

**YENİ NESİL TİCARİ ARAÇLAR İÇİN
HAFİFLETİLMİŞ YOLCU KOLTUĞU
TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI**

Celalettin YÜCE



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİ NESİL TİCARİ ARAÇLAR İÇİN HAFİFLETİLMİŞ YOLCU KOLTUĞU
TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI**

Celalettin YÜCE

Prof. Dr. Nurettin YAVUZ

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2013

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Celalettin YÜCE tarafından hazırlanan “YENİ NESİL TİCARİ ARAÇLAR İÇİN HAFİFLETİLMİŞ YOLCU KOLTUĞU TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Nurettin YAVUZ

Başkan: Prof. Dr. Nurettin YAVUZ U. Ü. Müh.-Mim. Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye: Yrd. Doç. Dr. Fatih KARPAT U. Ü. Müh.-Mim. Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye: Yrd. Doç. Dr. Erol SOLMAZ U. Ü. Müh.-Mim. Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü

/ /

U.Ü. 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.

/ /

Celalettin YÜCE

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YENİ NESİL TİCARİ ARAÇLAR İÇİN HAFİFLETİLMİŞ YOLCU KOLTUĞU TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI

Celalettin YÜCE

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nurettin YAVUZ

Günümüzde taşıtlarda yakıt tasarrufu hem maliyet hem de emisyon oranlarına getirilen kısıtlamalardan dolayı zorunlu hale gelmiştir. Bu doğrultuda enerji verimliliğini arttıracak, emisyon oranlarını azaltacak bir çok teknoloji geliştirilmektedir. Bu teknolojiler arasında taşıt ağırlığını hafifletme ön plana çıkmaktadır.

Yolcu koltukları özellikle toplu taşıma araçlarının ağırlıklarında sayıları itibariyle önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada ticari araçlarda kullanılmak üzere hafifletilmiş yolcu koltuğu tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Geleneksel koltuk yapısında kullanılan St-37 çelik malzemeden üretilmiş boru ve profillerin yerine yüksek mukavemetli çelik malzemeden üretilmiş parçalar kullanılmıştır.

Tasarım aşamasında TRIZ problem çözme metodundan faydalanılmıştır. Hafifletme amacıyla yüksek mukavemetli çelikten üretilmiş profillerin kalınlıkları sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir. Kalınlıkları belirlenen profillerden yolcu koltuğunun prototip üretimi gerçekleştirilmiş ve ECE güvenlik standartlarına uygun olarak testleri yapılmıştır.

Çalışma sonucunda geleneksel koltuk yapısından yaklaşık %20 oranında daha hafif bir yolcu koltuğu üretilmiş ve ortaya çıkan prototip koltuk M3 ve M2 sınıfı ticari araçlar için belirlenmiş olan güvenlik standartlarını sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Hafifletilmiş yolcu koltuğu, Otobüs, Yakıt tasarrufu, Yüksek mukavemetli çelik, Sonlu elemanlar analizi, TRIZ metodu

2013, viii + 95 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

LIGHTWEIGHT PASSENGER SEAT DESIGN AND PROTOTYPE PRODUCTION FOR NEXT GENERATION COMMERCIAL VEHICLES

Celalettin YÜCE

Uludag Universty
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Nurettin YAVUZ

Currently fuel saving has become mandatory for vehicles due to both cost and restrictions of the emission rates. In this respect various technology is being developed to reduce emissions and improve energy efficiency. Weight reduction is come to the fore through these technologies.

Passenger seats are one of the major contributors of the total vehicle weight especially in mass transit vehicles. In this study, lightweight passenger seat design and prototype manufacturing for commercial vehicles was conducted. Conventional seat structure made of ST-37 steel tubes and profiles instead of this new components which made of high strength steel was used.

TRIZ problem solving method have been used at the design stage. High strength steel profiles thickness were determined as a result of the analysis by finite element method. Prototype passenger seat was made of defined profiles thickness. The new seat have been tested in accordance with ECE safety standards.

As a result of the study, a passenger seat was manufactured approximately 20% lighter than conventional seat structure and this new structure ensured safety standarts which are set for the M2 and M3 vehicle class.

