



Otomotiv Teknoloji Platformu

**OTOMOTİVDE
HAFİFLEŞTİRMeye YÖNELİK
MALZEME TEKNOLOJİLERİ
ÇALIŞMA GRUBU RAPORU**

Haziran 2016

GİRİŞ.

Motorlu taşıtlarda ağırlık, hem seyir dinamiğine hem de yakıt tüketimine doğrudan etkili olduğu için üreticiler her zaman ağırlık azaltılmasına çok önem vermiştir.

Ürün geliştirme süreçlerine bilgisayar analizlerinin dahil edilmesi ile ağırlık azaltma çalışmaları ana hedeflerden biri olmuş, ancak hafif malzemelerin tasarıma dahil edilmesi bu malzemelerin yüksek maliyeti nedeniyle hep kısıtlı kalmıştır.

Hafif malzemelerin kullanımı nedeniyle maliyette olan artış yüksek adetli üretimlerde çok daha belirgin olmuştur. Bununla birlikte karbondioksit salınımıyla ilgili yasal zorunlulukların da oluşturduğu gereksinimlerle, araç hafifletme çalışmaları ve yüksek adetli imalat ile uyumlu hafif malzeme geliştirme çalışmaları küresel olarak yaygın hale gelmiştir.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemeler, daha kullanıma başlamadan önce birçok kriteri sağlamak zorundadır. Bu kriterler genelde çevre ve çarpışma güvenliği ile ilgili yasalar, mevzuatlar ve kamusal protokollerin beklentilerinin bir sonucu olduğu kadar, müşteri beklentilerinin ve şirket hedeflerinin de yansıması olarak ortaya çıkmaktadır.

İÇİNDEKİLER :

1. GENİŞ ÖZET.....	3
2. HAFİF ARAÇ GELİŞTİRMENİN MOTİVASYONU VE GLOBAL EĞİLİMLER	6
3. HAFİF ARAÇ TASARIMI VE ALTERNATİF MALZEMELER	8
3.1 Çelikler.....	13
3.2 Alüminyum alaşımları.....	14
3.3 Magnezyum alaşımları.....	16
3.4 Plastikler ve Kompozitler	16
4. OTOMOTİVDE KULLANILAN MALZEMELER.....	19
5. TÜRKİYE’DE HAFİF ARAÇ TEKNOLOJİSİ İÇİN MALZEME İHTİYACI	20
7. KAYNAKLAR.....	25

1. GENİŞ ÖZET

Dünyada 2015 yılında üretilen motorlu taşıtların adedi 90,8 milyon olup, bunların 68,5 milyonu otomobildir. 2015 yılı rakamlarına göre Avrupa Topluluğunda üretilen motorlu taşıtların sayısı 18,2 milyondur. Türkiye’de üretilen motorlu taşıt adedi ise 1,359 milyondur. (Kaynak OICA, OSD)

2014 yılı verilerine göre dünya genelinde yollardaki aktif araç sayısı 1,234 milyardır ve bunların 907 milyonu otomobildir. Ülkemizde ise 2014 yılı rakamlarıyla 1,17 milyon motorlu taşıt üretilmiştir ve ülkemiz dünya otomotiv üretiminin %1,3 ünü gerçekleştirmektedir.

2008 de yaşanan küresel ekonomik kriz sebebiyle otomotiv sanayii üretimi ciddi gerileme kaydetmiş olmakla beraber, 2015 yılı üretimi kriz öncesi seviyelere yaklaşmış durumdadır. Diğer taraftan Çin pazarında üretim ve satış adetleri sürekli artmıştır (5,2 milyon adetten 23,8 milyon adete). Güney Kore otomotiv üretimi %35 büyürken, Hindistan ve Meksika’daki üretim adetleri ise sırasıyla %150 ve %113 artmıştır. 2015 rakamlarıyla ülkemiz;

- Dünya otomotiv üretiminde onbeşinci
- Avrupa Birliğinde ;
 - Hafif ticari araç üretiminde birinci
 - Ticari Araç Üretiminde birinci
 - Otomobil üretiminde beşinci
 - Kamyon üretiminde ikinci
 - Otobüs üretiminde birinci ve
 - Toplam motorlu taşıt üretiminde ise beşincidir.

Küresel ısınma üzerine çalışan bilim insanları, dünyanın ısınmasının en önemli sebeplerinden birisi olarak fosil kaynaklı yakıtların kullanılmasını göstermektedirler. Küresel ısınmadan kaynaklı problemlerin önüne geçmek için Birleşmiş Milletler öncülüğünde, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi dünya ülkeleri tarafından imzalanmış ve 1994 de yürürlüğe girmiştir. 1997 yılında ise 192 ülke bir araya gelerek Kyoto protokolünü imzalamıştır. Bu sözleşmede sera gazlarının salınımı küresel ısınmanın ana sebebi olarak belirtilmiş, ülkelere sera gazı salınımı azaltmak için hedefler verilmiş ve 21. yüzyıl sonunda endüstri devrimi öncesine göre dünya sıcaklığındaki artışın 2°C ile sınırlandırılması hedeflenmiştir. 2016 Paris toplantısında ise sıfır emisyon hedefi ve dünya sıcaklığındaki artışın 1,5°C ile sınırlandırılması konuşulmuştur. Bazı bilim insanlarına göre ise böylesi bir hedefin başarılabilmesi, dünya genelinde sıfır emisyonun 2050 öncesinde başarılması ile mümkün olabilecektir.

Karbondioksit daha çok insan faaliyetleri neticesinde ortaya çıkmaktadır ve insan kaynaklı tüketimler küresel ısınmanın %64’ünden sorumludur. Günümüzde dünya atmosferinde mevcut karbondioksit miktarı endüstriyel devrimin başlangıcına göre %40 daha fazladır. Ulaşım sektörü kaynaklı CO₂ salınımı ise gelişmiş ülkelerde ciddi miktarlara ulaşmıştır. Avrupa Çevre Ajansı verilerine göre, motorlu karayolu taşıtlarının sebep olduğu CO₂ salınımının yarısından otomobiller sorumludur. Avrupa kıtasında, karbondioksit salınımının en az %19,8’i ise sadece motorlu karayolu taşıtlarının fosil

yakıt tüketmesinden kaynaklanmaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinde ise ulaşım sektörünün karbondioksit salımına katkısı %27'lere ulaşmaktadır. Bu nedenle motorlu taşıtların karbondioksit salımını azaltmak için imalatçılara yasal hedefler verilmiştir.

Avrupa Topluluğunda CO₂ [gr/km] salınımı hedefi;

CO ₂ [gr/km]	2015	2021	2025
Otomobil	130	95 (~3,8 litre/100km)	68-75 (2,6-2,8 litre/100km)
Hafif ticari araçlar	175	147 (~5.6 litre/100km)	107 (~4,8 litre/100km)

Amerika Birleşik Devletlerinde otomobiller, kamyonetler, hafif ticari araçlar, SUV, MUV gibi genelde kişisel kullanım araçları için :

Menzil hedefi (mil/galon)	2021	2025
Otomobil, hafif ticari araç, SUV, MUV	42 (~5,6 litre/100km)	54 (~4,36 litre/100km)

Hafif araç tasarlayarak motorlu taşıtların enerji tüketim verimliliğini arttırmak ve CO₂ salınımını azaltmak mümkündür. Literatüre göre yaklaşık 1500 kg ağırlığındaki bir otomobili %10 hafifletmek, CO₂ salınımını %4-10 arasında azaltır.

İçten yanmalı motor kullanan bir otomobilin CO₂ salınımını azaltmak için çalışmalar aşağıdaki başlıklar altında gerçekleştirilebilir;

1. Daha hafif araç tasarımı,
2. Motor silindir hacmini azaltma,
3. Daha küçük hacimli yakıt tankı kullanma,
4. Entegre edilmiş fonksiyonel tasarım,
5. Alternatif tahrik kaynakları kullanma (Hibrit, BEV, PHEV, FCEV, ...)

Bataryalı elektrikli araçların (BEV) Tanktan Tekere CO₂ salınımı sıfırdır. Ancak aküyü şarj eden elektriğin hangi kaynaklardan elde edildiği, BEV 'in CO₂ salınımını belirler. Elektrikli araçlarda akü enerji sağlayan kaynaktır ve mevcut akü teknolojilerinde akü ağırlığı başına depolanabilen enerjinin sınırlı olması, BEV ler içten yanmalı motorlu araçlara göre daha ağır olmaktadır. Örneğin C sınıfı bir otomobilin BEV uygulaması, içten yanmalı modeline göre 200kg ± 50kg civarında daha ağır olmaktadır. BEV'in menzilini arttırabilmek ve dolu ağırlığını içten yanmalı motor kullanan taşıtlara göre rekabetçi hale getirmek için mümkün olduğunca hafif araç tasarımı yapmak zorunludur.

Otomotiv endüstrisi yürürlükte olan egzoz emisyonu kısıtlarını içten yanmalı motorların ve egzoz sistemlerinin iyileştirilmesi sayesinde sağlamış, süreç ile beraber daha da sıkılaştırılan emisyon hedeflerini başarmak için daha bütüncül yaklaşımlar geliştirmiştir. Bu çerçevede alternatif enerji kullanımı ve beraberinde hafif araç tasarımı ana gündem

olmuştur. Hafif araç tasarımı, birim ağırlığı başına sağladığı mekanik özellikleriyle çelik ile rekabet edecek alternatif malzemelerin geliştirilmesini ve kullanımını gerektirir.

Araç ağırlığını azaltmak için en kestirme yol, yoğun olarak kullanılan geleneksel çelik malzemeye alternatif malzemeler üretmektir. Alüminyum, magnezyum, titanyum, plastikler, ileri yüksek mukavemetli çelikler ve kompozit malzemeler motorlu taşıt tasarımında ağırlık azaltılması için kullanılabilir. Ancak hafif malzemelerin kullanılmasının önündeki en büyük engeller, malzemenin maliyeti, bu malzemenin üretim süreç maliyeti ve çoğu zaman üretilecek komponent için konvansiyonel malzemelere oranla farklılaşması gerekli imalat (kaynaklama, şekillendirme metodları, korozyon koruma vs) maliyetleridir. Bu nedenle toplam maliyeti kabul edilebilir seviyedeki hafif malzemelerin geliştirilmesinin, tasarım ve analiz yöntemlerinin, o malzemelere uygun yüksek adetli üretim teknolojilerinin ve birleştirme teknolojileri, fiziksel test yöntemleri konularının öncelenmesi ve desteklenmesi zorunludur.

Ekzoz gazın salınımında iyileştirme yapabilmenin ana eksenlerinden birisi, otomobilin bir bütün olarak ağırlığının azaltılmasıdır.

“United States Center for Automotive Research” biriminin çalışmalarına göre “önemli miktarda ağırlık azaltması yapmaksızın” enerji verimliliğini sağlayabilecek ve maliyet açısından da uygulanabilir bir teknoloji mevcut değildir

CO₂ salımı hedefleri göz önüne alındığında, Türkiye’de üretilen araçlar çoğunlukla Avrupa Birliğine ihraç edildiği ve ülkemizin Avrupa Birliğine katılma ve AB mevzuatlarına uyma hedefini başarmak istediği dikkate alınrsa; birincil olarak Avrupa Birliği mevzuatları çerçevesinde politikaların oluşturması zorunluluğu aşıkardır. Diğer taraftan Amerika Birleşik Devletleri pazarına araç ihraç edildiği de dikkate alınrsa ABD pazarının yasal zorunlulukları da dikkate alınmalıdır.

Türkiye; 2011-2023 iklim değişikliği strateji belgesinin Ulaştırma başlığı altında “enerji verimliliğini arttırmak” ve “CO₂ salımını azaltmak” için orta vadeli hedefler tanımlamıştır.

