmemelidir. Yüksek sıcaklıkta iyi mekanik özellik göstermeyen malzeme soğutmalı yapılabilir, aşınan malzeme özel kaplama teknikleriyle iyi korozyon dayanımı sağlayabilir. %99,99 oranında saflıkta üretilen alüminyum yumuşak, kolay işlenebilir, iyi ısı ve elektrik iletkenliğinde, korozyon dayanımı oldukça yüksektir. Alaşımli alüminyumlar iyi korozyon direncine sahip olmadıkları için saf alüminyum dışını saracak şekilde giydirilip ısıl işleme tabi tutulabilmektedir. Uçak kanatlarında kullanılan AA 7075 alaşımına saf alüminyum giydirilip uçak kanadı olarak da kullanılmaktadır. Uçak endüstrisindeki bazı parçaların üzerinde yapılan alüminyum kaplamanın yüksek sıcaklık korozyonuna karşı daha yüksek dayanım sağladığı çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır (Awan ve ark. 2008).

Zehirli olmaması, hava, su, buhar ve mikroorganizmaları geçirmemesi, mor ötesi ve ultraviyole ışınları geçirmemesi, sıcak ve soğuğu karşı kararlılığı, içerisinde manyetik malzeme olmaması nedeniyle mıknatıslanmaması, homojen yapısı, kolay şekillendirilebilmesi, toksik olmaması (antitoksik) ve iyi korozyon direnci gıda ve ilaç sanayinde kullanılmasını sağlamıştır. Gıda ile temasa uygun olması, bakteri toplaması nedeniyle alüminyum folyolu gıdalar sıklıkla kullanılmakta ve fırınlarda ısıtılabilir. Alüminyum kan durdurucu ve kan büzücü olarak da kullanılmaktadır. İzolasyon sağladığı için yangın perdesi, yangına dayanıklı kapı uygulamalarında kullanılmaktadır. Ayrıca katı halde yanmaz özellikte olan alüminyum mikro parça haline getirilerek yüksek enerji açığa çıkararak roketlerde yakıt olarak kullanılır (Anonim 2006).

2.1.6. Geri dönüşebilir olması

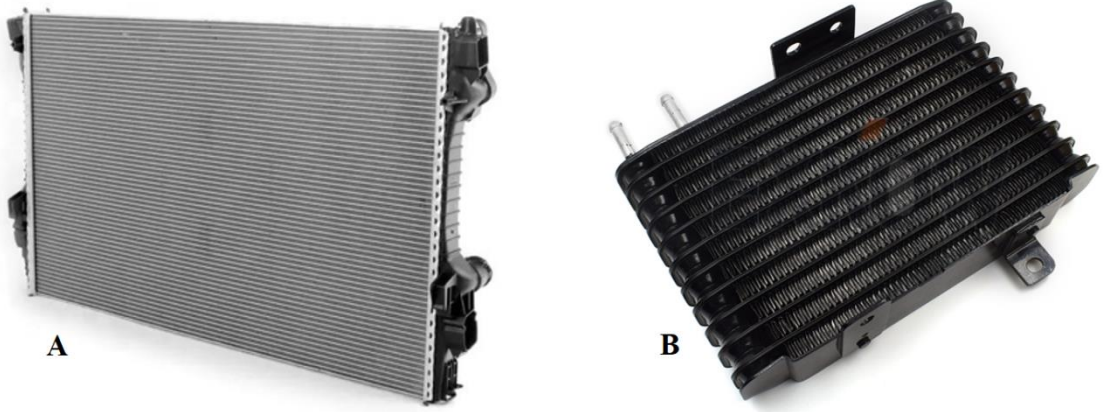
Alüminyum üretiminde çok fazla enerji harcanması nedeniyle diğer metallere nazaran pahalıdır. Taşıtlarda kullanılan alüminyum yüksek oranda geri dönüştürülebilir. Hurda alüminyumdan üretilen ikincil alüminyuma harcanan enerji birincil alüminyuma harcanan enerjiden 20 kat daha azdır. Birincil alüminyum üretiminde enerji maliyeti öncelikli iken ikincil alüminyum üretiminde hurda alüminyumun kalitesi ve toplanması önceliklidir. Alüminyum geri dönüşümü ile daha çevreci olmaktadır. Hurda alüminyum hiçbir mekanik özelliğini kaybetmeden defalarca kullanılabilmesi, daha az enerji harcaması ve sağladığı yakıt tasarrufu ile çeliğe göre yüksek olan fiyatını kabul edilebilir hale getirir. Alüminyumun uzay ve havacılık sanayinde kullanımı ile 21. yüzyılın stratejik metali olarak görülmesi, hurda alüminyuma kolay erişilebilmesi ve iyi mekanik özellikleri nedeniyle üretimi kademeli olarak artmaktadır. İçecek kutuları genelde alüminyumdan yapılır. İçecek kutularının alüminyumdan yapılma sebebi hafif olması, darbelere dayanımı, mukavemeti, iyi soğutması ve geri dönüşebilmesidir. Hurda alüminyum arzı için içecek kutuları en büyük rezervdir. ABD’de ikincil alüminyumun ana kaynağı içecek kutularıdır (Eroğlu ve Şahiner 2018).

Dünya yıllık otomotiv üretimi yaklaşık 100 milyon adet iken ülkemizin yıllık otomotiv üretimi yaklaşık 1 milyon adettir. Ülkemizde yaklaşık 23 milyon araç bulunmakta olup %54’ü otomobildir. Otomobillerde en az 100 kg, ticari araçlarda 200 kg’a kadar alüminyum bulunmakta olup araçlar özellikle tekrar kullanım için iyi bir potansiyele sahiptir. Yer altında çok fazla rezervinin olması, yer üstünde de hurda potansiyeli olan kullarımdaki alüminyumlar (ikincil alüminyum) arz sıkıntısına mahal vermemesi nedeniyle stratejik metal olarak kabul edilmesinin diğer bir nedenidir. Araçlarda 100 kg alüminyum kullanımı 200 kg demir çelik tasarrufu sağlamaktadır. Karayolu taşıtlarında sıklıkla kullanılan alüminyum karayolu trafik tabelaları, bariyerlerde ve plakalarda kullanılmaktadır. Milyonlarca adet üretilen taşıtlar çok fazla malzeme kullandıkları için yaşam çevrimi içerisinde çevre kirliliği, geri dönüşüm ve arzı hesaba katılmalıdır. Geri dönüşüm ile hurda malzeme depolanmadığı için yer tasarrufu sağlanır ve yer altı sularının kirlenmesi engellenir. Geri dönüşüm için en büyük sıkıntılar, alışımaların çeşitlenmesi, hurdanın kalitesi, hurda malzemenin geniş alanlara yayılması ve bu

malzemelerin toplanmasıdır. Geri dönüşüm aşamasında yağlı ve boyalı alüminyum temizlenmeli ve nemi gidermek için ön ısıtma yapılması gerekebilir. Çevre bilincinin artması ile toplama ve geri dönüşüm artmaktadır. Geri dönüşüm ile depolama ve atık bertaraf maliyetleri azalmaktadır.

2.1.7. Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği

Mühendislik malzemelerinin kararlı çalışması için sıcaklık en önemli başlıktır (sorundur). Sıcaklık malzemenin mekanik özelliklerini değiştirebildiği için sıcaklığın olduğu durumlarda iyi ısı iletkenliğe sahip malzemeler kullanılabilir ve soğutma sistemi eklenebilir. Bakırın ısı iletkenliği 1,7 kat daha iyi olmasına rağmen alüminyumun 3,3 kat daha hafif olması nedeniyle hafifliğin büyük önem arz ettiği taşıtlarda alüminyum ısı uygulamalarında kullanılmaktadır. Alüminyumun ısı iletkenlik özelliği nedeniyle radyatörler, ısıtıcılar ve motor silindir kafaları alüminyum dökümden yapılmaktadır.



Sekil 2.16. Alüminyumun ısı iletkenliği nedeniyle kullanıldığı yerler

A) Alüminyum radyatör (Anonim 2020c) **B)** Alüminyum eşanjör (Anonim 2020d)

Saf bakır ticari kullanımda en iyi iletkenidir. Bakır kolay şekillendirilebilmesi, özdirencinin düşük olması, elektrik ve ısıyı iyi iletmesi bakırın iletken sanayinde en çok kullanılan malzeme yapmıştır. Bakır özellikle elektrik kablosu olarak kullanılmaktadır. Aynı iletkenlik talepleri için alüminyum kablo kesiti, bakır kablo kesitinden 1,6 katı olmaktadır. Kablo kıvrımları noktasından bakarsak alüminyum daha geniş çapta

kıvrılmalıdır (Sağkal 2019). En iyi elektrik iletkenleri gümüş ve altın olması rağmen maliyeti nedeniyle bakır kablolar günümüzde kullanılmaktadır. Özellikle ana besleme ve yer altı hatları gibi büyük kesitli kablo kullanımı isteklerinde bakır kablolar yerini ucuz ve hafif olan alüminyuma maliyet nedeniyle bırakmaktadır. Havai hatlarda çelik özlü alüminyum kablo kullanımı yaygındır. İnternet kabloları folyoya sarılarak korozyona, ısıya, neme ve emisyonlara karşı korunur. Isı ve ışığı yansıtması nedeniyle de ısı ve ışık uygulamalarında kullanılmaktadır. İyi soğutma özelliği nedeniyle cihaz kasaları, cihaz soğutucuları genelde alüminyumdaki imal edilmektedir.

2.1.8. Kolay işlenebilme ve biçimlendirilebilmesi

Alüminyum, akma gerilmesinin düşük olması ve iyi süneklik özellikleri nedeni ile daha az enerji harcanarak istenen karmaşıklıkta üretime izin vermektedir. Yüzey merkezli kübik kristal özelliği sayesinde büyük boyutlu parçalar 360 °C ila 620 °C’lerde sıcak olarak dövülmekte, karmaşık kesitli parçalar ekstrüzyonlanmakta, çekilebilmekte, saçlar yırtılmadan derin çekilebilmekte ve 6 mikron seviyesine kadarda haddelenebilmekte, boyunun 400 katına kadar esneyebilmektedir. Alüminyumun, çeliğin 3 katı daha hafif olmasına iyi şekillendirme özellikleri de eklenince kullanım oranı daha da artmaktadır. Alüminyum döküm, ekstrüzyon, dövme, torna, freze gibi tüm üretim yöntemlerinde başarı ile şekillendirilebilir. Yeni üretim teknikleri ve yeni alaşımlar alüminyumu hafiflik ve iyi mekanik özellikleri ile yeni kullanım alanlarında yer edinmesine sebep olmuştur. Taşıt iskeleti ağırlık azaltma kapsamında basınçlı döküm sayesinde çelik yerine alüminyuma dönüşmektedir. Alüminyum kıvrılcım çıkarmaması, zehirli ve manyetik olmaması, basınca dayanıklı olması, kimyasal maddelerden etkilenmemesi nedeniyle günlük kullanımda 90 mikron kalınlığa kadar inceltilecek derin çekme (yüksek çekme dayanımı) ile kola kutusu olarak imal edilebilmektedir. Alüminyum ağır şartlarda kullanılabilmesi için ısıl işlem görmesi gerekmektedir. Aşağıdaki çizelgede ısıl işlem ile artan mekanik özellikler gösterilmiştir (Kazdal Zeytin 2000).