Key Words: Lightweight passenger seat, Bus, Fuel saving, High strength steel, Finite element analyses, TRIZ method

2013, viii + 95 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli danıőmanım Prof. Dr. Nurettin YAVUZ'a çok teşekkür ederim.

Çalışmanın her aşamasında gürüő ve yönlendirmelerinden faydalandığım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Fatih KARPAT'a ve malzeme mekanik testleri aşamasındaki yardımlarından dolayı Arő. Gör. Mümin TUTAR'a teşekkür ederim.

Koltuğun üretimi ve testlerinin yapımı aşamasında her türlü imkânı sağlayan Grammer A.Ő. firmasına teşekkür ederim. Analiz aşamasında yardımcı olan Oto. Yük. Müh. Gökhan ŞENDENİZ ve Mak. Müh. Samed ERBİL'e ayrıca teşekkür ederim.

Bu alıőma 01494.STZ.2012-2 numaralı "Yeni Nesil Ticari Araçlar İçin Hafifletilmiş Yolcu Koltuğu Tasarımı Ve Prototip İmalatı" adlı San-Tez projesi kapsamında yapılmıştır. Bu sebeple T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca olduğu gibi bu süreçte de desteklerini hiç esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

/ /

Celalettin YÜCE

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Sera Gazı Emisyonları ve Uluslararası Standartlar	4
2.2. Toplu Taşıma Sektörü	6
2.3. Taşıtlarda Enerji Verimliliğini Arttıran Teknolojiler.....	8
2.4. Taşıtlarda Hafifletmenin Yakıt Tüketimine Olan Etkisi.....	12
2.5. Taşıt Ağırlığını Hafifletme Metotları.....	15
2.5.1. Malzeme Değişirme	17
2.5.1.1. Yüksek Mukavemetli Çelik	19
2.5.1.2. Alüminyum	23
2.5.1.3. Kompozit Malzemeler	25
2.5.2. Optimizasyon Teknikleri	31
2.5.2.1. Tasarım Optimizasyonları	31
2.6. Taşıt Ağırlığında Hafifletme Uygulamaları	35
2.6.1. Toplu Taşıma Araçlarındaki Hafifletme Uygulamaları	37
2.6.2. Koltuk Yapısında Hafifletme Uygulamaları.....	40
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
3.1. Yolcu Koltukları	44
3.2. Koltuk Doğrulama Testleri.....	49
3.2.1. Çarpışma (Crash) Testi	50
3.2.2. Enerji Dağılım Testi... ..	53
3.2.3. Emniyet Kemer Çekme Testi.....	54
3.3. Yolcu Koltuğu Tasarım ve Doğrulama Aşamaları	56
3.3.1. Tasarım Aşaması.....	57
3.3.1.1. TRIZ Metodu	58
3.3.1.2. Yolcu Koltuğunun Tasarımı	62
3.3.2. Doğrulama Aşaması	63
3.3.2.1. Sonlu Elemanlar Metodu.....	63
3.3.2.2. Koltuğun Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması.....	65
3.3.2.3. Analizin Kurgulanması.....	68