Otomotiv Sanayii Derneği verilerine göre son on yıl Türkiye’de üretilen otomobil ve hafif ticari araç adetleri sürekli artış eğilimini korumuş ve 2004 yılından 2014 yılına kadar yerli motorlu taşıt üretimi yaklaşık %50 artmıştır. Üretim adetlerinin 2014 den 2025 e yine bu ivme ile artacağı varsayılırsa; 2025 de en az 2 milyon adet yerli üretim olacaktır. 2025 yılıyla beraber daha da sıkılaşacağı varsayılan CO₂ salınımının baskısıyla, ticari araçlarda da M1 sınıfı araçlara benzer oranda ağırlık azaltması talebi oluşacaktır. Bu talep ile beraber, özellikle araç gövdesi ve şasi parçaları imalatında kullanılacak malzemeler değişecek ve ülkemizde üretimde olan malzeme çeşitliliği ve bunların üretim kapasitesi yetersiz kalacaktır. Sonuçta yerli malzeme üretiminin otomotiv endüstrisini destekleme oranı %15'lere kadar düşebilecektir. Ülkemiz otomotiv endüstrisinin rekabetçi pozisyonunu daha da güçlendirmek ve 2011-2023 iklim değişikliği strateji belgesindeki ilgili hedefler ile uyumlu kalmak için, 2025 yılı öncesinde geleneksel çelik malzeme ile rekabet edebilecek daha yüksek mukavemetli çeliklerin, ileri yüksek mukavemetli hafif metal alaşım ve kompozit malzemelerin geliştirilmesi ile birlikte ve üretim kapasitesi oluşturulması bir zorunluluktur.

2. HAFİF ARAÇ GELİŞTİRMENİN MOTİVASYONU VE GLOBAL EĞİLİMLER

Egzoz gazları bileşiminde olan zararlı gazların çevre ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerini azaltmak, Dünya Sağlık Örgütü, Birleşmiş Milletler ve Avrupa Topluluğu gibi birçok kuruluşun yıllardır gündemindedir. Bu konuda hazırlanan pek çok rapor ve bunlara atıfta bulunarak hazırlanan yasal mevzuatlar, otomotiv endüstrisini direkt olarak bağlamaktadır. İçten yanmalı motorların egzozundaki kirleticilerin miktarını kısıtlayan yasal mevzuatlar 1960'lardan itibaren gündemde olmuştur. Avrupa Topluluğu, trafikte yoğunluğu en fazla olan otomobiller ve hafif ticari araçların çevreye saldıkları egzoz gazı içerisindeki kirleticilerin miktarını sınırlamak için 70/220/EEC, 443/2009, 510/2011 333/2014, ve 253/2014 gibi ana ve ek yasal mevzuatlar yayınlamıştır.

Otomotiv imalatçıları, AT için 2020 CO₂ hedefini (95 gr/km), daha çok içten yanmalı motor teknolojileri üzerinden sağlamayı planlamaktadır. Bu sınır daha ziyade yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, içten yanmalı motorların yanma verimliliğinin artırılması ve egzoz sistemine eklenen temizleyici ve süzücü sistemler ile sağlanacaktır. Özellikle çarpışma güvenliğiyle ilgili yeni mevzuatların, rekabet ve diğer sebeplerin sonucunda artan araç ağırlıkları, ileri yüksek mukavemetli çelik kullanım miktarı artırılarak veya yoğunluğu düşük malzeme kullanım oranı artırılarak çözülmektedir. 2025 sonrasında sadece içten yanmalı motorlar ile tahrik edilen M1 sınıfı araçların, CO₂ hedefini sağlaması mümkün gözükmemektedir. Alternatif tahrik sistemlerinin kullanılması sonucunda ortaya çıkabilecek ağırlık sorunları çok daha belirgin hissedilecektir. Sonuçta özellikle otomobillerin gövde ve şasisinde kullanılacak çelik malzemenin toplam ağırlıktaki oranının, %50'lerin altına indiği yeni bir dönem başlayacaktır.

AT pazarında hafif ticari araçların CO₂ hedefleri otomobillere göre daha geriden gelmektedir ve muhtemelen 2025 için yayınlanacak CO₂ hedefi de otomobillerin 2021 hedefine yakın olacaktır. Bu nedenle hafif ticari araçlar için uygulanacak 2025 reçetesi, 2021 de otomobiller için uygulanacak çözümlere benzer olacaktır. Hafif ticari araçlar için 2025 sonrasında açıklanacak hedeflerin daha zorlayıcı olması muhtemeldir. Bir önceki nesil otomobiller için uygulanacak çözümler bir sonraki nesil hafif ticari araçlar için kullanılabilecektir.

Amerika Birleşik Devletleri pazarında hafif ticari araçlar için AT de olduğu gibi bir konfor alanı mevcut değildir, orada her iki tür araca da (Avrupa sınıflamasına göre M1 ve N1 sınıfı araçlar) aynı hedef verildiği için, eş zamanlı olarak aynı çözümün uygulanması zorunluluğu vardır.

Otomotiv endüstrisini ağırlık azaltma çalışması yapmaya motive eden sebepler aşağıdaki gibidir;

- 1) Taşıtların yakıt tüketimini azaltmak,
- 2) Taşınan ağırlığın oranını arttırmak,
- 3) Alternatif tahrik ve konfor ihtiyacı nedeniyle araç ağırlığındaki artışı geri kazanmak,
- 4) Daha verimli tasarım yapmak, daha az malzeme kullanıp araç ağırlığı ve maliyetinde avantaj sağlamak ve
- 5) Çevresel etkileri iyileştirmek.

Aracı oluşturan bütün alt sistemleri teker teker irdeleyerek enerji verimliliğini önceleyen tasarımlar yapmak ve yenilikçi malzemeler kullanmak, önümüzdeki yıllarda otomotiv mühendisliğinin ana odağı olacaktır. Bu amaca hizmet etmek maksadıyla, Avrupa Topluluğunun çerçeve programları kapsamında desteklediği birçok proje mevcuttur. SuperLight-Car (SLC) projesi kapsamında, referans hafif ticari aracın ağırlığının %30 azaltılması hedefi konmuş ve bu proje başarıyla bitirilmiştir.

SuperLight-Car projesinde elektrikli hafif ticari araç geliştirilmesi hedeflenmiştir. %30 hafif araç hedefi; yenilikçi tasarımlar ve yenilikçi malzeme kullanımıyla sağlanmıştır. SLC projesinin devamında ALIVE projesi kurgulanmış ve bu projeyle %20 daha hafifleştirme hedefi konmuştur. Bu proje 2016 yılı sonunda bitirilecektir. ALIVE kapsamında yayınlanan raporlardan anlaşıldığı üzere, bu projenin gerçekleştirilmesi için alüminyum alaşımları, magnezyum, ileri yüksek mukavemetli çelik ve karbon-fiber kompozit malzemelerin birlikte kullanımı öngörülmüştür. Yenilikçi malzemeler yanında yenilikçi tasarımlar, analiz yöntemleri ve imalat yöntemleri de gündemlerindedir. Avrupa'daki destek enstrümanlarından bir tanesi olan yedinci çerçeve programında ALIVE projesiyle beraber SafeEV, ENLIGHT, MATISSE projeleri de desteklenmiştir. Bu projeleri koordine etmek için de SEAM adlı bir çatı programı oluşturulmuştur.

SafeEV – Safe Small Electric Vehicles through Advanced Simulation Methodologies: Bu proje ile küçük elektrikli araçların geliştirilmesi sürecinde yapılacak testlerin, sanal ortamda gerçekleştirebilmek için basit ve kolayca uygulanabilir yöntemler geliştirmek hedeflenmiştir.

ALIVE: Bu projeyle yakın gelecekteki elektrikli araçlarda kullanılacak hafif araç teknolojileri geliştirmek amaçlanmaktadır.

ENLIGHT: Gelecekte seri olarak üretilecek elektrikli araçlarda kullanılmak üzere yüksek teknoloji ürünü patentli malzeme teknolojileri geliştirmek amaçlanmaktadır. Teknoloji geliştirme sürecinde dört ana eksen, performans, üretilebilirlik, maliyet verimliliği ve karbon ayak izi olacağı belirtilmiştir (performance, manufacturability, cost effectiveness and lifecycle footprint).

MATISSE: Özellikle alternatif sistemler ile tahrik edilecek araçlarda seri üretim FRP (fibre reinforced polymer) malzeme kullanılacağı ve bu kullanımda bilgisayar destekli CAE analiz becerisinin de gelişmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle sanal yetkinliklerde atılım yapmak için CAE modeli oluşturma, testler ile uyumluluk ve çarpışma performansı hususlarının optimizasyonu çerçevesinde bir proje planlanmıştır.

Altıncı ve Yedinci çerçeve programlarıyla, bu projelere ek olarak özellikle yenilikçi malzeme geliştirme, farklı malzemelerin birleştirilmesi, seri üretim yöntemleri çerçevesinde daha birçok proje fonlanmıştır. Yedinci çerçevede desteklenen bu projeler; Exomet, Coeus-Titan, PowderBond, Elva, NanoTough, Clever, EMF, NanoMag, Schecas, Rheo-Light ve diğerleridir.

Amerika Birleşik Devletlerinde ise özellikle Enerji Bakanlığı tarafından hafif araç geliştirme bağlamında desteklenen projeler ile özellikle alüminyum alaşımlar, magnezyum alaşımlar ve elyaf takviyeli kompozitlerin motorlu taşıtların üretiminde

kullanılması desteklemektedir ve hafif malzeme geliştirme projeleri ile beraber bu malzemelerle yüksek adetli seri imalat yöntemlerinin geliştirilmesi de fonlanmaktadır.

3. HAFİF ARAÇ TASARIMI VE ALTERNATİF MALZEMELER

Otomotiv firmaları hafif araç tasarımından maksimum verimliliği elde edebilmek için bütüncül yaklaşımı tercih etmektedirler. Bütüncül yaklaşım üç farklı hafif araç paketi önerir;

- 1) İyileştirilmiş içten yanmalı motor veya melez güç sistemi paketi. Bu pakette yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı önceliklidir.
- 2) Elektrikli araç gibi alternatif güç sistemlerinin kullanılması; Bu paket ile genelde alternatif güç sisteminden kaynaklanan ilave ağırlığın geri kazanılması (BEV deki aküden kaynaklanan ek ağırlık gibi) ve menzil artırılması için ağırlık azaltılması gerekir. Bunun için geleneksel çelik yerine ileri yüksek mukavemetli çelikler ile alüminyum ve magnezyum alaşımları ve kompozit gibi yoğunluğu düşük malzemeler kullanılır. Mevcut akü teknolojilerinin birim akü ağırlığı başına depolayabildiği enerji, 1500 kg ağırlığındaki bir otomobili en az 400 km menzile götürebilmesi beklentisi, hafif araç ihtiyacını daha da belirgin kılmaktadır.
- 3) İkinci paketteki yoğunluğu az malzeme tercihi karbon elyafli kompozit malzemeden yana kullanılır. Karbon elyaf kompozitler 2016 yılında hala lüks veya ultra lüks sınıf araçlarda kullanılmaktadır. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin güncel birim fiyatı ve bu malzemeden parça üretme maliyetleri dikkate alındığında, yüksek adetli taşıt imalatında bu malzemenin kullanılmasının orta vadede bile sınırlı olmasına sebep olacaktır.

Geleneksel olarak gövde, kapı ve şasi parçaları imalatında çelik sac kullanılırken, motor ve aktarma organları imalatında dökme demir ve alüminyum döküm ana malzemelerdir. Çeliğin maliyetinin düşük olması, otomotiv endüstrisinde ve diğer endüstri kollarında yaygın olarak kullanılmasına sebep olmuştur.