Çizelge 2.9. Alüminyum malzemenin mekanik özelliklerinin değerleri (Kazdal Zeytin 2000)

	Döküm Alüminyum	Hadde Alüminyum	Isıl İşleme Tabi Tutulmuş Alüminyum
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

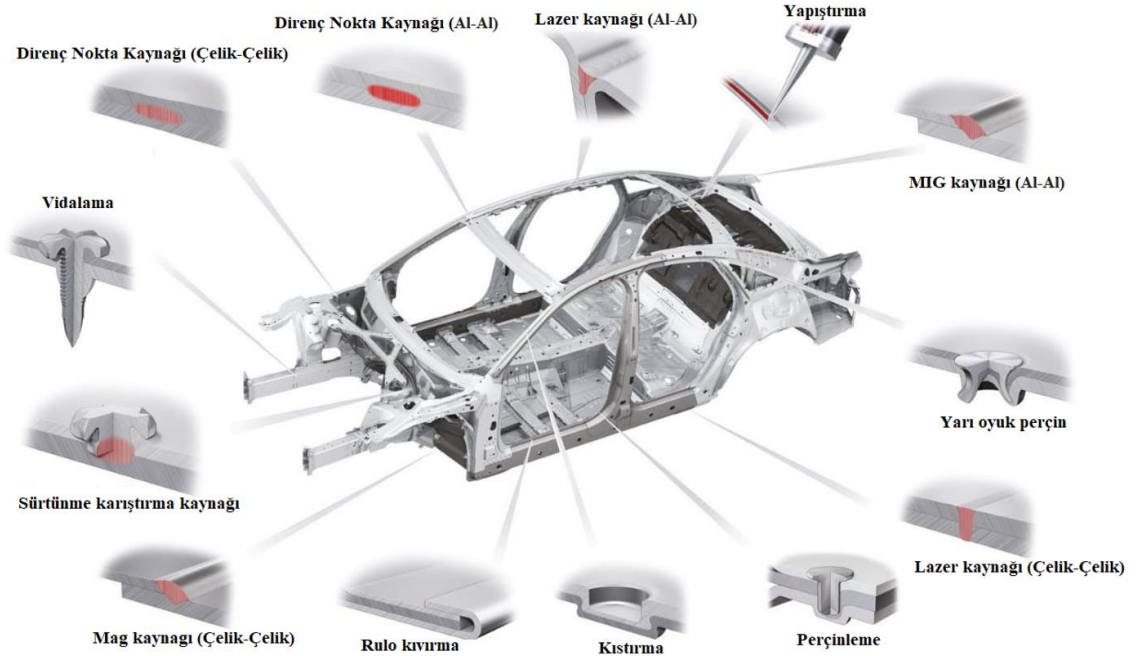
Taşıtlarda alüminyumun düşük akma mukavemetiyle sağladığı enerji tasarrufu ve işleme kolaylığı ile Audi markasının A3 modeli levhalardan imal edilmiş taşıdın ön bölümü tamamıyla alüminyumdan yapılmıştır (Dündar ve Güngör 2002).



Şekil 2.17. Audi A3 levhadan üretilmiş ön bölümü (Dündar ve Güngör 2002)

Alüminyum; kaynak, lehim, perçin, yapıştırma, cıvata somun, geçme vb. uygulamalarla birleştirilebilir. Alüminyum, yüksek basınçlı döküm sayesinde karmaşık şekilli parçalar hızlı şekilde iyi mekanik özelliklerle üretilir. Alüminyum diğer metallerle birleştirmede yaşanan sorunlar nedeniyle soğuk kaplama, daldırma kaplama, elektrolitik kaplama yapılmak suretiyle diğer metallerle birleştirilebilir. Ayrıca alüminyumu diğer metallerle birleştirmede araya ara malzeme kullanılarak ta birleştirme sağlanabilir. Kaynak

işleminin iyi yapılabilmesi için özellikle kaynak bölgesinde yağ, kir, pas olmamalıdır. Parça yüzeyleri tiner, alkol veya başka bir çözücü ile temizlenmelidir. Taşıt üretiminde kullanılan birleştirme yöntemleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

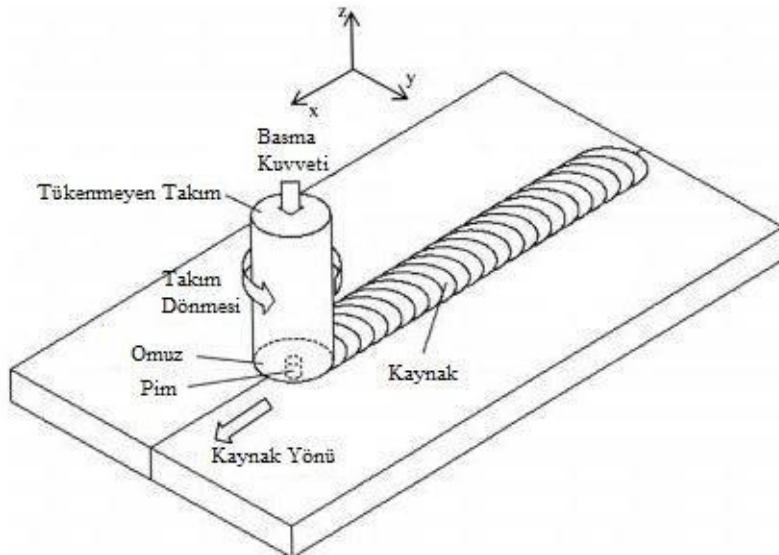


Şekil 2.18. 2018 model Audi A8 modelinde kullanılan birleştirme yöntemleri (Soysal 2017)

Alüminyumun erime nokta 660 °C iken çeliğin erime noktası 1450 °C'dir. Alüminyumun ısıl genişmesi çeliğin iki katı, ısı iletmesi ise alaşım içeriğine bağlı olarak çeliğin 3 ile 5 katıdır. Alüminyum daha düşük ısıda erimesi ve ısıyı daha hızlı yayması nedeniyle kaynak işlemleri dikkat istemekte bu nedenle ön tavlama yapılmaktadır. Isıl genişleme katsayısının alüminyumda yüksek olması, sıvılaşmada hacimsel büyüme ve katılaşmada kendini çekmesi nedeniyle kaynak bölgesinde çarpımlara ve çekmelere sebep olabilmekte ve bu sorun kaynağın yüksek hızlarda yapılmasını engellemektedir. Isıl iletkenliği yüksek olması nedeniyle de ısı yoğunluğu sağlamak için daha fazla ısı girdisi gerekmekte olup bu sorun ön tav ile çözülmektedir. Ayrıca ısı tesirinde bulunan bölgeler çelikten daha büyüktür. Elektrik iletkenliği çelikten daha iyi olması nedeniyle yüksek akımlı kaynak makineleri kullanılmaktadır. Çeliklerde kaynak bölgesi DC akımla ana malzemeye yakın mekanik özellik sergilerken alüminyum ise kaynakta AC akımı ile daha yüksek enerji elektroda verir. Kaynak yapılan bölgeler yüksek ısıya maruz kaldıklarında oksit tabaka nedeniyle tav rengi

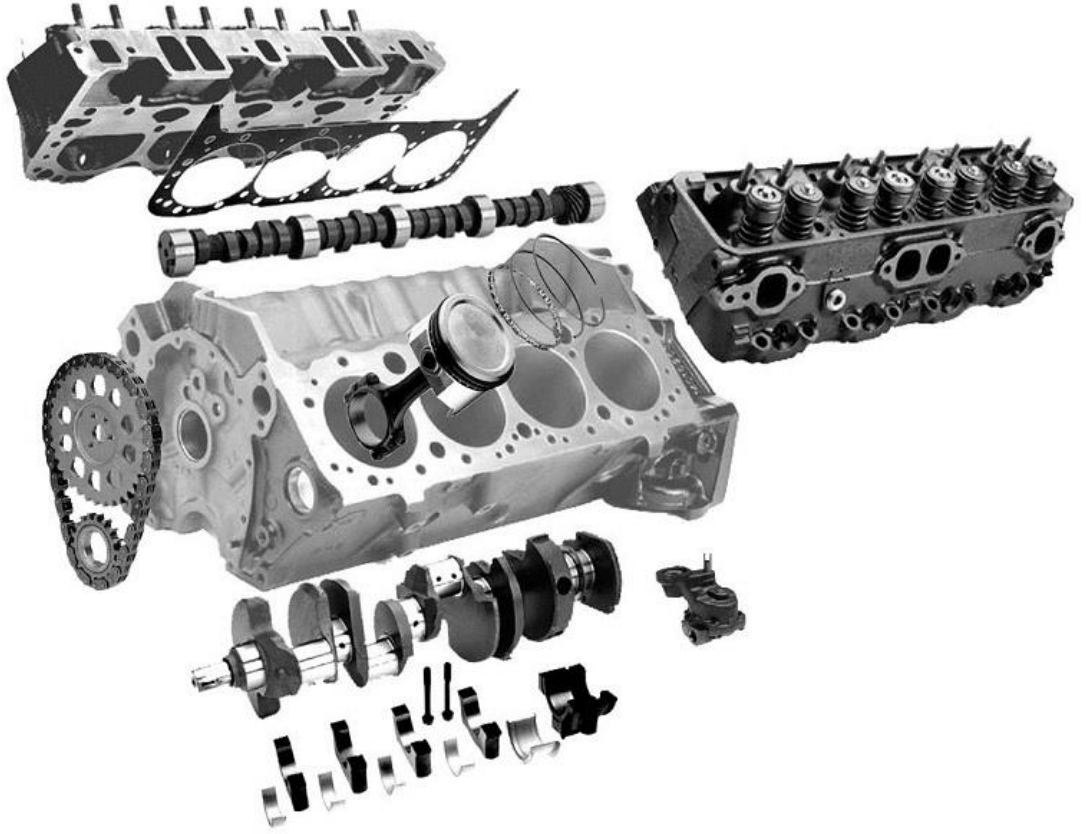
vermeden mekanik özellikleri azalır ve kolay kırılabilir hale gelir. Alüminyumda kaynak sonrası ısıl işlem yapılması gerekebilir. Alüminyum 660 °C’de ergimekte iken koruyucu oksit tabaka 2050 °C’de ergimesi nedeniyle refrakter özellik sergilemektedir. Kaynak işlemlerinde özellikle yalıtkan özellik gösteren bu yüzey iyi şekilde zımpara, tel fırça ile temizlenerek gözenek oluşma ihtimali azaltılır.