4. BULGULAR	70
4.1. TRIZ Metodu Bulguları.....	70
4.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İlgili Bulgular	74
4.3. Test ve Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	83
5. SONUÇ	88
KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. AB’nde sera gazı emisyonlarının sektörlere göre dağılımı	5
Şekil 2.2. Ülkelerin ulaşımında kullandıkları taşıtların yüzdelik dağılımları	7
Şekil 2.3. Taşıtın şehir içi kullanımındaki enerji tüketim şeması.....	8
Şekil 2.4. Taşıtın şehirlerarası kullanımındaki enerji tüketim şeması	9
Şekil 2.5. Taşıtın yaşam döngüsündeki enerji tüketim oranları	12
Şekil 2.6. Hafifletmenin CO ₂ emisyonuna ve yakıt tüketimine olan etkisi	14
Şekil 2.7. Taşıtı oluşturan malzemelerin ağırlıkça oranları	18
Şekil 2.8. Çeliklerde % uzama ve çekme gerilmesi arasındaki ilişki	20
Şekil 2.9. Otomotiv sektöründe kullanılan malzemelerin karşılaştırılması	22
Şekil 2.10. 2025 yılında taşıtlarda kullanılacak malzemelerin tahmini oranları	24
Şekil 2.11. Matris türlerine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması	27
Şekil 2.12. Takviye türlerine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	27
Şekil 2.13. Yapısal optimizasyon türleri	32
Şekil 2.14. Örnek topoloji optimizasyon aşamaları.....	33
Şekil 2.15. Optimizasyon tekniği ile parçanın hafifletilmesi	35
Şekil 2.16. Ticari araçlarda hafifletmenin yakıt tüketimine olan etkisi	38
Şekil 2.17. Farklı araç türlerinde hafifletmenin enerji tüketimine olan etkisi.....	39
Şekil 3.1. İki kişilik otobüs yolcu koltuğu	45
Şekil 3.2. Şaseye kaynatılmış koltuk ayağı	45
Şekil 3.3. Koltuk şase grubu.....	46
Şekil 3.4. Koltuk arkalık yapısı ve iç iskeleti.....	47
Şekil 3.5. Yolcu koltuğunun ağırlık dağılımı	48
Şekil 3.6. Yolcu koltuğunun temel parçaları.....	48
Şekil 3.7. Dinamik çarpışma testi düzeneği	51
Şekil 3.8. Statik çarpışma testi düzeneği.....	52
Şekil 3.9 Enerji dağılım testi düzeneği	53
Şekil 3.10. Emniyet kemer çekme testi düzeneği.....	54
Şekil 3.11. Arkalık itme test düzeneği	56
Şekil 3.12. Hafifletilmiş yolcu koltuğunun CAD datası	62
Şekil 3.13. Emniyet kemeri çekme testi analizi ve gerilme değerleri.....	65
Şekil 3.14. Statik çarpışma testi analizi ve gerilme değerleri	65
Şekil 3.15. Koltuğun sonlu elemanlar modeli	66
Şekil 3.16. Sonlu elemanlar modelinde contactların tanımlanması.....	66
Şekil 3.17. S420MC malzemenin gerilme-yüzde uzama miktarı.....	67
Şekil 3.18. Emniyet kemer çekme testi modellemesi	68

Şekil 4.1. Hafifletilmiş yolcu koltuğunun final tasarımı.....	73
Şekil 4.2. 1 mm 'lik profillerin kullanıldığı koltuktaki gerilme değerleri	74
Şekil 4.3. 1 mm 'lik profillerdeki plastik şekil değiştirme oranı.....	75
Şekil 4.4. 1 mm 'lik profillerin kullanıldığı koltuktaki aralık deplasmanı.....	75
Şekil 4.5. 1,5 mm 'lik profillerin kullanıldığı koltuktaki gerilme değerleri	76
Şekil 4.6. 1,5 mm' lik profillerdeki plastik şekil değiştirme oranı.....	77
Şekil 4.7. 1,5 mm 'lik profillerin kullanıldığı koltuktaki aralık deplasmanı.....	77
Şekil 4.8. 2 mm 'lik profillerin kullanıldığı koltuktaki gerilme değerleri	78
Şekil 4.9. 2 mm' lik profillerdeki plastik şekil değiştirme oranı.....	79
Şekil 4.10. 2 mm 'lik profillerin kullanıldığı koltuktaki aralık deplasmanı.....	79
Şekil 4.11. 2,5 mm' lik profillerdeki plastik şekil değiştirme oranı.....	81
Şekil 4.12. 2,5 mm' lik profillerden oluşan koltukta plastik şekil değiştirme	81
Şekil 4.13. Prototip koltuğun şasesi.....	82
Şekil 4.14. Prototip koltuğun aralık iskeleti.....	83
Şekil 4.15. Prototip koltuğun ECE R14 test görüntüsü	84
Şekil 4.16. Koltuk ayağında oluşan gerilme değerleri.....	84
Şekil 4.17. Prototip koltuğun ayağının test sonrası görüntüsü.....	85
Şekil 4.18. Koltuk şasisinde oluşan gerilme değerleri.....	85
Şekil 4.19. Prototip koltuğun şasisinin test sonrası görüntüsü.....	86
Şekil 4.20. Koltuk aralık iskeletinde oluşan gerilmeler	86
Şekil 4.21. Prototip koltuğun aralık iskeletinin test sonrası görüntüsü.....	87
Şekil 4.22. Prototip koltuğun test sonrası görüntüsü	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Teknolojik gelişmelerin taşıtların yakıt tüketimine olan etkisi.....	9
Çizelge 2.2. Farklı araçlarda elde edilebilecek yakıt tasarrufu oranları	11
Çizelge 2.3. Hafifletmede kullanılabilir potansiyel malzemeler	19
Çizelge 2.4. Kompozit malzemelerde kullanılan liflerin mekanik özellikleri	28
Çizelge 2.5. Hafif malzemelerin mekanik özellikleri ve maliyet oranları.....	29
Çizelge 2.6. Hafifletmede alternatif malzemelerin karşılaştırılması	30
Çizelge 3.1. Emniyet kemer çekme testi kuvvet değerleri.....	55
Çizelge 3.2. Koltuk üretim aşamaları	57
Çizelge 3.3. TRIZ 39 mühendislik parametresi.....	59
Çizelge 3.4. TRIZ 40 buluş prensibi.....	60
Çizelge 3.5. Kısaltılmış TRIZ çelişkiler matrisi.....	61
Çizelge 3.6. Prototip koltukta kullanılan çeliğin mekanik özellikleri	67
Çizelge 4.1. Koltuğa uygulanan TRIZ metodunun çelişkiler matrisi.....	72
Çizelge 4.2. Farklı kalınlıklardaki profillerin analiz sonuçları	80