Yüksek adetli (hacimli) imalat yapan otomotiv endüstrisinde, herhangi bir alternatif malzemenin kullanılabilmesi için;

- Yeterince biliniyor olması (ürün geliştirme sürecini analitik yöntemler ile destekleyebilmek için yorulma, mukavemet, çarpışma ve ısı performans gibi mekanik özellikleri ve imalat sürecini destekleyebilmek için ise şekillendirilebilirlik ve imalat yöntemlerine uyumluluk konularında yeterince veri ve bilgi birikimi olmalıdır)
- Yeterince ve sürekli tedarik edilebilir olması
- Birim maliyetinin alternatiflerine göre kabul edilebilir olması gerekir.

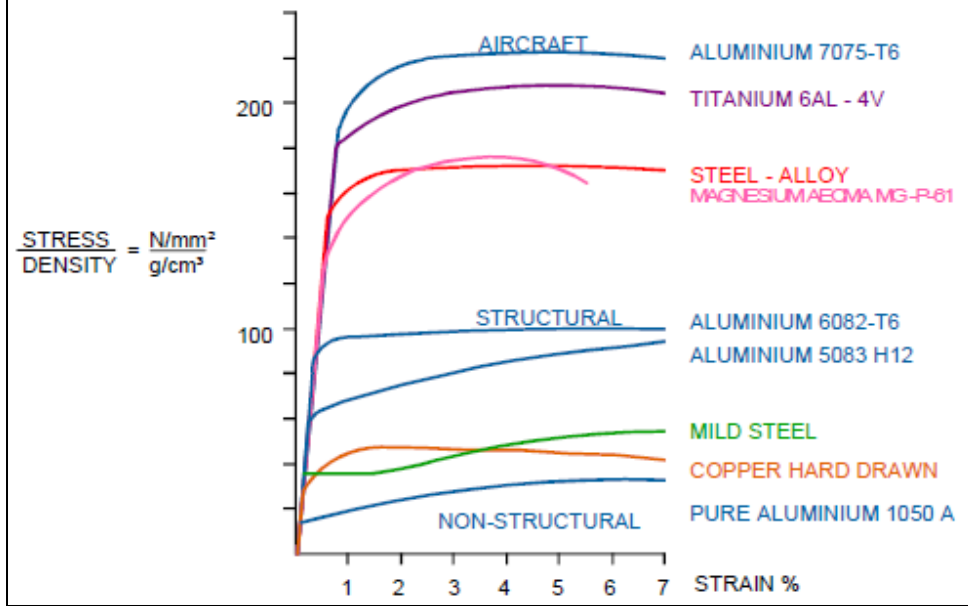
Bu çerçevede alternatif malzemeler değerlendirildiğinde;

- İleri yüksek mukavemetli çelikler,
- Alüminyum alaşımları,
- Magnezyum alaşımları,
- Plastikler ve

- Kompozit malzemeler (özellikle cam ve karbon elyaf takviyeli)

öne çıkmaktadır.

Kompozitlerde asıl taşıyıcı bileşen cam elyaf, organik elyaf, aramid, ve karbon elyaf gibi malzemelerdir. Matris yapı plastikten metale kadar geniş bir aralıkta olabilir.



Şekil-1. Endüstriyel metal malzemelerin kilogram başına sağladığı mukavemet.

(Kaynak : Cobden, R., Alcan, Banbury, TALAT Lecture 1501, Aluminium : Physical Properties, Characteristics and Alloys, 1994)

Şekil-1 de ise bu malzemelerin birim ağırlığı başına mukavemetleri verilmiştir. En az ağırlık ile en çok mukavemet elde edebileceğimiz malzeme 7075-T6 alüminyumdur. Ancak maliyeti nedeniyle şimdilik rekabet yeteneği sınırlıdır, ancak boron çeliği maliyet avantajı ile alternatiftir.

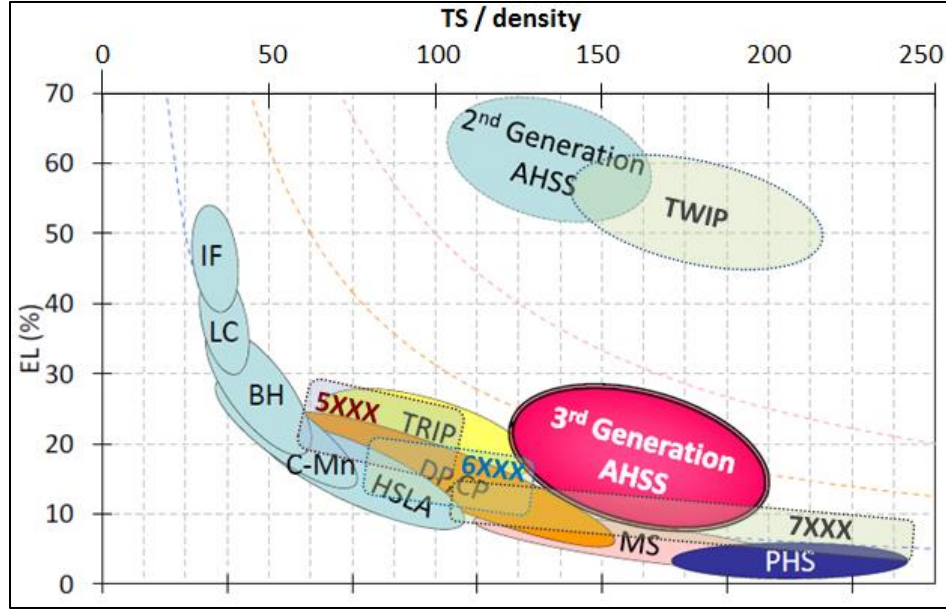
Kilogram başına sağlanan mukavemet yaklaşımıyla bakıldığında, en fazla DP600 ve CP600 kadar mukavemeti olan bütün çeliklere alternatif olarak 6XXX serisi alüminyum alaşımı kullanılabilir. Daha yüksek mukavemetli DP ve CP çelikleri yerine ise 7XXX serisi alüminyum alaşımları kullanılabilir.

Plastik malzemeler daha çok görselliği ön planda olan döşeme parçaları için tercih edilir. Plastik kompozitler ise, özellikle gövde ve şasinin taşıyıcı çatısı haricinde kalan bölgelerde ve çarpışma koşullarında aktif olmayan sistemlerde kullanılabilirler (tavan paneli, arka taban paneli, arka bagaj kapağı, kaput, çamurluk vb).

Eğer maliyeti göz ardı edilirse, örneğin lüks ve ultra lüks araçlarda olduğu gibi, karbon elyafı kompozitler hafif araç yapmak için şimdilik rakipsizdir.

Diğer taraftan çelik imalatçıların geliştirmekte oldukları diğer alternatifler, özellikle TWIP çeliği, sahip olduğu özellikler ile yakın gelecekte ciddi bir alternatif olma potansiyeline sahiptir (Şekil – 2). TWIP çeliği yüksek mukavemetle birlikte yüksek oranda şekil değiştirme kapasitesine sahiptir. Şekil değiştirme yeteneği düşük mukavemetli karbon çeliklerine çok yakındır. Ancak TWIP'in alaşımlanmasında alüminyum

kullanıldığından, kaynaklı birleştirmenin ısı etki bölgesinde (HAZ-heat affected zone) ciddi mukavemet kayıpları oluşmaktadır. Bu nedenle gövde imalatında kullanılması ciddi risklere neden olabilir. TWIP çeliğinin HAZ ve imalat süreciyle ilgili problemlerinin azaltılması için ARGE faaliyetleri halen sürdürülmektedir.



Şekil-2. Güncel çelik ve alüminyum alaşım malzemelerin muz-eğrisinde şematik gösterimi

Yeni bir malzemenin endüstri tarafından kullanılmaya başlanabilmesi, bilgisayar destekli mühendislik çalışmalarından üretim sürecindeki taleplere varana kadar detaylı çalışmalar gerektirir. Düşük adetli imalat yapan, daha ziyade lüks segmentteki firmaların yenilikçi malzemeleri kullanmaları ve yeni konseptleri uygulamaları daha kolaydır. Bu firmalar yüksek kar marjı ile çalıştıkları için malzeme tanıma ve uygulama sürecindeki zorlukları, daha kısa sürede aşabilmekte ve verimlilikler oluşturabilmektedirler. Ancak milyonlar ile ifade edilen seri imalat yapan büyük imalatçıların önünde daha ataletli bir süreç bulunmaktadır. Alternatif malzemenin bilinirliğinin ürün geliştirme süreci için yeterli olması, seri imalata uygun olması, yeterince ve sürekli olarak tedarik edilebiliyor olması ve en önemlisi maliyetin kabul edilebilir olması gereklidir. Bu nedenle uygun malzemelerin devreye alınması oldukça zahmetli ve uzun bir süreç gerektirecektir.

Birim ağırlığı başına sağlayabildiği mukavemet açısından malzemeler aşağıdaki gibi sıralanırlar;

- ❖ Karbon elyafli kompozitler
- ❖ Cam elyaf kompozitler
- ❖ Alüminyum alaşım (5XXX, 6XXX, 7XXX serileri)
- ❖ Titanyum alaşımları
- ❖ İleri yüksek mukavemetli çelikler (Kalıpta mukavemetlenen boron çelikleri, TRIP çelikleri, TWIP çelikleri, Çift fazlı (DP) çelikler, ostenitik çelikleri, 3. Nesil çelikler, Fortiform, QP, nano çelikler gibi)
- ❖ Magnezyum alaşımları
- ❖ Düşük karbonlu çelikler

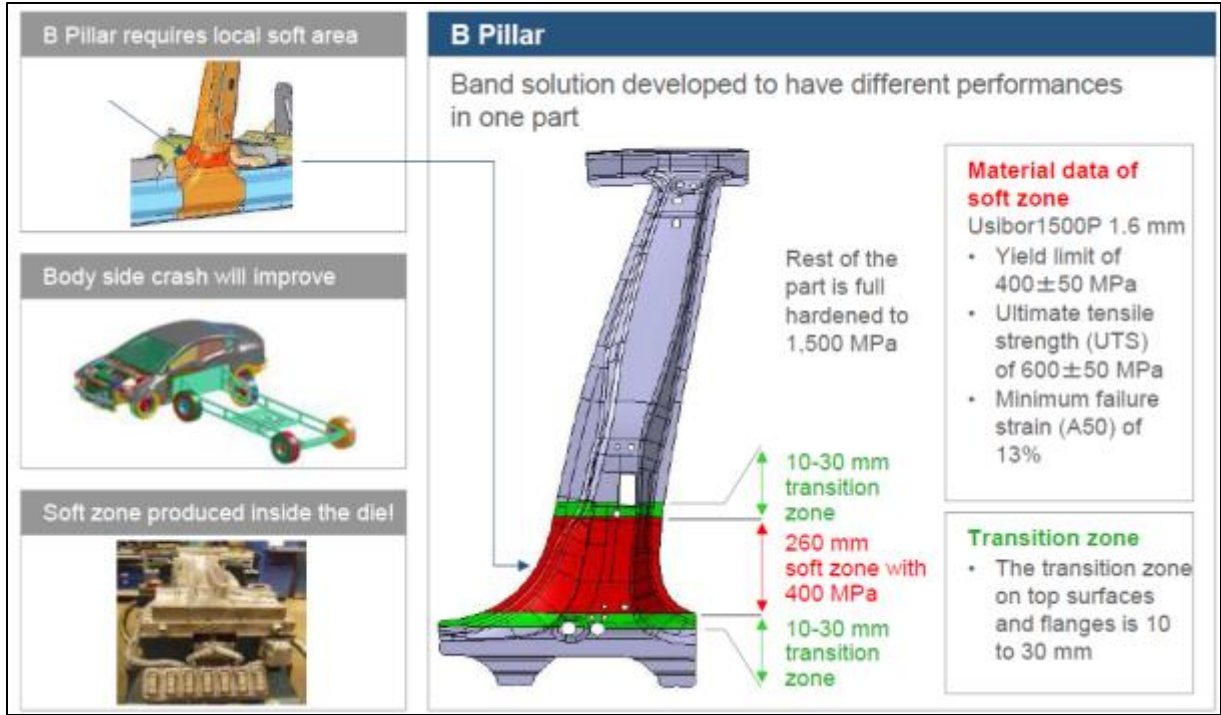
Özellik Malzeme	Maliyet [€/kg]	Yoğunluk [ton/m ³]	E modül [GPa]	Maksimum çekme mukavemeti [MPa]	Maksimum kullanım sıcaklığı [°C]	Ergime sıcaklığı [°C]	Isıl iletkenlik [W/mK]	Thermal uzama sabiti [10 ⁻⁶ /K]
Titanyum	20–80 	4.5 	101–128 	430–1400 	430–900 	Yaklaşık 1700	20	9.1
Magnezyum	5–20 	1.7 	41–45 	175–250 	400 	420–650	75–120	24–26
Alüminyum	3–5 	2.7 	70 	100–600 	300 	Yaklaşık 640	140	26
Yüksek mukavemetli çelik	1–1.5 	7.85 	210 	500–1800 	600 	1300–1520	14	17
Düşük mukavemetli çelik	0.8 	7.85 	210 	200–300 	600 	1300–1520	21–50	11–18
Karbon fiber takviyeli kompozit	40–80 	1.8 	50–150 	1600 	250–355 	--	15–40	2–8
Plastikler ve fiber destekli plastik	4–9 	0.9–1.5 	0.9–10 	50 	150–300 	--		25–120
Uygulama imkanı				Çok düşük	Düşük	Normal	Yüksek	Çok yüksek