Alüminyumları birleştirmede yüksek ısı girdisi nedeniyle yaşanan kötü katılaşma gibi durumlardan kaçınmak için yeni bir teknik olarak alın altına sabitlenmiş iki levha arasına yüksek devirde dönen bir pim hareket ettirilir. Sürtünme sıcaklığı nedeniyle yumuşayan malzemeler birbiriyle kaynaklanır. 1991 yılında İngiltere’de bulunan sürtünme karıştırma kaynağı, kaynaklama özelliği kötü olan ve düşük sıcaklıkta eriyen alüminyum gibi malzemeler kaynaklanabilir. Bu kaynak yöntemi düşük ısıda sağlandığı için iyi mekanik özellikler sergiler, gözenek, çatlak hataları barındırmaz. Hava kirliliği ve UV ışın yayılmaz, daha az enerji harcanır. Farklı malzemeler bu kaynak yöntemiyle koruyucu gaz ve kaynak teline ihtiyaç duyulmadan kaynak edilir. Sürtünme karıştırma kaynağı, elektrik ark kaynağı gibi yöntemler ile kıyaslanırsa en iyi özelliği ergime sıcaklığı altında kaynak işlemi yapıldığı için kaynak kalitesi iyi olmaktadır.



Şekil 2.19. Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin şematik olarak gösterimi (Aydın ve Nelson 2013)

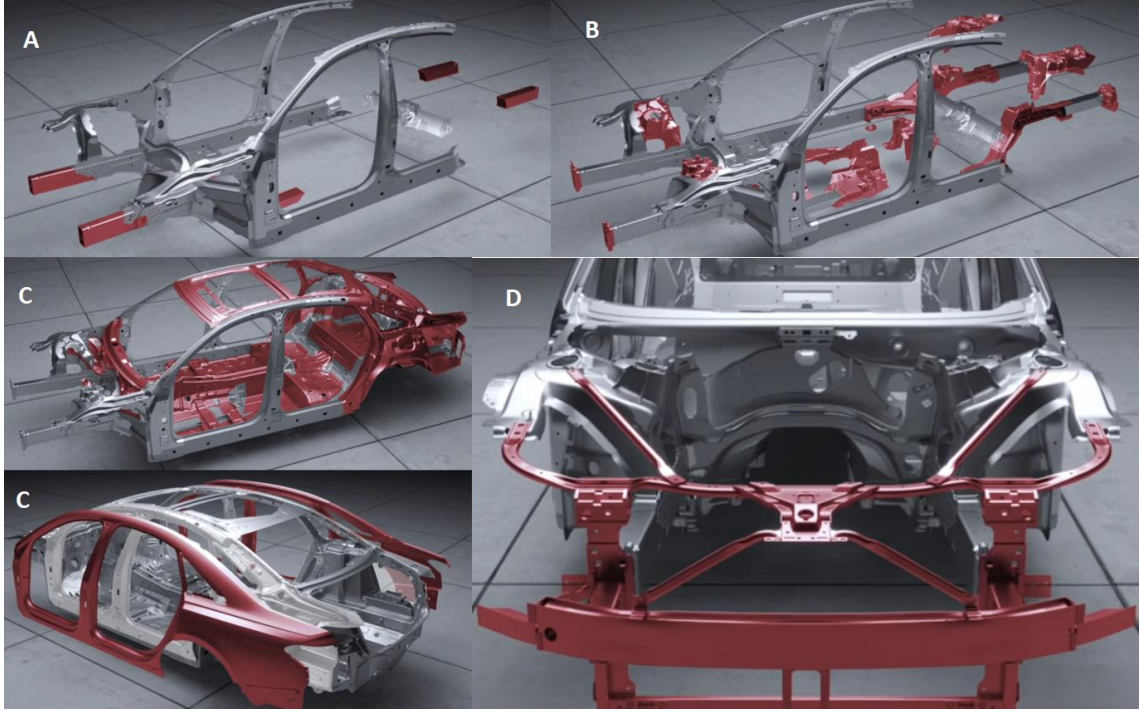
Alüminyumun hafifliğine yeni elementlerin eklenmesiyle iyi mekanik özellikli alaşımların eldesi ve yeni imalat yöntemlerinin kullanılmasıyla karmaşık parçaların imali ve seri üretim, otomobillerde geniş kapsamlı alüminyum kullanımına imkân sağlamıştır. Alüminyum alaşımları yüksek ısı iletme kabiliyeti nedeniyle çok iyi soğutma sağlamakta, dökme demir gibi alternatiflerinden daha hafif olması, düşük ısıl genişmesi ve hafiflik ile beraber atalet kuvvetlerinin daha az olması alüminyum alaşımlarını motor üretiminde parça ve komple olarak alternatif malzeme yapmıştır. Motorların daha yüksek sıcaklıklarda çalışması verimliliği artırır. Motorda oluşan 300 °C gibi yüksek sıcaklıklar alüminyumun mekanik özelliklerini bozmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özellik gösteren alüminyum silisyum alaşımları yüksek performansıyla günümüzde motor pistonları, motor bloğu gibi uygulamalarda artık kullanılabilir. Yüksek sıcaklığa karşı daha dirençli ve özel kaplamalar motorların daha yüksek güçte çalışmasına imkân verebilir. Alüminyum alaşımlarının hafifliği, rijitliği, iyi ısıl iletkenliği, kötü ısıl genişmesi ve aşınmaya karşı direnci demir-çeliğe karşı yüksek fiyatına rağmen kullanım alanı açmıştır. Motorda parçalarla başlayan bu süreç tamamıyla düşük akma mukavemetinin sağladığı fayda ile basınçlı döküm yönteminden yapılmış motorlarla devam etmiştir. Motor ağırlığı önemli sorun olup dökme demirden dökme alüminyuma geçiş ile hafifletme sağlanmaya çalışılmaktadır. Günümüzde gri dökme demir ve küresel grafitli dökme demirden yapılan motor bloğu 32 kg iken aynı özellikteki motor bloğu alüminyum alaşımları sayesinde 23,5 kg'dan yapılmış ve %26,5 hafifletme sağlanmıştır (Aghion 2001).



Şekil 2.20. Motor parçaları (Anonim 2020e)

2108 kg toplam ağırlığı olan elektrikli Tesla Model S’de 540 kg batarya bulunmaktadır. Batarya nedeniyle taşıt ağırlığı 190 kg alüminyum kullanılarak minimize edilmeye çalışılmıştır. Kasanın %97’si alüminyumdan yapılmıştır. Alüminyum en çok motor blokları, aktarma organları, ısı uygulamaları, gövde, piston, süspansiyon, fren parçaları ve tekerleklerde kullanılır. Radyatör, ısı eşanjörü ve klima ünitelerinde hafiflik ve iyi ısı iletimi özelliği nedeniyle alüminyum kullanımına sıklıkla başvurulmaktadır. Taşıt ağırlığının %22-25 taşıt gövdesi oluşturduğu için gövdede yapılacak iyileştirmeler hafifletme çalışmalarına ciddi katkı sunmaktadır (Höke 2016). Taşıt kaportalarında St12, St13, St14 çelik malzeme yerine alüminyum kullanımı ağırlık azaltımında en büyük potansiyelin araç gövdesinde olması nedeniyle başlamıştır. Alüminyum paslanmaması nedeniyle çeliğe göre daha fazla dayanıklılık sağlar. Sac malzemenin kullanımında dayanım ve şekillendirebilme özellikleri istenen iki özelliktir. Kaporta ve şasenin tamamen alüminyumdan imali ile %25 yakıt tasarrufu öngörülmektedir. Audi markası 4. nesil A8 modelinde Audi Space Frame adını verdiği teknoloji ile kaportayı tamamen alüminyumdan imal edip şaside %58 oranında alüminyum kullanarak bir

önceki nesle göre %24 daha rijit olmasını sağlamıştır. Aşağıda şekillerde kırmızı renk ile farklı üretim teknikleri ile üretilen alüminyumun araçta kullanımı gösterilmiştir (Anonim 2017b).



Şekil 2.21. Şaside alüminyum kullanımı **A)** Alüminyum profil **B)** Alüminyum döküm **C)** Alüminyum levha **D)** Darbe sönümleyici (Anonim 2017b)

Taşıtların hareket etmesi tekerlekler aracılığıyla sağlanmaktadır. Tekerlekler, geçmişten günümüze aşamalı olarak yapılan iyileştirmeler ile gelmiştir. Tekerlekler ilk olarak hem yavaş hem de ağır olan kağnılarda kullanılmaya başlamıştır. Tekerlekler parmaklı yapılarak hafifletme sağlanmış, arabanın tekerlekleri ata yaklaştırılarak manevra kabiliyeti arttırılmıştır. Böylelikle kendi eksenini etrafında dönen tekerlek takımları aracılığıyla insanlar ve yükler daha uzak mesafelere taşınmasına imkân tanınmıştır. Parmaklı tekerlekler at arabasında sağladığı faydalarla at arabaları atlı tramvaya, otomobillere dönüşmüştür. Böylece at arabasının tecrübesi ilk otomobillerinde temeli olmuştur. İlk taşımalarda komple kütük ve taş ile yapılan tekerlekler parmaklı yapılarak en iyi tasarım daha at arabası kullanılırken benimsenmiştir. Aşağıdaki resimde ilk ilkel tekerleklerden otomobil tekerleğine geçiş sıra ile gösterilmiştir.