Şekil – 3. Alternatif malzemelerin mekanik özellikleri ve maliyetlerine göre uygulanabilirlikleri. (Kaynak : Goede, M., Requirements for sustainable automobile production for future material developments, Volkswagen, Bad Nauheim, 2014 Inside Edition-Conference Jaguar Land Rover UK)

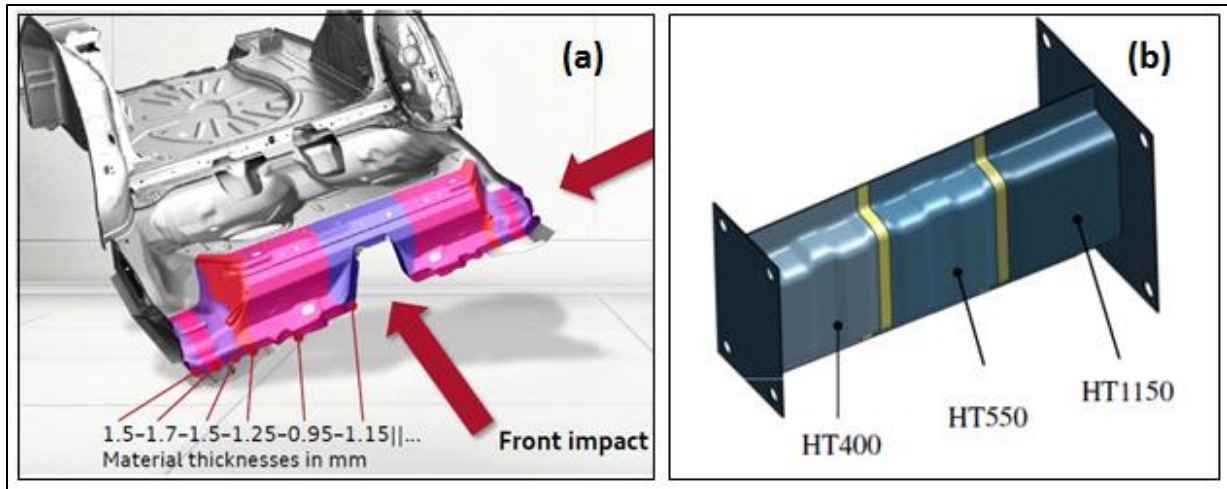
Karbon elyafli kompozit malzemeler kilogram başına en fazla mukavemeti sağlamasına rağmen, fiyatının yüksek olması ve yüksek adetli seri imalata uygun olmaması tercih edilmesini engellemektedir. Ancak alüminyum ve magnezyum alaşımlar ve kompozitler mevcut koşullar altında 2020’li yıllarda çok daha yoğun kullanılacak ve 2025’li yıllar ile beraber otomobillerdeki kullanım miktarları çeliklerden daha fazla olacaktır.

Diğer taraftan özellikle farklı üretim yöntemler ile de parçadan beklenen fonksiyonel beklentileri daha iyi yönetmek ve daha hafif tasarım yapmak mümkün olabilir.

- ❖ Çok katmanlı levha (her bir katman farklı kalınlıkta ve farklı malzemeden olabilir),
- ❖ Hidroforming yöntemi,
- ❖ Farklı kalınlıklarda sac kullanımı (sac haddehaneden değişken kalınlıklı çıkartılabilir veya farklı kalınlıklardaki levhalar kaynak ile birleştirilebilir)
- ❖ Parça imalat sürecindeki ısıl işlemler ile değişken akma gerilemesi dağılımı elde edilebilir.



Şekil – 4. Kalıpta sertleşen boron çeliği ile parça imalatında, ısıl yöntemler ile değişken mukavemetli parça elde edilmesi. (Kaynak : Gestamp, 2013)



Şekil-5 (a) Aynı parçada farklı kalınlık uygulamasının olduğu bir taban sacı uygulaması. Levhada istenile kalınlık değişimini elde edebilmek için, levha üretim sürecinde kullanılacak haddehanenin bu yetkinliğe sahip olması gerekir. (Kaynak : Audi, 2013), **(b)** Malzemeleri ve kalınlıkları farklı veya aynı olan levhaların yan yana lazer kaynağıyla kaynatıldıktan sonra, levha şekillendirilip punta kaynağı ile birleştirilmiş bir ön çarpışma kutusu uygulaması. (Kaynak : Gestamp, 2013)

Çarpışma testlerinde, çarpışma enerjisinin planlanan senaryoya göre sönmünebilmesi ve kabin yaşam alanına girişimin kontrol altına alınabilmesi için ilgili parçaların testlerdeki davranışının yönetilebilmesi gerekir. Bu amaçla kullanılacak malzemenin levha üretim sürecine ve/veya parça üretim sürecine müdahale edilerek, değişken mukavemet dağılımı (part stiffness mapping) elde edilir. Sıcak şekillendirilen parçanın

istenilen bölgelerinde farklı soğutma hızı kullanılır ve değişken akma gerilmesi elde edilir. Bu yöntemin B dikme uygulaması yukarıda verilmiştir.

İstenilen mukavemeti istenilen yerde karşılayabilmek için sıcak şekillendirme yöntemiyle farklı mukavemet bölgeleri oluşturulabilir (Şekil – 4). Şekillendirme sonrasında soğutma hızının parça üzerinde istenilen yerlerde farklı uygulanmasıyla "düşük mukavemetli" ve "yüksek mukavemetli" bölgeler elde etmek mümkündür.

Parça üzerinde farklı kalınlık bölgeleri oluşturarak da farklı mukavemet veya çarpışma performansı senaryoları tasarlanabilir (Şekil – 5). Son iki yöntemin uygulanabilmesi levha ve parça üretim teknolojilerinde üst seviye kontrol yetkinliği gerektirir.

3.1 Çelikler

Çelikler; otomotiv endüstrisinin yıllardır en fazla kullandığı, en iyi tanıdığı, imalat ve birleştirme yöntemlerini en iyi bildiği ve motorlu taşıtların kullanım koşullarına en kolay uyarlayabildiği malzemedir. 150 MPa dan başlayan akma gerilmesi, 2000 MPa sınırına kadar yaklaşır, soğuk ve sıcak şekillendirmeye uygundur, bilinen bütün birleştirme yöntemleri kullanılabilir. En çok satan otomobillerin yaklaşık %67'si demir türevi malzemeden yapılır Çelikleri mekanik özelliklerine göre gruplandırırsak,

- Düşük mukavemetli çelikler : Mevcut uygulamalarda en fazla kullanılan çeliklerdir. IF (interstitial-free) ve Mild çelikleri bu gruba girmektedir. Gövde panelleri, kapılar ve taban panellerinin imalatında kullanılırlar. Soğuk şekillendirilirler ve kaynaklı birleştirmeye uygundurlar.
- Konvansiyonel yüksek mukavemetli çelikler : Bu grupta CMn (karbon-mangan), BH (bake hardenable) ve HSLA (yüksek dayanımlı düşük karbonlu) çelikleri yer almaktadır. BH çelikleri darbe dirençlerinin yüksekliği nedeniyle özellikle gövde ve kapı dış panellerinin imalatında tercih edilir.
- İleri Yüksek mukavemetli çelikler : Bu çelikler 1000MPa çekme mukavemetine kadar olan alaşımlı çeliklerdir. Bu sınıfta çift fazlı (DP), kompleks fazlı (CP), TRIP, TWIP ve östenitik çelikler bulunur. Bu çelikler yüksek mukavemetlerine rağmen soğuk şekillendirmeye uygundur. Gövde ve şaside kafes yapıyı oluştururlar, normal kullanım koşullarında asıl taşıyıcı malzemedir. Trip çelikleri yüksek dayanım ve şekillenebilirlik özelliğine sahiptir. Ancak trip çeliklerinin üretiminde sorunlar yaşanmaktadır. Üretimde tekrarlanabilirlik sağlanamamaktadır. Diğer taraftan çelik imalatçılarının geliştirmekte oldukları diğer alternatifler, özellikle TWIP çeliği, sahip olduğu özellikler ile yakın gelecekte ciddi bir alternatif olma potansiyeline sahiptir. TWIP çeliği yüksek mukavemetle birlikte yüksek oranda şekil değiştirme kapasitesine sahiptir. Şekil değiştirme yeteneği düşük mukavemetli karbon çeliklerine çok yakındır. Ancak TWIP çeliğinin kaynak edilebilirlik ve imalat süreciyle ilgili problemlerinin azaltılması için ARGE faaliyetleri halen sürdürülmektedir
- Çok yüksek mukavemetli çelikler : Bu sınıfta sıcak şekillendirilen ve kalıpta mukavemeti artan boron çeliği ve marteitik ve üçüncü nesil çelikler gibi soğuk şekillendirmeye uygun çelikler bulunur. Akma gerilmesi 1000MPa 'dan başlar ve

2000MPa sınırına ulaşan çeşitleri de vardır. Boron çeliği sıcak şekillendirildiği için parça imalat süreci daha pahalıdır ve kalıp yatırım maliyeti soğuk şekillendirmeye göre 4-5 kat daha fazladır. Çarpışma güvenliği testlerinde yüksek performans sağlamak için özellikle A dikmesi, B dikmesi, rocker ve alt gövdede kullanılırlar ve ekonomik alternatifi şimdilik mevcut değildir. Üçüncü Nesil AHSS çelikler, çok yeni geliştirilmiş ürünler olduklarından avantajları, dezavantajları konusunda literatürde çok fazla bilgi bulunmamaktadır. Fakat ikinci nesil AHSS'e göre çok daha düşük oranlarda alaşım içerdiklerinden (< %10) kaynak edilebilirliklerinin daha iyi olduğu düşünülebilir. Genel kural olarak %12'nin üzerinde toplam uzama soğuk şekillendirme için yeterli görüldüğü için soğuk şekillendirilmeye de uygundurlar. Sahip oldukları yüksek mukavemet ve kolay şekillendirilebilirlik özellikleri sayesinde, araç gövde ve şasisinde taşıyıcı parçaların imalatında kullanım alanı bulabilecekleri ifade edilmektedir.

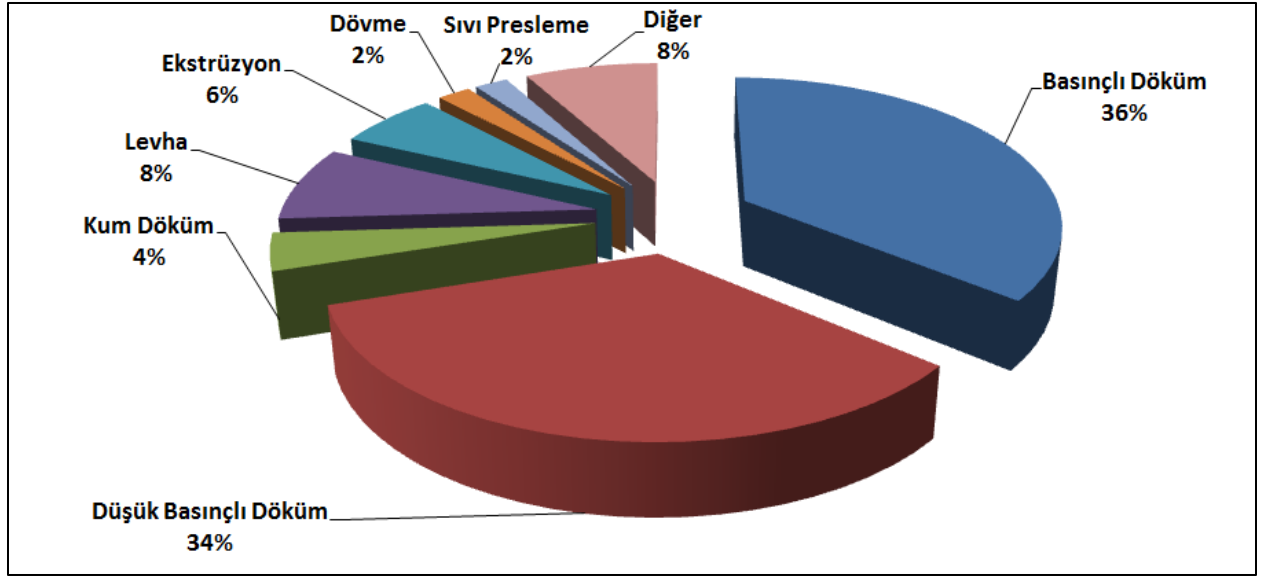
3.2 Alüminyum alaşımları

Çeliğin üçte biri kadar yoğunluğu olması ve alaşımlama ile beraber yaşlandırma sayesinde oluşan yüksek mukavemetiyle çeliğin en büyük rakibidir. Ham malzeme maliyeti çelikten dört kat fazladır. Sonlu yorulma performansı olması en büyük dezavantajdır. Çeliklerden en önemli farkı, farklı malzemeler içeren çevresel parçalar ile kaynaklı birleştirmede çok daha fazla kontrollü imalata ihtiyaç duyması ve perçin gibi yeni birleştirme metotlarına ihtiyaç duymasındır. Lüks ve ultra lüks sınıflardaki araçlarda hafifletme amaçlı yaygın uygulama alanı bulabilmektedir. Gövde ve şasi imalatında alüminyum kullanım oranı %68'e ulaşan otomobiller mevcuttur. Aile sınıfı otomobillerde de özellikle ön ve arka tampon çarpışma kutuları, ön arka kaput, kapı dış panel ve iç destek kaburga parçaları, direksiyon kolonu ve şanzıman gövdesi uygulamaları standartlaşmıştır. Araç gövdesinde yaygın olarak kullanılan yassı mamul alüminyum alaşımları aşağıda verilmiştir.

- 5XXX serisi alaşımlar (Al ve Mg)
- 6XXX serisi alaşımlar (Al, Mg ve Si)
- 7XXX serisi alaşımlar (Al ve Zn)

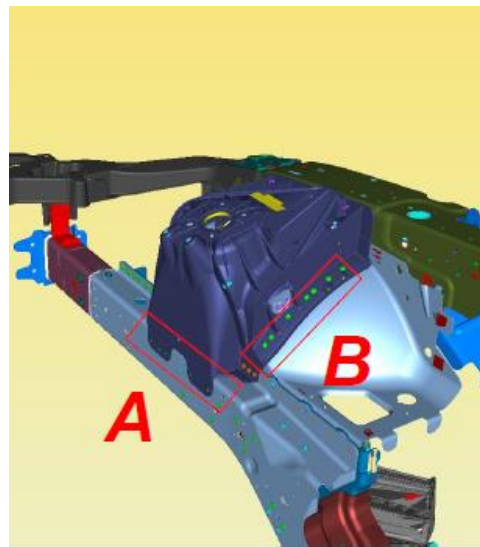
Özellikle 5XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımları, gövde paneli uygulamalarında ve kapı imalatlarında yaygın olarak karşımıza çıkacaktır. Maliyetleri nedeniyle daha çok havacılık sanayinde kullanılan 7XXX alaşımları son dönemde çift fazlı ve kompleks fazlı çeliklerin alternatifi olarak lüks araç sınıfında karşımıza çıkmaktadır. 7XXX alaşımı uygulamalarında imal usulü olarak sıcak şekillendirme ve ekstrüzyon yöntemleri kullanılmıştır.

Otomotiv endüstrisinde üretim tekniğine göre alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması Şekil 6'da gösterilmektedir. Döküm alüminyum alaşımlarının kullanımı tüm kullanılan alüminyumun %80'i kadardır. Ekstrüzyon yöntemi ile 6XXX serisi alüminyum alaşımlarından üretilmiş parçalar da alüminyum yoğun araç üretimlerinde imalat metotlarını kolaylaştırması ve ihtiyaç duyulan fonksiyonu daha az ağırlıkla yerine getirmesi sebebiyle sıklıkla tercih edilir.



Şekil 6. Otomotiv endüstrisinde üretim tekniğine göre alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı, T. A. Başer, MMO, Mühendis ve Makine Dergisi 635 (2012) 51].

Diğer taraftan alüminyum döküm uygulamaları da hafif araç tasarımı için ana bileşenlerden biri olmaya adaydır. Motor ve aktarma organlarında belirgin uygulaması olan alüminyum dökümün, özellikle gövde ve şasi uygulamaları da yaygınlaşmaya adaydır. Özellikle çelik sac ile üretilen ve birçok komşu parçadan oluşan alt ünitelerin alüminyum döküm ile tek parçaya indirgenmesi mümkün olabilir ve böylece ağırlık azaltılması yanında, kaynaklı imalattan kaynaklanan üretim süresinin azaltılmasına da katkı sağlayabilir. Bu tarz uygulamayı gövde tarafında ön ve arka amortisör bağlantı kulelerinde ve ön ve arka şasi alt-çerçevelerinde (front & rear subframes) görmek mümkündür. Benzer uygulamaları kapı iç paneli, ön konsol kirişinde ve gövde birleşim noktalarında da uygulamak mümkün olabilir.



Jaguar XJ Front Structure

Şekil – 7. Ön amortisör kulesinde alüminyum döküm uygulaması (Kaynak : Jaguar-LandRover)

Özellikle şasi ile ilgili uygulamalarda yorulma direnci iyileştirilmiş alaşım geliştirilmesi ve çarpışma güvenliğinin etkin olduğu bölgelerde ise çarpışma enerjisini kabul edilebilir şartlarda sönümleyebilecek malzeme geliştirilmesi gerekecektir. Döküm parçanın bağlanacağı malzemeler ile ortaya çıkacak korozyon sorunu ile baş edilmesi ve buna uygun birleştirme yöntemlerinin kullanılması gereklidir. Bilgisayar destekli ürün geliştirme sürecinde ihtiyaç duyulacak malzeme özelliklerinin üretilmesi de diğer önemli konulardır. Mevcut uygulamalarda öne çıkan alüminyum döküm alaşımları AlSi9Mn, AlSi9MgMn, AlSi10MgMn, AlMg5Si2Mn ve AlSi9Cu3 dür. Bu alaşımlar gerektiğinde diğer elementler ile de desteklenerek ve termal işlemlere de tabi tutularak amaca uygun olarak iyileştirilirler.

3.3 Magnezyum alaşımları

Magnezyum alüminyumdan %33, çelikten ise %75 daha hafiftir. Korozyon direnci yüksektir, ancak levha imalatındaki zorlukları özellikle gövde ve şasi imalatında kullanılmasını güçleştirmektedir. Magnezyum levhalara istenen şeklin verilmesi sıcak şekillendirme gerektirdiğinden gövde ve şasi uygulamalarını güçleştirmektedir. Yalnız başına kullanıldığında korozyona karşı dayanımı yüksekken diğer metallerle herhangi bir izolasyon olmaksızın temas gerektiren uygulamalarda, galvanik hücre oluşturması sebebiyle korozyon dayancısı önemli ölçüde zafiyete uğrar. Ancak döküm uygulamaları oldukça başarılıdır. Direksiyon simitleri genelde magnezyum alaşımından yapılır, motor parçaları imalatında da uygulama alanı bulmaktadır.

3.4 Plastikler ve Kompozitler

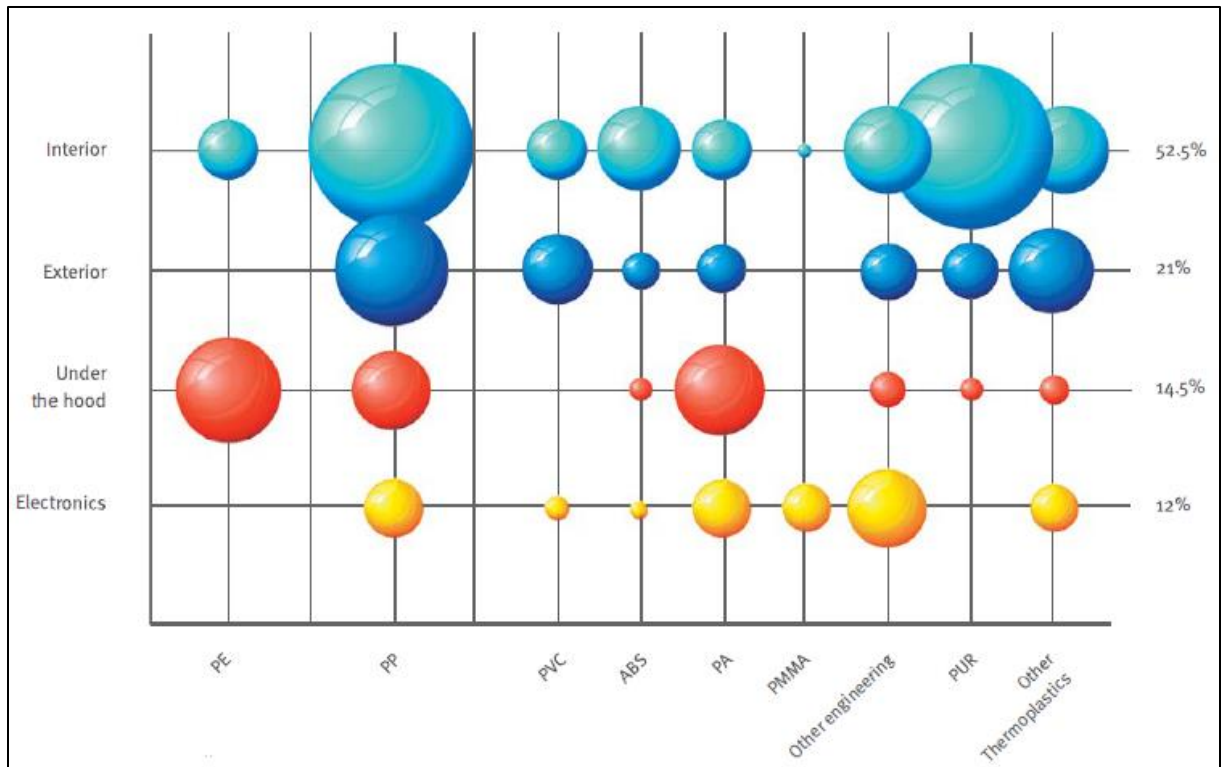
Plastikten plastiğe yaklaşık %5-15, metalden plastiğe %50 lere varan ağırlık azaltmak mümkündür. Görsel olmayan parçalarda ağırlık azaltımı üst sınıra yakındır.