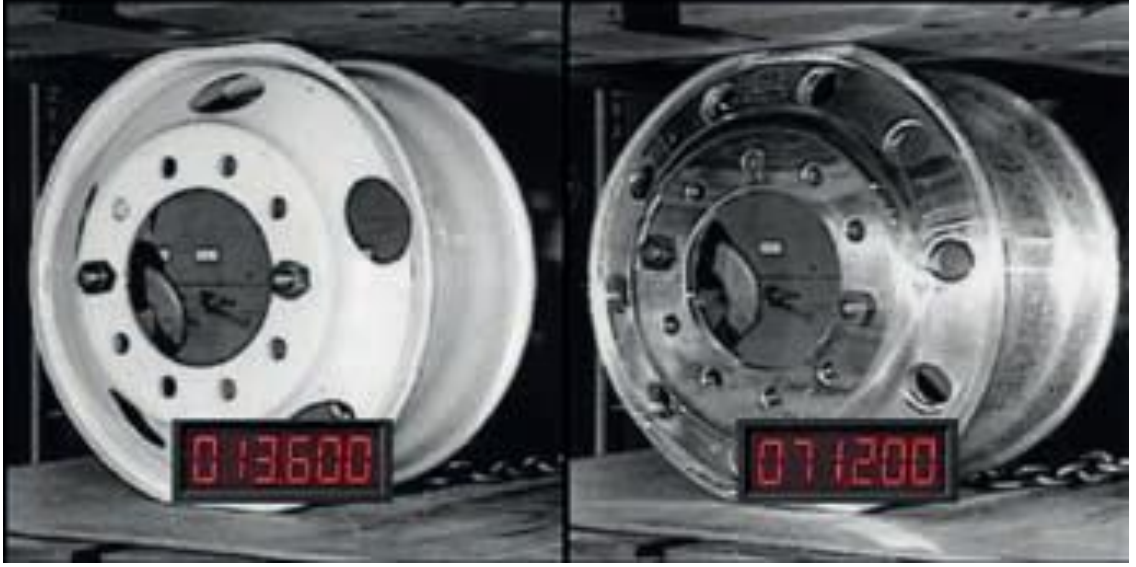
Şekil 2.22. İlk tekerlekten günümüzde kullanılan tekerleğe geçişinin aşamaları

Günümüzde taşıtların verimli sürüşü için yapılan hafifletme ve iyileştirmeler parmaklı tekerleklerin tecrübesi üzerinden yapılmaktadır. Günümüzde çelik jant kullanımı yaygındır. Çelik jant yerine kompozit, magnezyum ve alüminyum alaşımlı jantlar hafifletme için alternatiftir. Kompozit ve magnezyum alaşımlı jantlar üretim ve yüksek maliyeti nedeniyle kısıtlı üretim ve kullanım alanı bulmuştur. Magnezyum yoğunluğunun $1,8 \text{ gr/cm}^3$ olması ile daha hafif malzeme olmasına rağmen düşük çekme mukavemeti ve düşük yorulma gibi kötü özellikleri ile alüminyumun (yoğunluğu $2,7 \text{ gr/cm}^3$) gerisinde kalmaktadır. Seri üretim ve yaygın kullanım ile çelik jantların yerini günümüzde alüminyum alaşımlı jantlar almıştır. Direkt olarak saf alüminyum kullanılmadığı için yaklaşık %10 silisyum katkılı alüminyum alaşımlar jant için gereken düşük ağırlık, yüksek tokluk, yüksek yorulma direnci, yüksek özgül mukavemet ve yol koşullarından etkilenmeyecek şekilde korozyon direnci gibi mekanik özellikleri barındırdığı için yüksek maliyetine rağmen alüminyum jantlar artık standart olarak taşıtlarda bulunmaktadır. Alüminyum jant, çelik janttan 3 kg daha hafif ve %40 ağırlık tasarrufu sağladığı örnekler bulunmaktadır (Anonim1999).



Şekil 2.23. Araçlarda kullanılan alüminyum jant (Anonim 2020f)

Alüminyum jantlar çelikten 3 kat daha iletken olması nedeniyle yol şartlarında oluşan ısıyı hızlı şekilde transfer eder. Jant ısıyı hızlı soğutması ve daha düşük ısıda çalışması nedeniyle fren performansını, lastik ve balataların ömrünü arttırır ve lastikler soğuk çalışma ile daha az zedelenir ve parçalanır. Lastik patladığı zaman çelik jantlar sürtünme nedeniyle kıvılcım çıkarmasına rağmen alüminyum jantlar kıvılcım çıkarmaması nedeniyle tehlikeli madde taşımacılığı için zorunluluktur. Alüminyum jantların daha hafif olması taşıtın toplam ağırlığını azaltır, araç dengesini ve sürüş konforunu arttırır. Sürüş konforu için yoldan gelen titreşim ve darbeler tekerlek, süspansiyon, amortisör ve koltuk gibi sistemler tarafından sürücü kabinini daha az etkilemesi istenir. Alüminyumun düşük akma mukavemeti karmaşık modelleri düşük enerji gereksinimi ile imaline imkân sağlamıştır. Model çeşitliliği nedeniyle iyi kozmetik görüntüler ve tasarımcının isteklerine iyi cevaplar verir. Janta etki eden yükleri simüle eden bilgisayar destekli programlar ile jant ağırlıkları önemli ölçüde azalımı sağlanmaktadır. Özellikle topoloji optimizasyonu ile jant ağırlığı yarı yarıya azaltılabilmektedir. Jantlar 1,5 milyon kilometreye eşdeğer yol şartlarında dönme, bükülme ve operasyonel yük koşullarında test edilir bunun yanında serbest düşme ve sert zemine çarpma testi uygulanır. Alcoa Wheels tek katı alüminyum bloğu 8000 tonluk pres ile döverek ve ardından ısıl işlem uygulayarak iyi mekanik özellikli jantlar üretmektedir. Üretilen jantlar, çelik janta göre %47'ye kadar ağırlık tasarrufu sağlarken 5 kat daha güçlü olması nedeniyle aracın taşıma kapasitesini arttırır, işletim maliyetini azaltır ve karlılığı arttırmaktadır. 5 cm deformasyon gerçekleşene kadar çelik ve alüminyum jantın dayanımı ölçülen testte çelik jant 13.600 kg'da deforme olurken dövme alüminyum jant 71.200 kg ağırlıkta 5 cm deforme olarak 5 kat daha güçlü olduğu görülmüştür (Anonim 2020g).



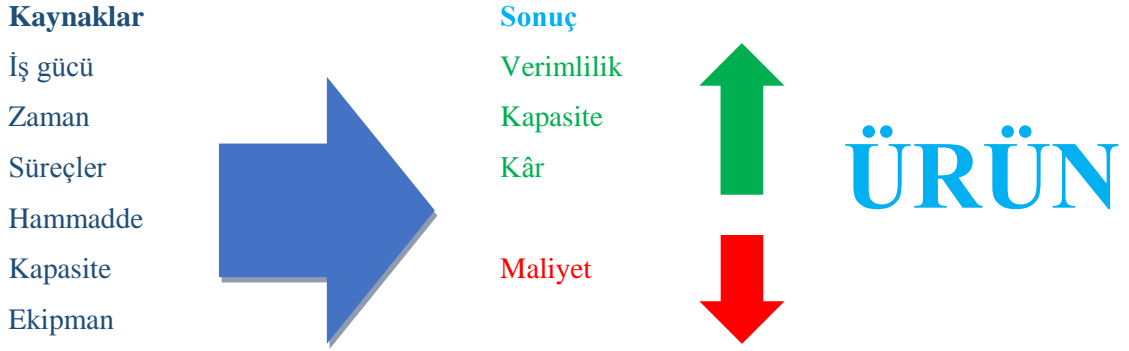
Şekil 2.24. 5 cm'lik deformasyon gerçekleşene kadar çelik ve alüminyum jantın dayandığı yük (Anonim 2020g)

Hibrit otobüslere takılan dövme alüminyum jantlar ile 120 kilogramlık hafifletme ile 6-7 aylık süreçte %1,8'e varan yakıt tasarrufu sağlamıştır. Konfigürasyon ve jant sayısına göre ortalama 250 kg kadar hafiflik sağlanabilmektedir (Anonim 2020g).

2.2. Optimizasyon

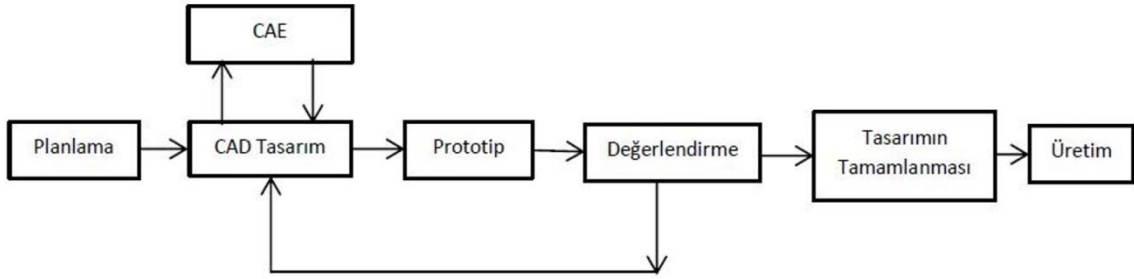
Optimizasyon, istenen özellikleri karşılayabilecek en ideal tasarımı ifade eder. Mühendislik istekleri genelde kısıtlara bağlı olarak sağlanan iyileştirmeleri barındırır. Mühendislik uygulamalarında mekanik özellikleri artırırken en iyi malzeme dağılımı (en iyi sertlik ve ağırlık oranı) sayesinde hafifletilmiş tasarımları ifade etmektedir. Ürünlerin tasarımı, toplam yaşam çevrimi, mekanik özellikleri, ömür, üretim yöntemi ve üretim maliyeti açısından en önemli aşamadır. Tasarım aşamasında alınan kararlar hatasız ve en iyi tasarım özelliğinde olmalıdır. Ayrıca taşıtlarda kullanılan parçalar dinamik zorlanmalara maruz kaldığı için özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir. Dinamik zorlamalar neticesinde akma dayanımlarının çok altında elastik sınırdan kalıcı (plastik) şekil değiştirmeden mikro çatlakların ilerlemesi sonucu kırılmalar meydana gelir. Bu kırılmalar belirti vermeden ve büyük yükler altında olmadan gerçekleştiği için taşıtlarda önemli parçalar için önemli bir sorundur. Yorulmalar malzeme hatalarından daha ziyade parça boyutu, çentik, yüzey kalitesi, civata delikleri, birleştirme yöntemi, montaj yöntemi, aşırı yükleme, sıcaklık, emniyet katsayısı gibi birçok nedene bağlı olarak gerçekleşir. Yorulma dayanımı için küçük tane büyüklüğü, ısıl işlemler dayanımı arttırdığı için tercih edilmektedir. Döküm malzemelerde ise boşluklar ve atom diziliş hataları bulunması nedeniyle zamanla çatlaklar ve buna bağlı olarak kırılmalar meydana gelebilmektedir. Mikro hatadan başlayan kırılmalar özellikle parçaların yüksek ısı tesiri altında kalması nedeniyle en mukavemetsiz kısmı olan kaynak bölgelerinde ciddi sıkıntılar meydana getirebildiği için kaynak bölgelerinde desteklemeler ve geometrik değişiklikler ile kırılmalar önlenmeye çalışılır. Taşıtlarda istenen hafiflik daha hafif malzeme kullanımı ve optimizasyon ile sağlanmaktadır. Yüksek alaşımlı çelikler hafifleme için yapılan et kalınlığı azaltımında rijitlikte sıkıntı yaratırken alüminyum 3 katı hafif olması ile tasarımcılara daha rahat çalışma imkânı vererek uygun malzemenin uygun tasarımıyla uygulanmasını sağlamaktadır.