PP	Polypropylene	PC	Polycarbonate
PUR	Polyurethane	PMMA	Acrylic
PVC	poly-vinyl-chloride	PBT	polybutylene terephthalate
ABS	acrylonitrile-butadiene-styrene	PET	polyethylene terephthalate
PA	Polyamide	ASA	acrylonitrile styrene acrylate
PS	Polystyrene	PE	Polyethylene
PE	Polyethylene	POM	polyoxymethylene (polyacetal veya polyformaldehyde olarak da bilinir)

Tablo – 1. Plastik türleri

Plastikler geniş bir aralıkta performans sergileyebilme yeteneği olan polimerik malzemelerdir. Plastikler, dayanıklı, hafif ve korozyona dirençli ve kompozit olarak da yüksek mukavemetlidir. Isıl ve elektrik yalıtımı özellikleri üst seviyededir. Plastiklerin kullanımdaki esnekliği, maliyet olarak çok rekabetçi olması otomotivde geniş kullanım alanı bulmasına sebep olmuştur. Ortalama ağırlığı 1500 kg civarında olan modern bir otomobilde ağırlık olarak %10-15 arasında plastik malzeme bulunur. Bu değişik boyut

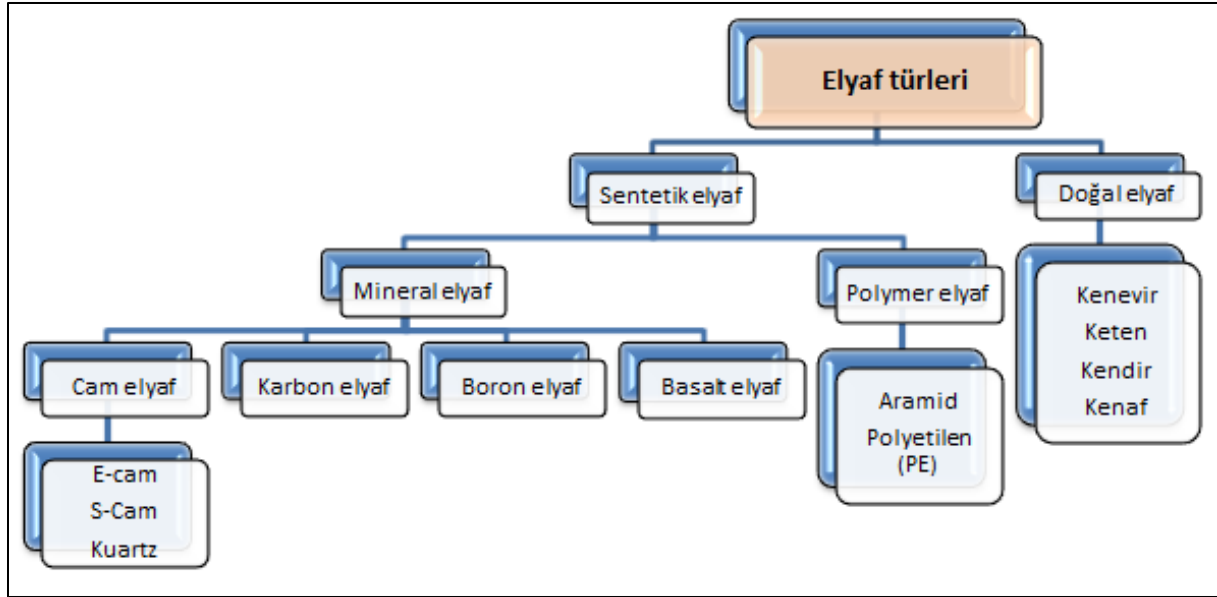
ve şekilde 2000 civarında parça demektir. Plastikler genelde kozmetik parçaların imalatında kullanılırlar. Plastik malzemelerin; motor parçaları, tampon, aydınlatma, ön göğüs, koltuk, bağlantı elemanları, hava yastıkları, emniyet kemerleri, koltuk kumaşları, yakıt deposu, elektrik tesisatında kaplama, iç plastikler, ayna gövdesi, jant kapağı ve panoramik çatıya varana kadar çok geniş kullanım alanları vardır. Plastikler çelik malzemeden sonra en yoğun kullanılan malzemedir. Hacim olarak otomobillerin yarısı plastikten yapılmasına rağmen, yoğunluğu az olması nedeniyle ağırlık oranı %12 ler civarında kalır. Otomotiv endüstrisinde kullanılan plastik türleri Tablo – 1 de verilmiştir. Avrupa Topluluğunun toplam yıllık plastik talebi 46.3 milyon tondur ve bunun 3.8 milyon tonu (sadece %8.2) otomotiv endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Avrupa’da otomotiv endüstrisi tarafından 2012 yılında kullanılan plastiklerin kullanım yerlerine göre türleri ve kullanım oranları Şekil – 8 de verilmiştir.



Şekil – 8. Avrupa’da otomotiv endüstrisi tarafından 2012 yılında kullanılan plastiklerin kullanım yerlerine göre türleri ve kullanım oranları. (Kaynak : PlasticsEurope Market Research Group)

Plastikler hafifliği, parça imalatındaki sağladığı esnekliği, yüzey görselliğinin kalitesi (Mucell teknolojisi ile üretilen parçalarda yüzey görselliği kalitesi düşüktür) ve bunları rekabetçi maliyet ile sağlayabilmeleri sayesinde metal malzemelere ciddi rakip olmuş ve otomotivde yüksek oranda uygulama alanı bulmuştur. Uygulama alanları ve oranları her yeni modelde artarak devam etmektedir. Özellikle elyaf (sürekli veya süreksiz elyaf) ile mukavemetlendirilmiş yeni nesil plastikler, metal malzemelerin kullanıldıkları alanlara da girişim yapmaya başlamıştır. Bu tür uygulamaları A sınıfı araçların boyut avantajları nedeniyle daha yoğun gözlemlerken, C ve CD sınıfı araçlarda da özellikle kaput ve

bagaj kapağı gibi uygulamaları vardır. Bazı ticari araçlarda zemin ve çatı paneli uygulamaları da görülmektedir.



Şekil – 9. Elyaf türleri

Şekil -9 da verilen elyaf türlerinden cam ve karbon elyafları mineral bazlıdır. E-cam elyaf en yaygın kullanılan elyafdır; ucuzdur, yüksek mukavemetlidir, kimyasal direnci yüksektir ve yalıtım performansı da çok yüksektir. Ancak yoğunluğu karbon elyaftan fazladır, yorulma mukavemeti ve elastik modülü karbon elyaftan düşüktür. Karbon elyafının elastik modülünün ve çekme mukavemetinin yoğunluğuna oranı yüksektir, ısı genleşmesi daha az ve yorulma mukavemeti yüksektir. Kevlar da benzer özelliklere sahiptir; karbon fiber ve kevların ortak özelliği çok pahalı olmasıdır. Karbon elyafın maliyeti yüksek olmasına rağmen, birim ağırlığı başına yüksek mukavemeti ve yorulma mukavemetinin de yüksek olması, geleneksel malzemeler ile ağırlık sorunu yaşayan ultra lüks araçlarda kullanılabilmesine imkan sağlamıştır.

Karbon fiber kompozitlerin ağırlık azaltma potansiyeli %20-70 arasındadır. Karbon fiber kompozitler ağırlık azaltma beklentisini mukavemet açısından karşılayabilirken özellikle maliyet ve geri dönüşümdeki eksiklikleri nedeniyle yüksek adetli imatlara şimdilik uygun değildir.

- Kalıp ile parça imalatı yapılır (reçine : matris) ve kalıba basınç, vakum veya graviteyle doldurur.
- Kullanılan reçine ve mukavemet artırıcı olan fiberlerin kalıba aktarılma yöntemine bağlı olarak uygun kalıp yöntemi seçilir.
- Genelde A yüzeyi uygulamalarında boya öncesinde ek maliyet çıkarır.
- Karbon fiber kullanımı kilogram başına maliyet \$ 40 - \$ 80 arasında değiştiği için yüksek adetli seri imalata uygun olmayabilir.

Karbon fiber uygulamaları çok yüksek oranda ağırlık azaltma sağlamasına rağmen; malzeme maliyeti ve seri imalat teknolojilerindeki kısıtlar nedeniyle hala yoğun bir ARGE alanıdır.

Özellikle yüksek sıcaklığa dayanıklı ve yüksek mukavemetli cam elyafıyla desteklenmiş termoset plastikler, motor hava alma manifoldu gibi parçaların imalatında da kullanılmaktadır. Plastik kompozitlerin özellikle DoE çalışmalarıyla kullanım alanlarını genişletmeleri mümkün olabilir. Ancak termoset malzemelerin geri dönüşümünün olmaması nedeniyle yüksek imalatlara olanak vermeyip, kullanımları kısıtlıdır.

Mevcut plastik kompozitlerin mekanik özellikleri metal malzemeler ile rekabet edebilmesine rağmen, maliyetleri nedeniyle yüksek adetli gövde imalatlarında ana taşıyıcı unsur olmasa da, destekleyici yama olarak uygulama alanları bulabilir.

Kompozit malzemelerin metal malzemeye yapıştırılması veya perçinlenmesi durumunda, termal genleşme farklılıkları nedeniyle, birleştirme elemanlarında oluşan yükler, tasarımın yönetilmesindeki ciddi güçlüklerdir. Ayrıca kompozit malzemelerin yorulma karakteristiklerinin belirlenmesi, yüksek sıcaklıklarda ve boya proseslerinde ürünün göstereceği davranışın bilinmemesi, istenen A seviye yüzeyin sağlanamaması diğer zorluklarıdır.

Özellikle karbon elyafın çekme yükü altında mekanik özelliklerinin en yüksek mukavemetli çelikler ile yarıştığı görülmektedir. Kompozit üretim yöntemleri üretim süresi, imalat kalitesi, A yüzeye uygunluğu ve maliyeti gibi kısıtlara göre birbirlerinden farklılaşırlar. İmalat süreleri kompozit malzemelerin yüksek adetli imalatlarda kullanılmasındaki en önemli engeldir. Yeni nesil araçlarda yüksek mukavemetli, yüksek yorulma mukavemetli ve seri imalata uygun elyaf ve rekabetçi seri imalat yöntemleri geliştirmek otomotiv endüstrisi önündeki en büyük hedeflerden birisidir.

Elyafın mineral veya doğal kaynaklı olması petrolden üretilen polymer elyafların üzerindeki maliyet baskısını da azaltabilir. Doğal kaynaklı elyaf kullanımı çevreye verilen zararı azaltacağı için kullanım alanları genişletilmelidir.

4. OTOMOTİVDE KULLANILAN MALZEMELER

C sınıfı bir otomobilde;

- ❖ Aracın %67'si demir esaslı metallerden (çelik ve dökme demir) imal edilmektedir.
- ❖ Geri kalan kısımlar ise polimer (%12),
- ❖ Demir dışı hafif metaller (%11) ve
- ❖ Cam ve kauçuk (%10) gibi malzemelerden yapılmaktadır.

Bu listeye göre alternatif malzeme ile hafifletme yapılmak istendiğinde :

Çelikten yapılmış parçalar daha yüksek mukavemetli çelikler ile yer değiştirilebilir ve aynı fonksiyonun temini daha ince kalınlıktaki levha ürünü çeliklerle de mümkündür. Bu yöntem ile %67'lik kısımda en fazla %10-15 civarında ağırlık azaltılması sağlanabilir. 1300 kg ağırlığı olan C sınıfı otomobilde daha mukavemetli çelik kullanarak veya optimum tasarım yaparak, yaklaşık 85-130 kg ağırlık azaltması gerçekleştirilebilir. Bu ise yaklaşık 4-6 gr/km ye karşılık gelir ki, CO₂ hedefi için yetersiz bir hamledir. Dökme demir ve dökme çelikten yapılan parçalarda da demir esaslı farklı bir malzeme kullanılması dikkate değer hafifletme gerçekleştiremeyecektir. Burada yapılması gereken yoğunluğu düşük, ancak en az çelik kadar performans sergileyebilecek

alüminyum veya magnezyum alaşımları ve elyaf takviyeli kompozit malzemeleri kullanmaktır. Böylece dikkate değer ağırlık azaltmak mümkündür. Çeliğe göre düşük yoğunlukta malzeme kullanımı % 30-60 arasında daha hafif tasarımı mümkün kılmaktadır.

Polimer esaslı malzemeler daha ziyade kozmetik değeri olan parçaların (sürücü kompartımanındaki plastik parçalar, klima, klima tesisatı, tampon ve aydınlatma sistemleri, yakıt tankı, yakıt tesisatı ve motor üzerindeki bazı parçalar) imalatında kullanılır. Bu parçalarda dikkate değer hafifletme yapmak mümkün değildir. Bir takım ileri teknolojiler (malzeme yoğunluğunu azaltacak çözümler ve ilave mukavemet için elyaf eklemek gibi) ile polimer bazlı malzeme ile imal edilen parçaları hafifletmek mümkündür; Ancak hafifleme % 5 civarında gerçekleşir.

Demir dışı metallerden kasıt genelde alüminyum, magnezyum vb. malzemelerin alaşımlarıdır. Bu malzemelerin yerine sınırlı miktarda elyaf destekli plastikler kullanılabilir veya kendi cinsinden daha mukavemetli malzeme kullanılarak da ağırlık hafifletme mümkün olabilir. Elde edilecek ağırlık azaltılması %5-15 civarında gerçekleşir.

Cam gibi malzemelerin yerine polymer bazlı malzeme kullanımı çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmalar neticesinde sabit ve hareketli camlarda %40-50 civarında ağırlık azaltması mümkündür.

5. TÜRKİYE'DE HAFİF ARAÇ TEKNOLOJİSİ İÇİN MALZEME İHTİYACI

Hafif araç tasarımı aşağıdaki ihtiyaçları açığa çıkartır;

- 1) Hafif malzemeleri geliştirebilmek,
- 2) Hafif malzemeleri üretebilmek,
- 3) Bu malzemeleri ürün geliştirmek için kullanabilmek,
- 4) Bu malzemelerin tasarım ve sanal analiz yöntemlerini geliştirmek,
- 5) Üretim adetlerine uygun üretim teknolojileri geliştirmek ve
- 6) Bu araçları test edebilecek laboratuvarlara sahip olmak. (malzeme özelliklerini belirlemek ve parça, alt sistem veya araç seviyesi testleri –özellikle güvenlik testleri, yol testleri- yapmak için)

Bu altı madde çerçevesindeki her türlü ARGE çalışması desteklenmelidir. Mevcut şartlar değişmezse, 2025 sonrası Türkiye'sinde üretilecek araçların özellikle gövde ve şasisinde kullanılacak, çelik ve alüminyum malzemenin yerlilik oranı %15 civarına kadar düşebilecektir.

Sıcak haddeleme yöntemiyle üretilen 5XXX, 6XXX ve 7XXX serisi alüminyum levhaların da yerli üretimi teşvik edilmelidir. 6XXX serisi alüminyum alaşımları özellikle gövde dış paneli imalatında kullanıldığı için rulo genişliği 2m üzerinde olmalıdır. Türkiye'de 2016 yılı itibariyle bahsi geçen alüminyum alaşımlarından sadece 5754 alaşımı alternatif bir üretim metodu olan sürekli döküm teknoloji ile üretilebilmektedir. 6XXX ve 7XXX serisi alaşımların DC (Direct Chil casting) döküm metodu ve ardından sıcak haddeleme ile üretebilecek bir tesis mevcut değildir. 6XXX ve 7XXX serisi alaşımlar “yaşlanabilir”

alaşımlardır ve kullanım kalınlığına haddelenmesinden sonra istenen mukavemete ulaşabilmesi için özel ısıtım işlem metotları ile sertleştirilmesi gereklidir.

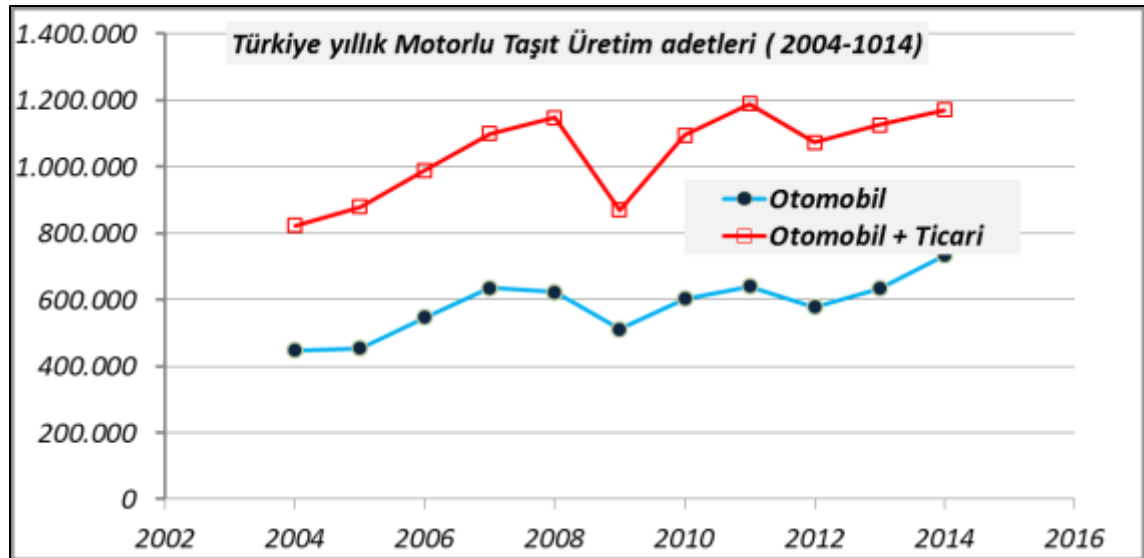
Türkiye’de levha olarak aşağıdaki malzemeler hali hazırda üretilmemektedir. Aşağıdaki listede olan metal malzemelerin tamamı gerekli olduğunda ithal edilmektedir.

- Boron çeliği (yabancı ortaklı şirketler ile sıcak şekillendirme imalatı yerli olarak yapılabilmektedir.)
- TRIP çeliği,
- TWIP çeliği,
- CPXXX çeliği,
- DPXXX çeliği (sadece DP600’e kadar yerli olarak üretiliyor, üst mukavemet serilerinin yerli üretimi yok)
- Östenitik çelikler
- Martenzitik çelikler
- 5754 alaşımı dışındaki yüksek Mg içerikli (>%4) 5XXX serisi alaşımlar, 6XXX serisi ve 7XXX serisi sıcak haddelenmiş ve yaşlandırılmış alüminyum levha.
- Döküm yöntemi ile üretilen 5XXX serisi alüminyum-Mg alaşımlar.
- Döküm için magnezyum alaşımlar (Magnezyum alaşım çalışması yapan yerli imalatçı var)
- Magnezyum levha üretimi (yalnızca külçe halinde üretimi mevcuttur)
- Üçüncü nesil çelikler

Cam elyaf ve karbon elyaf üretiminde ülkemizde global ölçekte üretim yapan işletmeler mevcuttur. Özellikle karbon elyaf kullanımının 2030’larda çok yaygınlaşacağı varsayılırsa, yenilikçi ve rekabetçi üretim desteklenmelidir.

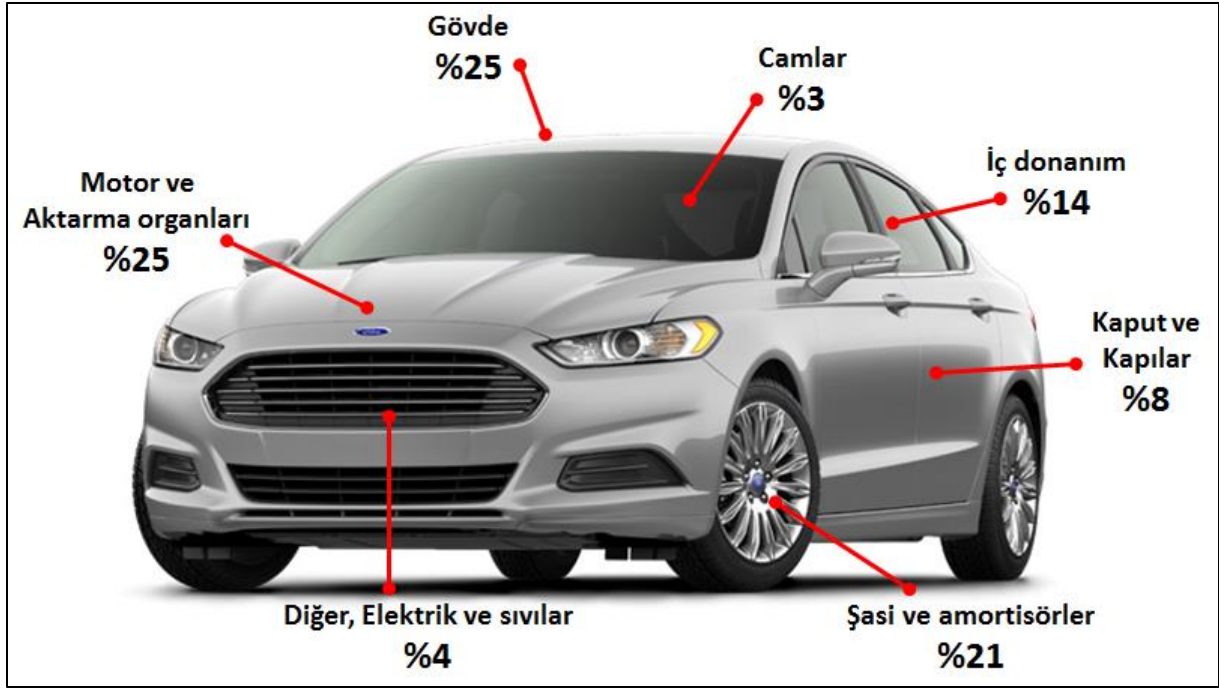
Yerli üretilen araçlarda yoğun olarak geleneksel yüksek mukavemetli çelikler, sınırlı miktarda çift fazlı çelikler ve %5 civarında ise sıcak şekillendirilen boron çeliği kullanılmaktadır. 2025 yılı sonrası için karbondioksit salınım hedefi 70gr/km civarında olacağı dikkate alınırsa, hafif araç geliştirmek bir zorunluluk olarak otomotiv endüstrisinin önüne geleceği için, Tablo – 2 de verilen malzemelerin yerli olarak tedarik edilebilmesi, yerli sanayimizin rekabetçi pozisyonunu güçlendirecektir.