Çizelge 2.10. Optimizasyondan istenen temel parametreler



Hafif malzeme kullanımı ile sağlanan hafifletmeyi daha da artırmak optimizasyon yolu ile sağlanmaktadır. Bilgisayar destekli optimizasyon programları ile en iyi tasarımı daha tasarımcılar başlangıç aşamasında iken belirlerler. Tasarım aşamasında isteklerin belirlenme zorunluluğu tasarımcıya ne istediğini daha iyi belirlemesini sağlamaktadır. Böylece tasarımcının tecrübesi ile bilerek veya bilmeyerek belirlediği kısıtlar olmadan tüm tasarım olasılığı göz önüne alınarak insanların hesaplamayacağı hız ve güçte karmaşık şekilli tasarımlar yeni imalat yöntemleri ile yapay zekâda kullanılarak artık yapılabilmektedir. Günümüzde bilgisayarlar tasarımda istenen kısıtlar ve istekler için gereksiz ağırlıkları boşaltmakta ve gerilmenin yüksek olduğu kritik noktalarda yorulma direnci için ekleme ve kalınlık artırma yolu ile iyileştirme ve destekleme yaparak mekanik özellikleri iyi ve hafif parçalar üretilebilmektedir. Bilgisayarlar ile parçaların gerçekçi ortamda davranışı daha gerçekçi olarak simüle edilip daha tasarım aşamasında iken iyileştirmeler yapmamıza imkân vermektedir. İlk taşıt tasarımları bilgisayar desteğinden yoksun olunması nedeniyle deneme yanılma yöntemi, mühendisin tecrübesi ve prototip üretimi ile üretildiği için taşıt tasarımları belirli kısıtlar içerisinde kalınmak suretiyle uzun sürmekte ve ciddi maliyetlere neden olmaktadır. Taşıtların tasarımı aşamasında çok sayıda tasarımcının yoğun araştırma geliştirme süreci sonunda hazırladıkları tasarımın bilgisayarlar tarafından testi ile daha üretime geçmeden iyileştirmeler yapmamıza imkân sağlamaktadır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile tasarımlar istenildiğinde hemen üretilebilmektedir. Bu nedenle hem maliyet azalmaktadır hem de zaman kaybını önlenmektedir. Bilgisayar destekli programlar

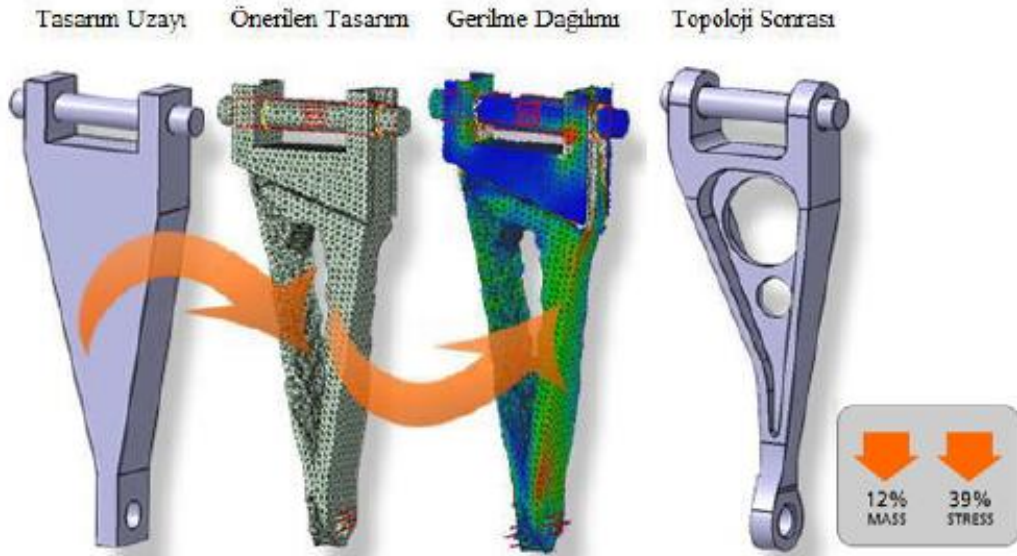
geleneksel yöntemleri tamamen kaldırmamış aksine destek olmuştur. Aşağıda ise taşıt üretim süreci gösterilmiştir.



Şekil 2.25. Taşıt üretim süreci (Ersöz 2017)

Boyut (parametrik) optimizasyonunda yapının kalınlık, genişlik ve uzunluk ölçüleri değiştirilerek yapı optimum hale getirilmeye çalışılmaktadır. Şekil optimizasyonunda ise yapının dış sınırları ve iç boşluklar değiştirilerek optimum tasarım elde edilmeye çalışılmaktadır. Topografi (Gauge) optimizasyon yakıt tankı, makine kapakları gibi sac yapıların mukavemetini arttırmak için yapılacak kabartmaların boyutlarını, şeklini ve derinliğini belirlemektedir. Şekil ve boyut optimizasyonunda tasarım öncelikle yapılırken, topoloji optimizasyonunda istekler belirlenerek tasarım bilgisayara bırakılmaktadır. Topoloji optimizasyonu uygulanmış tasarımlar son hale getirilmesi için şekil ve boyut optimizasyonu uygulanarak daha düzgün yapı elde edilebilir. Topoloji optimizasyonu ile en iyi sertlik-ağırlık oranı, minimum şekil değişikliği ve maksimum ağırlık azaltımı amacıyla kullanılmaktadır. Bu amaçlar bize az sayıda parça ile hafif ve dayanımlı üretimi mümkün kılarak uzay, havacılık ve otomotiv alanında ilerlemeleri sağlamaktadır. Topoloji optimizasyonunda 1988 yılında Bendsoe ve Kikuchi tarafından geliştirilen homojenleştirme metodu ve 1993 yılında R.J. Yang ve C.H. Cuhang tarafından geliştirilen malzeme dağılım (yoğunluk) metodu kullanılmaktadır (Göv ve Kütük 2007). Topoloji optimizasyonu ile istenen istekleri karşılayan en uygun tasarım bilgisayar tarafından sonlu elemanlar yöntemiyle belirtilen alan küçük elemanlara ayrılarak bulunmaktadır. Topoloji optimizasyonunda asıl hedef rijitliği verilen kısıtları göz önünde bulundurarak olabilecek en yüksek değeri almasıdır. Topoloji optimizasyonunda doğru sonuç için eleman (mesh) ve adım sayısı fazla olmalıdır. Ancak eleman sayısının fazla olması çözümün günler almasına neden olmaktadır. Eleman sayısı ve çözüm adımının artması bilgisayarın işlem yükünü ve çözüm süresini arttırması yaygın kullanımını özellikle sınırlandırmaktadır. Bu nedenle işlem yükünü

azaltmak, çözüm süresini kısaltmak için malzemede istenmeyen kısımlar silinebilir. Topoloji optimizasyonunun çalışma prensibi dış boyutlar sabit olmak üzere istenen ve istenmeyen özellikler ile en iyi mukavemet değerini sağlayarak malzeme dağılımını sağlamaktır. Unutulmaması gereken nokta topoloji optimizasyonu bize yol gösterdiğiidir. Bize tasarım yapmaz ancak bize sunduğu fikirler ile tasarımı güncelleyip en iyi tasarıma yaklaşmamıza yardımcı olur. Topoloji optimizasyonu ile sunulan istekleri karşılayan tasarımın üretilebilirliği, montajı, maliyeti, bakım esnasında erişebilme, gerilmeler ve parça boyutları en büyük sorunlardır. Oluşan tasarımın döküm, dövme, ekstrüzyon gibi yöntemlere uygunluğu tasarım için kritik öneme sahiptir. Özellikle parça azaltma yapılırken gerilme yığılmaları meydana gelmektedir. Bu nedenle gerilmeler, yorulma ve mukavemet özellikleri ile ömrü belirlemektedir. Aşağıda topoloji optimizasyonunun aşamaları gösterilmiştir (Topologica 2011).



Şekil 2.26. Topoloji optimizasyonunun ilerleme aşamaları (Topologica 2011)

Topoloji optimizasyonuna örnek vermek gerekirse çelik malzemeden yapılmış parça 7,5 kg, alüminyum alaşımları kullanılarak %60 oranında hafifletilmiş olup daha sonra bu parça tasarım optimizasyonu sayesinde %16 daha hafif hale gelmiştir (Anonim 2010).



Çelik malzeme kullanılmış
tasarım 7,5 kg

Alüminyum malzeme
kullanılmış tasarım 3 kg

Optimize edilmiş alüminyum
malzeme tasarım 2,5 kg

Şekil 2.27. Optimizasyon tekniği ile parçanın hafifletilmesi (Anonim 2010)

Tüfekçi (2016) hafif ticari araç kapı menteşesi için S355 çelik malzemesi kullanılırken hafifletme için Al7075 alüminyum alaşımı kullanımı üzerine çalışmıştır. Yapılan bu malzeme değişikliği ile 4 adet menteşe toplam 9200 gram iken alüminyum alaşımı kullanımı sayesinde 2880 gram olmuştur. Yapılan bilgisayar destekli simülasyon ve testler ile bu doğrulanmıştır. Malzeme değişikliği ve optimizasyon yöntemleri ile %68 hafifletme sağlanmıştır. Bu hafifletme alüminyumun düşük yoğunluğu ve bilgisayar destekli tasarım ile mümkün olmuştur.

General Motor, 8 parçadan oluşan koltuk braketini tek parçadan topoloji optimizasyonu yardımı ile tasarlayarak %40 daha hafif ve %20 daha rijit braket tasarlamıştır. Tek parçadan oluşan braket değişik 8 parçanın üretilmesini ve bu parçaların montajını önleyerek tasarrufa imkân sağlamıştır (Anonim 2020h).



Şekil 2.28. 8 parçadan oluşan koltuk braketinin bilgisayar yardımıyla tek parçadan üretilmesi (Anonim 2020h)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Süspansiyon sistemlerinin asıl görevi lastiklerle yol arasında sürekli teması sağlayarak sürüş hâkimiyetini sağlamaktadır. Böylece süspansiyon sistemleri taşıtların yol tutuşunu sağlar, emniyetli şekilde virajları savrulmadan geçmesini sağlar ve yoldan gelecek sarsıntıları azaltır. Süspansiyon sistemleri yoldan gelen sarsıntıları sönmeyecek şekilde yumuşak ancak normal sürüşlerde konforu sağlayacak şekilde sert olmalıdır. Süspansiyon sistemi parçalarından olan salıncak kolları tekerlek takımını gövdeye bağlar. Salıncak kolları tekerlek takımını çukur ve kasislerde sınırlandırıp yukarı aşağı hareketine izin vererek yoldan gelen darbeleri emmeye çalışan önemli bir parçadır. Salıncak kollarının tasarımlarında mekanik özellikler, üretilebilirlik, malzeme temini ve üretim maliyeti göz önünde bulundurularak tasarım yapılır. Karting aracı salıncak kolu St37 (S235JR) çeliğinden imal edilmiştir. St37 çeliği düşük karbon oranı ile kaynak kabiliyeti yüksek, mangan içeriği ile de iyi mekanik özellikler sunmaktadır. Aşağıda çizelgede St37 (S235JR) çeliğin özellikleri sunulmuştur.