Çift fazlı çelikler (DP600, .. , DP1000)	DP600 üzeri yerli üretim yok	<i>Teşvik gerekli</i>
Kompleks fazlı çelikler (CP800,, CP1000)	Yerli üretim yok	<i>Teşvik gerekli</i>
Kaplamalı Boron çeliği	Yerli üretim yok	<i>Teşvik gerekli</i>
Konvansiyonel yüksek mukavemetli çelik	Yerli üretim var	
Yeni nesil çelikler	Yerli üretim yok	<i>Teşvik gerekli</i>
Yaşlanabilir Alüminyum alaşımları (6XXX ve 7XXX serisi)	Yerli üretim yok	<i>Teşvik gerekli</i>
Alüminyum döküm	Yerli üretim var	<i>Teşvik gerekli</i>
Magnezyum döküm (külçe olarak)	Yerli üretim denemesi var	<i>Teşvik gerekli</i>
Sentetik veya doğal elyaf & Kompozit malzeme	Yerli üretim var. Çeşitlendirme ve geliştirme gerekiyor. Cam ve karbon elyafda üreti var.	<i>Teşvik gerekli</i>
Tablo – 2.Hafif araç tasarımı için gerekli olan malzemelerin yerli üretim ve teşvik ihtiyacı		



Şekil – 10. Türkiye’de 2004-2014 yıllarındaki yerli motorlu taşıt üretimi

Otomotiv Sanayicileri Derneği verilerine göre son on yıl için Türkiye’de üretilen otomobil ve hafif ticari araç adetleri Şekil – 10 daki gibidir. 2004 yılından 2014 yılına kadar yerli motorlu taşıt üretimi yaklaşık %50 artmıştır. Üretim adetlerinde 2014 den 2025 e yine %50 artacağı varsayılırsa; 2025 de yaklaşık 2 milyon adet yerli üretim olacaktır.



Şekil – 11. Geleneksel C sınıfı bir araçta boş ağırlığının dağılımı (sıvılar mevcut).

Ticari araçlarda da M1 sınıfı araçlara benzer oranda ağırlık azaltması talebi olacağı varsayımı ve Şekil-11 de verilen geleneksel C sınıfı bir otomobildeki malzeme ağırlık dağılımı oranları kullanılırsa, 2025 sonrasında yüksek adetli imalatı olan otomobillerde kullanılacak malzemelerin oransal dağılımı, yaklaşık olarak Tablo – 3 deki gibi olacaktır. 2025’de Türkiye’nin yaklaşık 2 milyon adet yerli üretim kapasitesinden yerli malzeme üretim talebine ulaşılabilir.

	Gövde	Kapılar	Şasi	Motor ve aktarma organları
Boron çeliği	%20-25	%5	--	--
DP, CP, Ostenitik çelik	%10-15	--	%50	--
Dökme demir	--	--	--	%50
Al rulo sac (5xxx, 6xxx, 7xxx)	%40-60	%80-90	--	--
Al döküm (>> Mg döküm)	%10-15	--	%50	%40
Plastik kompozit (cam elyaf >> karbon elyaf)	%5	%10-20	--	%10

Tablo – 3. 2025+ da otomotiv endüstrisinin malzeme ihtiyacı (M1 ve N1 araçlar için)

6. DURUM TESPİTİ VE ÖNERİLER :

Hafif araç geliştirebilmek için çeliğe göre daha hafif malzemelerin kullanılması gereklidir. Bu bağlamda ön plana çıkan alüminyum ve magnezyum elementlerinin küresel rezervleri aşağıdaki gibidir:

- ✓ %8,13 Alüminyum (Al)
- ✓ %5,00 Demir (Fe)
- ✓ %2,09 Magnezyum (Mg)

Bu rakamlara göre hammadde sıkıntısı mevcut değildir. Ancak mineralden bir kilogram alüminyum ve magnezyumu üretmek için gerekli olan enerji çeliğe göre sekiz kattan fazladır.

- 1) Karbondioksit salınımı ile ilgili kısıtlar artarak devam edecektir.
- 2) İçten yanmalı motorlar ile ilgili iyileştirmeler ile 2021 CO₂ hedefini sağlamak mümkün olabilecektir.
- 3) Çok yüksek ihtimalle 2025 yılı için yayımlanacak CO₂ hedeflerini sağlamak için içten yanmalı motor odaklı çözümler yeterli olmayacaktır. Dizel motorlardaki NO_x sınırı hakkında yayınlanacak direktif, CO₂ ile ilgili hedeflere de etki edebilir.
- 4) Mevcut şartlara göre, 2020'lerle beraber alternatif güç sistemleri (Hibrid, PHEV, BEV, FuelCell, vb) yaygınlaşacak ve bu sistemler, 2025'lerdeki CO₂ kısıtları nedeniyle zorunlu olarak otomobillerde uygulanacaktır.
- 5) Türkiye'de üretilen, yerli ve Avrupa pazarı talebini karşılayan B ve C segmenti platformu üzerine inşa edilen hafif ticari araçlar, M1 sınıfında da satılmaktadır. Bu araçlar için de CO₂ baskısı otomobiller kadar olacaktır. N1 sınıfı araçlar için hafif araç yapma motivasyonu CO₂ den ziyade yakıt tüketimi ve müşteriye sunulacak faydalı yükten kaynaklanacaktır. Bu nedenle hem M1 ve hem de N1 olarak satılan aynı gövde, hafif araç koşullarına göre geliştirilecektir.
- 6) Gerekli tedbirlerin alınmaması halinde, yerli araç üretiminin karlılığını etkileyen yerli malzeme tedarik oranının, 2025 sonrasında %15'lere düşme riski vardır. 2025 sonrası zorunlu olarak kullanılması gerekecek ultra yüksek mukavemetli çeliklerin ve yukarıda anılan alüminyum alaşım levhaların yerli tedariki için tedbir alınmalıdır.
- 7) Karbon elyaf destekli kompozit malzemelerin, mevcut maliyetleri nedeniyle yüksek adetli imalatlarda kullanımı sınırlı olacaktır. Ancak bu konuda da tedbir alınması uzun vadeli hedefler için gereklidir.
- 8) Sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemeyle hızlı üretim teknolojileri geliştirilmesine destek verilmelidir. Matriks ve elyaf tek operasyonda kalıba gönderilememesi parça üretim hızlarının rekabetçi olmasını engellemektedir.
- 9) Alüminyum kullanımıyla beraber gerekecek yeni birleştirme teknolojilerinin geliştirilmesi desteklenmelidir.
- 10) Farklı malzemelerin birleştirilmesi, özellikle alüminyumun alüminyum veya farklı malzeme ile kaynak edilmesini sağlayacak teknolojiler desteklenmelidir.
- 11) Özellikle şasi, motor, şanzıman ve gövdede kullanılacak alüminyum döküm yetkinlikleri ve kapasiteleri oluşturulmalıdır.

- 12) Yüksek Mg içerikli (>%4) 5XXX serisi ve yaşılanabilir 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının DC döküm ve sıcak haddeleme yöntemi ile üretimini gerçekleştirecek işletmelerin kurulması ve bunların teşvik edilmesi.
- 13) 5XXX ve 6XXX serisi alaşımların mekanik özelliklerinin geliştirilmesi, yaşlandırma karakteristikleri, şekillendirme yöntemleriyle ilgili kalıp teknolojilerinin geliştirilmesi çalışmaları üniversite-sanayi işbirliği kapsamında desteklenmelidir.
- 14) Özellikle 7XXX serisi alüminyum alaşım kullanacak ekstruzyon teknolojisi desteklenmelidir. Bu üretim yöntemi hem gövdede ve hem de tampon kirişlerinin imalatında kullanılabilir.
- 15) Hidroforming teknolojisi hem alüminyum ve hem de ultra yüksek mukavemetli çelikler için desteklenmelidir.
- 16) Özellikle motor gövdesinde yüksek sıcaklık şartlarında kullanılabilecek alüminyum alaşımların geliştirilmesi desteklenmelidir.
- 17) Ön ve arka şasi aksamalarında ve gövde bağlantılarında kullanılacak yorulma direnci yüksek alüminyum alaşımlarının geliştirilmesi desteklenmelidir.
- 18) Koltuk gövdesi geliştirilmesinde magnezyum ve alüminyum döküm kullanımı desteklenmelidir. Bu iki metalin plastik kompozitler ile desteklenmesi daha da hafif ürünü gerçekleyebilir.
- 19) Ürün geliştirme sürecinde Bilgisayar Destekli Mühendislik çalışmalarında kullanılan malzeme mekanik özelliklerinin ölçülebilmesi için test merkezi yatırımları desteklenmelidir. Üretilcek parçalar ve araçların yorulma, titreşim ve çarpışma testleri için laboratuvar imkanları oluşturulmalıdır.

7. KAYNAKLAR

- 1) Otomotiv sanayii 2014 yılı değerlendirme raporu, 2015, OSD, İstanbul
- 2) Lightweight material for automotive application: An Assessment of Material Production Data for Magnesium and Carbon Fiber, 2014, Argonne National Laboratory
- 3) EU CO2 Emission Standards for Passenger Cars and Light-Commercial Vehicles, 2014, International Council on Clean Transportation
- 4) Ricardo, Exploring possible car and van CO2 emission targets for 2025 in Europe, 2012, Final report for greenpeace and Transport & Environment
- 5) ACEA position paper : The COP21 climate change conference, 2015, European Automotive Manufacturers Association
- 6) Advanced High-Strength Steels Application Guidelines, 2014, WorldAutoSteel
- 7) Kelz, M. And Bösselmann, J., Body-in-White Lightweight Design at Mercedes-Benz; Effects on Material and Assembly Concepts of the new S-Class, 2013, Aachen Body Engineering Days
- 8) Jubera, D., Innovative aluminium applications in body structures, doors and closures, 2013, Aachen Body Engineering Days
- 9) Sprengers, B., The latest developments in high strength aluminum, 2015, Aleris

- 10) Ghassemieh, E., Materials in automotive application: State of the art and prospects, New trends and developments in automotive industry, 2011, ISBN: 978-953-307-999-8.
- 11) Lough, M., A review of current aluminum usage in the JLR body structure and the challenges associated with future light weight aluminum body materials, 2015, Bad Nauheim Conference Materials in Body Engineering
- 12) Pichler, A., Hebesberger, T., Krizan, D., Winkelhofer, F., Gruber, M., and Walch, C., Third generation of AHSS grades : A new family of steel grades with a significant improved balance between strength and formability, 2014, Materialien des Karosseriebaus
- 13) Afseth, A. And Rebuffet, O., New high strength aluminum alloys and technology solutions, for automotive body structures, 2015, Bad Nauheim, Materials in Cars Body Engineering
- 14) Alsmann, M., Goede, M., Kulp, S., Patak, J., and Russ, F., Hotforming state of the art and future requirements at Volkswagen, 2014, Bad Nauheim, Materials in Cars Body Engineering
- 15) Singh, H., Mass reduction for light duty vehicles for model years 2017-2025, 2012, US Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration
- 16) Audi A6 life cycle assessment, 2016, AUDI
- 17) Goede, M. and Kurz, H., Forward looking lightweight design solutions for high volume production. The new Passat as an example, 2015, Bad Nauheim, Strategies in Car Body Engineering.
- 18) Hambrecht, T. and Alber U., The new Audi Q7, 2015, EuCarBody-International Car Body Benchmarking Platform
- 19) Brecher, A., A safety roadmap for future plastics and composites intensive vehicles, 2007, U.S. Department of Transportation Research and Innovative Technology Administration
- 20) Automotive The world moves with plastics, 2013, Association of plastics manufacturers
- 21) Plastics and polymer composites in light vehicles, 2015, Economics & Statistics Department American Chemical Council
- 22) Using plastics in auto glass can lightweight a vehicle and help prevent passenger injuries, 2007, American Chemical Council
- 23) Lightweighting vehicles using advanced plastics and composites, 2012, National Research Council Committee on Fuel Economy of Light-Duty Vehicles, American Chemical Council
- 24) Harris, H., MY2017-2025 GHG standard for light duty vehicles mass reduction, 2013, Environmental Protection Agency, EPA, FEV, EDAG.
- 25) Lotus Engineering, An analysis of impact performance and cost considerations for a low mass multi-material body structure, 2013, NHTSA Mass, Size, Safety Workshop
- 26) Light duty automotive technology, carbondioxide emissions and fuel economy trends : 1975 through 2015, 2015, EPA : United States Environmental Protection Agency