Çizelge 3.1. St37 çeliğin kimyasal birleşimi (Anonim 2020k)

Uluslararası Çelik Kaliteleri							
Malzeme No	EN(EU)	SAE (AISI)	DIN	AFNOR	BS		
1.0037	EN 235Jr	A283 Gr C	St37-2	E24-2	Fe360B		
St37 Kimyasal Birleşim							
C	Mn	Si	P	S	N	Cr	Ni
0,17	1,4	0,30	0,045	0,045	0,009	-	-

Taşıtlarda sıklıkla 5xxx ve 6xxx seri alüminyum alaşımlar kullanılmaktadır. 5xxx seri alüminyum alaşımlarda esas alaşım elementi magnezyum oranı arttıkça sertlik, korozyon direnci, şekillendirilebilme ve kaynaklanabilme özelliği artar, süneklik azalır. Al 5754 alüminyum alaşımı magnezyum içeriği ile sahip olduğu iyi mukavemet değerleri ve hafifliği nedeniyle basınçlı kap imalinde, gemi inşasında, kimya sanayinde ve otomotiv sanayinde sıklıkla kullanılmaktadır. St37 çeliğin yerine Al 5754 alüminyum alaşımı kullanımı ile karting aracı sac salıncak kolu hafifletilmeye çalışılmıştır. Yaşlandırılmayan Al 5754 (AlMg3) alaşımının kimyasal birleşimi ve mekanik özellikleri aşağıda Çizelge 3.2 ve 3.3’de sunulmuştur.

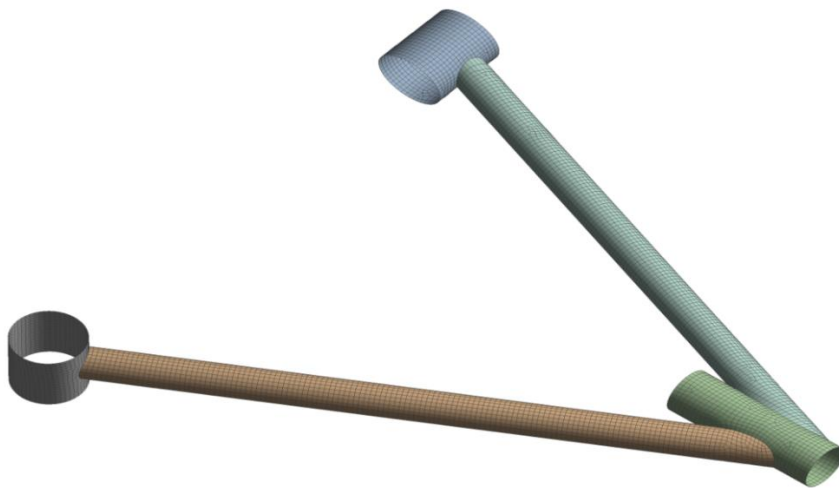
Çizelge 3.2. Al 5754 alüminyum alaşımının kimyasal birleşimi (Anonim 2020l)

Al 5754 (AlMg3) Kimyasal Birleşim									
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
0,4	0,4	0,1	0,5	2,6-3,6	0,2	0,3	0,15	0,15	Kalan

Çizelge 3.3. Al 5754 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri (Anonim 2020l)

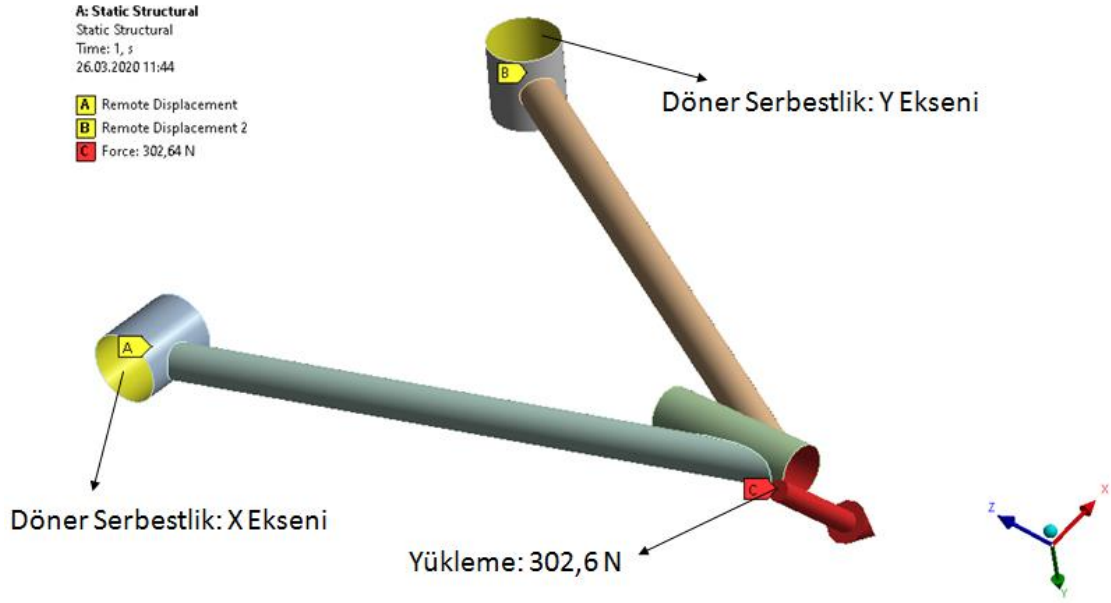
Temper	Akma Mukavemeti (Mpa) Min- Max	Çekme Mukavemeti (Mpa) Min- Max	Uzama (%50) Min- Max	Sertlik (Brinell) Min- Max
0-H111	80-100	190-215	24	50-55
HX2	130-185	220-245	14	65-70
HX4	160-215	240-270	12	73-75
HX6	190-245	265-290	9	80
HX8	250-270	290-315	8	85-90
HX9	300	340	0-4	95

Karting aracının sac salıncak kolunun aracın kendi ağırlığındaki (120 kg) mukavemet analizi Ansys program ile ilk olarak yapılmıştır. Yapı kabuk modellenmiştir ve et kalınlığı 3 mm'dir. Salıncak kolu ikinci dereceden 2 mm kabuk elemanlarla modellenmiştir. Eleman sayısı 9100 ve düğüm (node) sayısı 25570 olarak Ansys programında belirlenmiştir.



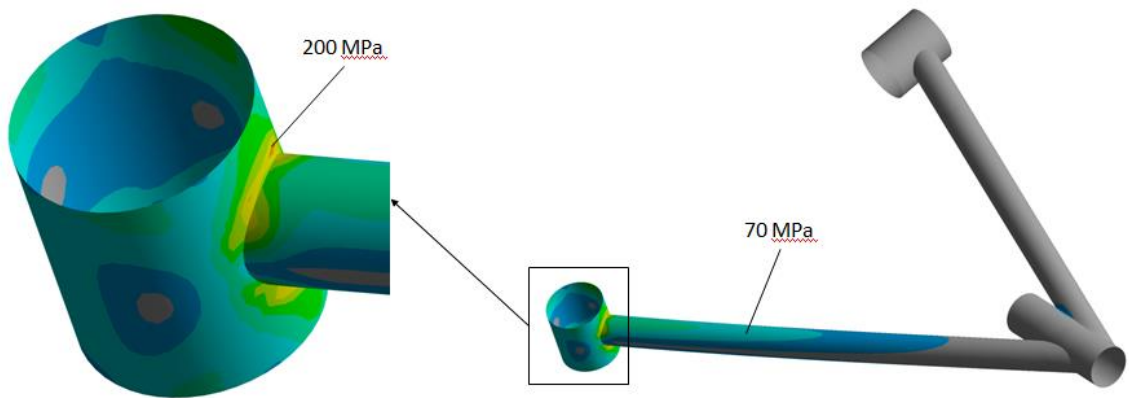
Şekil 3.1. Sac salıncak kolunun kabuk modeli

Sınır koşulları ve yükleme durumuna geldiğimizde dört tekerlekli bir karting aracının ağırlığı yer çekimi ivmesiyle çarpılıp dörde bölünmüş ve salıncak koluna uygulanmıştır. Yükleme X ve Y eksenlerinde 214 N olarak verilmiş bileşke kuvvet ise 302 N'dur.



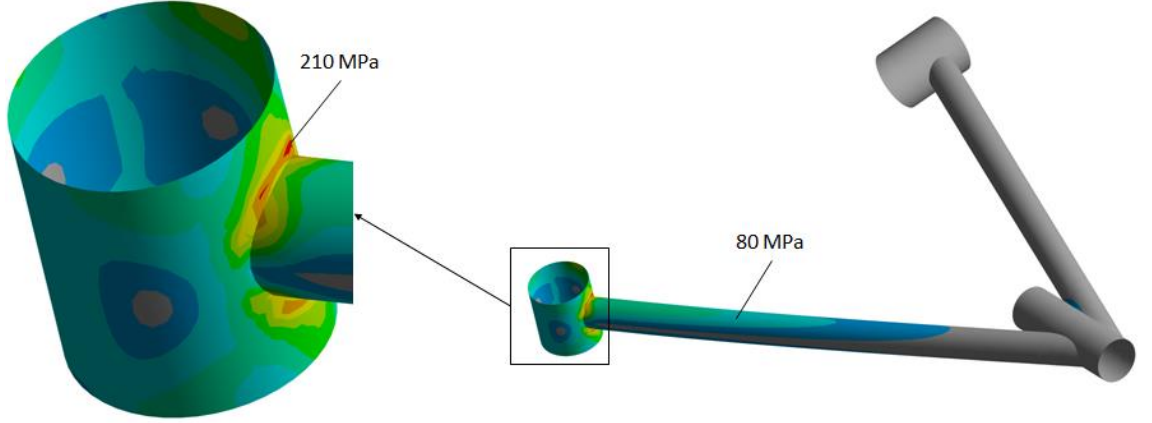
Şekil 3.2. Sac salıncak kolunun sınır koşulları ve yükleme durumu

Mevcut tasarımda akma mukavemeti 230 Mpa olan St37 malzemesi 3 mm et kalınlığı ile analizi yapılmıştır. Yapılan analiz ile tespit edilen emniyet katsayısı 1,15'tir.



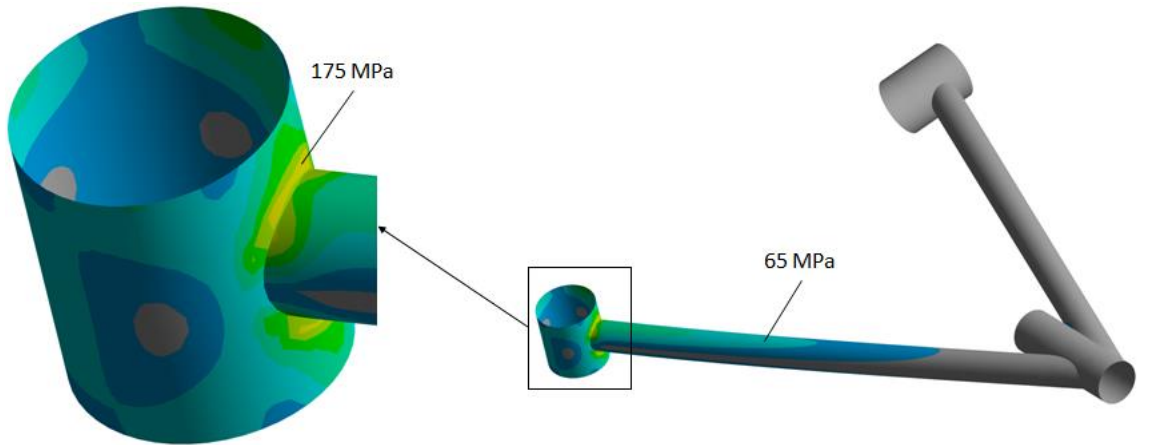
Şekil 3.3. 3 mm et kalınlığında St37 çeliğin analizi

St37 çelik malzemesinin yerine yine 3 mm et kalınlığında akma mukavemeti 200 Mpa olan Al 5754 Hx6 alüminyum alaşımı analiz edilmiştir. Analiz sonucunda 210 Mpa gerilmeler tasarımı yeterli dayanımda olmadığını gösterdiği için kalınlık artırma yoluna gidilmesi gerektiği görülmüştür.



Şekil 3.4. 3 mm et kalınlığında Al 5754 Hx6 alüminyum alaşımının analizi

3 mm Al 5754 Hx6 alüminyum alaşımı yeterli dayanımı sağlamadığı için et kalınlığı artırılarak tekrar analiz yapılmıştır. Et kalınlığı 3,4 mm yapılarak tekrar analiz yapıldığında mevcut St37 çelik tasarımdaki 1,15 emniyet katsayısı sağlanacak şekilde güvenilir bir tasarım Al 5754 Hx6 alüminyum alaşımı ile yapılmıştır.



Şekil 3.5. 3,4 mm et kalınlığında Al 5754 Hx6 alüminyum alaşımının analizi

4. BULGULAR

Günümüzde artan taşıt ağırlığı nedeniyle oluşan sorunlar ve bu sorunların çözümü için yapılan hafifletme çalışmalarında özellikle hafif metal olarak alüminyum öne çıkmaktadır. Ağırlık azaltımında alüminyum kullanımının yanında bilgisayar destekli optimizasyon teknikleri ile daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu tezde salıncak kolu tasarımında St 37 çelik malzeme yerine Al 5754 alüminyum alaşımı kullanımı ile hafifletme sağlanmaya çalışılmıştır. Yapılan analizler ile salıncak kolunun çeliğin sağladığı aynı emniyet katsayısı ile alüminyumdan imal edilebileceği görülmüştür. Hafifletme amacıyla St37 çelik malzemedan imal edilmiş sac salıncak kolunun Al 5754 alüminyum alaşımından imal edilmesine karar verilmiştir. Ancak aynı kalınlıklarda akma mukavemetine göre değerlendirildiğinde Al 5754 alüminyum alaşımı emniyetli değildir. Dolayısıyla et kalınlığı toplu olarak 0,4 mm artırıldığında St37 malzeme ile aynı mukavemette bir salıncak koluna ulaşılmıştır. Son durumda %59 kadar bir hafifletme yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda hazırlanan çizelge aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 4.1. St37 çelik yerine Al 5754 alüminyum alaşım ile imal edilen tasarımda sağlanan ağırlık azaltımı

Malzeme	Kalınlık	Ağırlık	Güvenlik Katsayısı
St37	3 mm	0,87 kg	1,15 Güvenli
Al 5754	3 mm	0,31 kg	0,95 Güvenli Değil
Al 5754	3,4 mm	0,35 kg	1,15 Güvenli

5. SONUÇ

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte başta güvenlik gereksinimleri olmak üzere konfor ve performans talepleri gibi artan istekler araçların ağırlığını artırmıştır. Bu çalışmada taşıt ağırlığının zamanla artma nedenleri incelenmiştir. Artan taşıt ağırlığı nedeniyle oluşan sorunlar ve hafifletme çalışmaları incelenmiştir. Ağırlık azaltmada hafif metal olarak alüminyum incelenmiştir. Alüminyumun taşıtlarda kullanımı ile sağlanan faydalara değinilmiştir. Ağırlık azaltımında alüminyum kullanımının yanında bilgisayar destekli optimizasyon teknikleri ile daha iyi sonuçlar elde edilebilmesi araştırılmıştır. Bu tezde salıncak kolu tasarımında St 37 çelik malzeme yerine Al 5754 alüminyum alaşımı kullanımı ile hafifletme sağlanmaya çalışılmıştır. Yapılan analizler ile salıncak kolunun çeliğin sağladığı aynı emniyet katsayısı ile alüminyumdan imal edilebileceği görülmüştür. Çelik malzeme yerine alüminyum malzeme kullanımı ile %59 ağırlık azaltımı sağlanmıştır. Alüminyumun yoğunluğunun düşük olması, yüksek mukavemet ağırlık oranı, kolay işlenebilmesi, geri dönüşebilmesi ve korozyon dayanımı gibi özellikleri çelik malzeme yerine ikamesini sağlamıştır. Başta güvenlik talepleri nedeniyle artan taşıt ağırlığı hibrit ve elektrikli araçların giderek yaygınlaşması ile daha da artacaktır. Artan taşıt ağırlığı araçların performansını etkilemekte, kullanımı zorlaştırmakta ve yakıt tüketimini ciddi şekilde arttırmaktadır. Taşıt tasarımı yapılan üretimin temelini oluşturup taşıt için en önemli safhadır. Bu safhada tek tek ürün tasarımı, malzeme seçimi yapılarak maliyet ve yaşam çevrimi ortaya çıkmaktadır. Çevre duyarlılığı, yasal zorunluluklar ve rekabet nedeniyle artan taşıt ağırlığı azaltılmaya çalışılmaktadır. Hafif malzemeler maliyet artışına neden olurken tasarımların küçülmesi, yakıt sarfiyatının azalması ve geri dönüşüm bu maliyetleri kabul edilebilir hale getirir. Yeni teknolojiler ve yatırımlar ile gelişen uzay havacılık sanayinin bilgi birikimi zamanla diğer sektörlerde de kullanıma girmesi hafifletme işlemlerini hızlandırmaktadır. Alüminyum uzay ve havacılıkta sağladığı hafiflik ve iyi mukavemet özellikleri ile taşıtlarda da kullanılmaya başlamıştır. Genelde hafif malzeme olarak alüminyum alaşımları taşıtlarda en çok kullanılan geleneksel çeliklerin yerine kullanılmaktadır. Araçların seri üretimi ve rekabet taşıt ağırlığını önemli sorun haline getirmesi sadece hafif malzeme ile sorunun çözülemeyeceği anlaşılmıştır. Bilgisayar destekli yazılımlar ile istenen talepler insanların bilinçsiz kısıtlarına bağlı kalmaksızın

hızlı şekilde günümüzde karşılanmaktadır. Ancak bilgisayar destekli yazılımların pahalı olması ve yeterli sayıda nitelikli personel ihtiyacı engel teşkil etmektedir. Taşıt ağırlıkları yeni alaşımlar ve alaşımların çeşitlenmesi, yeni imal yöntemleri, hafif alüminyum, hafif alüminyumdan 4 kat daha hafif köpükler, yüksek maliyetlerin azalması, bilgisayar destekli optimizasyon yöntemleri ile sürekli azaltılıp mekanik özellikler iyileştirilmektedir.

KAYNAKLAR

Aghion, E., Boronfin B., Eliezer D.2001. The Role of the Magnesium Industry in Protectingthe Environment, *J.Mat. Proc. Tech.*, 117, p: 381-385.

Ahmad Z. ,Thambiratnam D. P., 2009.Crushing response of foam-filled conical tubes underquasi-static axial loading, *Materials& Design*, 30(7): 2393-2403.

Alan, S., 2008. Alüminyum Raporu. Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği, Ankara.

Anonim, 1998. Aluminum Automotive Extrusion Manual.The Aluminum Association, Washington DC.

Anonim, 1999. Aluminum in the automotive industry. European Aluminium Association, Brussels.

Anonim, 2004. Bir otomobil üretmek için 5 ton maden tüketiliyor. <http://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/bir-otomobil-uretmek-icin-5-ton-maden-tuketiliyor-248245>, 11.08.2004 (Erişim tarihi: 09.01.2020).

Anonim, 2006. Alüminyum Raporu. Tmmob Metalurji Mühendisleri Odası, Alüminyum Komisyonu 24.Dönem Çalışma Raporu.

Anonim, 2010. U.S. Department of Energy Vehicle Technologies Program Office of Energy Efficiency and Renewable Energy U.S. Department of Energy, Multi-year Program Plan 2011 – 2015, USA.

Anonim, 2011a. Global Market For Lightweight Materials Used In Transportation To Be Worth \$125.3 Billion In 2015. [https://www.bccresearch.com/pressroom/avm/global-market-lightweight-materials-used-transportation-worth-\\$125.3-billion-2015](https://www.bccresearch.com/pressroom/avm/global-market-lightweight-materials-used-transportation-worth-$125.3-billion-2015) (Erişim Tarihi: 12.01.2020).

Anonim, 2011b. Aluminum Automotive Extrusion Manual, The Aluminum Association, Washington DC.

Anonim, 2017a. Avrupa Birliği'nin Düşük Karbon Emisyonlu Ulaştırma Sektörü Stratejileri Ve Türk Otomotiv Sektörü Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Enerji Verimliliği Çalışma Grubu Ev2,Aralık 2017.<https://fr.motor1.com/news/345341/limite-emission-co2-europe-2025-2030/>.

Anonim, 2017b. 2018 Audi A8 alüminyum ağırlıklı gövdesini sergiledi. <https://tr.motor1.com/news/142690/2018-audi-a8-aluminyum-video/> (Erişim Tarihi: 12.01.2020).

Anonim, 2019a. Elektrikli Otoyol Pili Vergisi. Elektrik Üreticileri Derneği. <http://www.eud.org.tr/2019/01/07/elektrikli-otoyol-pil-vergisi/> (Erişim Tarihi: 12.01.2020).

Anonim, 2019b. 2015 Model Volvo XC90 Euro NCAP test sonuçları. <https://www.euroncap.com/tr/results/volvo/xc90/209762019>. (Erişim Tarihi: 12.01.2020).

Anonim, 2020. Google görseller. <https://www.google.com/imghp?hl=TR> (Erişim Tarihi: 20.03.2019).

Anonim, 2020a. Otomotiv sektöründe kullanılan mühendislik malzemelerinin 4 ana grubu. <https://docplayer.biz.tr/63902917-Otomotiv-sektorunde-kullanilan-muhendislik-malzemelerinin-4-ana-grubu.html> (Erişim Tarihi: 12.12.2019).

Anonim, 2020b. Güvenlik. <http://elektromot.com/tag/guvenlik/> (Erişim Tarihi: 12.01.2020).

Anonim, 2020c. Araba radyatörü. Porsche. <https://turkish.alibaba.com/product-detail/car-radiator-for-porsche-oem-97010613102-97010613103-60814762721.html>. (Erişim Tarihi: 24.01.2020).

Anonim, 2020d. 2920A123 Mitsubishi Outlander için Araba Eşanjör. <https://turkish.alibaba.com/product-detail/2920a123-for-mitsubishi-outlander-car-heat-exchanger-60624765429.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.1cbd23c5QUix3Y> (Erişim Tarihi: 24.01.2020).

Anonim, 2020e. Motor Parçaları ve Görevleri. <http://carstechnic.com/motor-parcalari/> (Erişim Tarihi: 24.01.2020).

Anonim, 2020f. T6061 Alüminyum Alaşım 18 İnç Araba Vossen CV4 CV7 Tekerlek Jantlar. <https://turkish.alibaba.com/product-detail/t6061-aluminum-alloy-forged-18-inch-car-vossen-cv4-cv7-replica-wheel-rims-60657801284.html> (Erişim Tarihi: 12.01.2020).

Anonim, 2020g. 2020 Alcoa Wheels genel broşür. <http://ak-set.com.tr/Dokumanlar/Genel-Brosur.pdf> (Erişim tarihi: 09.01.2020).

Anonim, 2020h. Üretimsel Tasarımın Abartıldığını mı Düşünüyorsunuz? Bu Örnekler Fikrinizi Değiştirebilir. <https://www.autodesk.com.tr/redshift/uretimsel-tasarim-ornekleri/> (Erişim Tarihi: 12.12.2019).

Anonim, 2020ı. Maden Taşımacılığında demiryolu-Karayolu Karşılaştırması. Ddy Genel Müdürlüğü /APK Daire Başkanlığı. http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/2cd63cb189c30ed_ek.pdf (Erişim tarihi: 13.02.2020).

Anonim, 2020i. Motorlu Araçlar Teknolojisi Gövde Ve Tasarım Kitabı, Meb, Sayfa 44. 2011 (Erişim tarihi: 02.03.2020)

Anonim, 2020j. Euro Ncap Safety Assist. <https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/safety-assist/> (Erişim tarihi: 02.01.2020)

Anonim, 2020k. Hascometal. Teknik Bilgiler. <http://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=71> (Erişim tarihi: 24.03.2020)

Anonim, 2020l. Seykoç Alüminyum. Alaşımlar. <http://www.seykoc.com.tr/icerik/5754?dil=tr> (Erişim tarihi: 24.03.2020)

Anonim 2020m. Türkiye 306,9 milyar kilometre yol katetti. TRT Haber. <https://www.trthaber.com/haber/gundem/turkiye-3069-milyar-kilometre-yol-katetti-486425.html> (Erişim Tarihi: 21.05.2020)

Ashley, S. ,1994. Aluminum vehicle breaks new ground. *Mechanical Engineering*, 116, No.2.

Aşkar, M. T. 2018. Bilgisayar Destekli Çarpışma Analizi İle Otomobil Ön Tampon Optimizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya

Awan G. H.,Ahmed F., Ali L., Shuja M. S., Hasan F., 2008. Effect of Coating-thickness on the Formability of Hot Dip Aluminized Steel. *Pak. J. Engg. Appl. Sci.* Vol. 2. pp.14-21.

Aydin H., Nelson T.W. 2013. Microsutructure and Mechanical Properties of Hard Zone in Friction Stir Welded X80 Pipeline Steel Relative to Different Heat Input, *Materials Science&EngineeringA*, 586 313-322.

Cobden, R. 2019. Aluminium: Physical Properties, Characteristics and Alloys, *TALAT Lecture* 1501, Alcan, Banbury.

Cakar, A.E.1997. Ankara Kent ici Ulaşımın Dünü Bugünü Yarını. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trafik Planlaması ve Uygulaması Ana Bilim Dalı, *Trafik Dergisi* Özel Sayı Ağustos 1997, s.17.

Dünder, M., Güngör, G. 2002. Otomotiv Sektöründe Alüminyum Uygulamaları ve Sürekli Döküm Tekniği ile Üretilmiş Alüminyum Levha Alaşımları. <http://www.assanaluminyum.com/dc/image/p3.pdf>. (Erişim Tarihi:17.05.2019).

Eroğlu, G. ,şahiner, M. 2018. Dünyada Ve Türkiye’de Alüminyum. Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/aluminyum.pdf>. (Erişim tarihi: 21.11.2019)

Ersöz, M. 2017. Otomotiv Sektöründe Prototip İmalatının Dünü, Bugünü Ve Yarını. Volvo Cars. https://www.linkedin.com/pulse/otomotiv-sekt%C3%B6r%C3%BCnde-prototip-imalatinin-d%C3%BCn%C3%BC-bug%C3%BCn%C3%BC-ve-mustafa-ers%C3%B6z?trk=related_artice_OTOMOT%C4%B0V%20SEKT%C3%96R%C3%9

CNDE%20PROTOT% C4%B0P%20% C4%B0MALATININ%20D% C3%9CN% C3%9C%2C%20BUG% C3%9CN% C3%9C%20VE%20YARINI_article-card_title (Erişim tarihi: 21.03.2020)

Grilec, K., Maric', G., Jakovljevi c', S. 2010. A study on energy absorption of aluminium foam. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 155(5): 231 – 234.

Göv, İ., Kütük, M.A., 2007. Topoloji Optimizasyonunda Eleman Silme Metodunun Uygulanması. Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, XV. Ulusal Mekanik Kongresi, 03-07 Eylül 2007, Isparta.

Hagen, E. 2001. The Aluminum Market at the Beginning of a New Century. 6th International Secondary Aluminum Congress of the OEA.

Hill, N. et al. 2011. The role of GHG emissions from infrastructure construction, vehicle manufacturing, and ELVs in over all transport sector emissions. Task 2 paper produced as part of a contract between European Commission Directorate-General Climate Action and AEA Technology plc.

Höke, Ö. 2016. Hafif Ticari Araçlarda Kullanılan Motor Traversinin Yapısal Optimizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Kadayıfçı, G. 2007. Orta ve Yeni Nesil Araçlarda Pasif Güvenlik Sistemleri. *Lisans Bitirme Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü.

Kazdal Zeytin, H., 2000. Alüminyum alaşımları, otomotiv endüstrisinde uygulamaları ve geleceği, MAM-MKTAE/OSD, Gebze, Türkiye.

King, J., 2007. The King Review of low-carbon cars - Part I: the potential for CO2 reduction, London.

Mayyas, A., Qattawi, A., O.M. Shan. 2012. Design for sustainability in automotive industry: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(2012) 1845– 1862.

Pasaoglu, G., Fiorello, D., Martino, A., Scarcella, G., Alemanno, A., Zubaryeva, A., Thiel, C. 2012. Driving and Parking Patterns of European Car Drivers - A Mobility Survey. Joint Research Centre of the European Commission, Netherlands, https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/Driving_and_parking_patterns_of_European_car_drivers-a_mobility_survey.pdf, (Erişim Tarihi: 23.05.2020).

Sağkal C., 2019. Alüminyum kablo mu yoksa Bakır kablo mu?. Türk Prysmian Kablo ve Sistemleri A.ř., <https://tr.prysmiangroup.com/tr/aluminyum-kablo-mu-yoksa-bakir-kablo-mu>. (Erişim tarihi: 13.10.2019).

Song, Y., Youn, R., Gutowski, T.G. 2009. Life cycle energy analysis of fiber reinforced composites. *Composites: Part A* 40 (2009) 1257–1265.

Soysal Ş., 2019. Yeni Opel Corsa ciddi şekilde zayıflayacak.<https://tr.motor1.com/news/344699/yeni-opel-corsa-hafifleme/> (Erişim Tarihi: 20.11.2019).

Soysal Ş., 2017. 2018 Audi A8 alüminyum ağırlıklı gövdesini sergiledi.<https://tr.motor1.com/news/142690/2018-audi-a8-aluminyum-video/> (Erişim Tarihi: 10.01.2020).

Topologica 2011. CATOPO: Topology Optimization and FE Analysis in the CAD.http://www.topologicasolutions.com/software_catopo.html- (Erişim tarihi: 13.10.2011).

Tüfekçi M., 2016. Hafif ticari araç kapıları için modüler menteşe tasarımı, optimizasyonu ve prototip imalatı.*Yüksek Lisans Tezi*,455507 Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Yalçınalp, E. 2019. Jeotermal Enerji: Rekor büyüme ve sorunlar.BBC News Türkçe.<https://www.youtube.com/watch?v=H7m22GwUB34> (Erişim Tarihi: 23.05.2020).

Yavuz, İ., Başpınar, S., M., Bayrakçeken, H., 2009. Metalik Köpük Malzemelerin Taşıtlarda Kullanımı.*Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)* (3) , 43-51.

Yıldırım, H. 2006. Alüminyum Malzemenin Otomotiv Sektöründeki Uygulamaları.*Yüksek Lisans Tezi* İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yüce, C. 2013. Yeni Nesil Ticari Araçlar İçin Hafifletilmiş Yolcu Koltuğu Tasarımı Ve Prototip İmalatı. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Recep ÇAĞLAYAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Muş 1989
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Muş Anadolu Lisesi
Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği
Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar :

İletişim (e-posta) : recepcaglayan@gmail.com

Yayınları :