1. GİRİŞ

Bu çalışma T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü tarafından Sanayi Tezleri Programı (San-Tez) ile desteklenen 01494.STZ.2012-2 numaralı “Yeni Nesil Ticari Araçlar İçin Hafifletilmiş Yolcu Koltuğu Tasarımı ve Prototip İmalatı” konulu San-Tez projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Sürdürülebilirlik, gelecek nesiller için mevcut kaynaklardan ödün vermeden günümüzün ihtiyaçlarını karşılamak üzere ekonomik, insani ve çevresel faktörlerin denge ve dikkat içerisinde ele alınmasını gerektirir. Sürdürülebilirliğin sağlanmasında, ürünlerin ve sistemlerin kütle, enerji, boyut ve zamandan en verimli şekilde yararlanılarak tasarlanması oldukça önemlidir. Günümüzde enerji kaynakları ve biyolojik çeşitlilikteki azalma, küresel ısınma gibi önemli sorunlar sebebiyle sürdürülebilir çevre kavramı, tüm endüstriyel alanlarda enerji verimliliğini arttırmayı öncelikli hedef haline getirmiştir. Bu kapsamda, yeni malzemelerin araştırılması, yeni ürünlerin tasarlanması ve imalat teknolojilerinin geliştirilmesi kaçınılmaz olmuştur.

Günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olan ulaşım faaliyeti sürdürülebilir çevre kavramını doğrudan etkilemektedir. Ekonomik hareketliliğin sağlanması ve toplumların serbestçe seyahat edebilmesi açısından oldukça önemli olan ulaştırma sektörü devletlerin ekonomik ve sosyal refah düzeyinin bir göstergesidir. Özellikle karayolu taşımacılığı ulaştırma sektörü içerisinde önemli bir yere sahiptir. Avrupa Birliği’nde (AB) 2010 yılında kişi başına yaklaşık 13 000 km yol kat edilmiş ve bu hareketliliğin %73,7’lik kısmı binek araç, %7,9’luk kısmı otobüs ve %6,3’ü ise demiryolu ile gerçekleşmiştir (Anonim 2012). Bu rakamlar ulaşım sistemi içerisinde karayolu taşımacılığının büyüklüğünü göstermektedir.

Günümüzde ülkelerin nüfuslarının, refah düzeylerinin ve ekonomik faaliyetlerinin artması sonucunda çok hızlı bir büyüme sürecine giren ulaştırma sektöründen kaynaklı bazı sorunlar sürdürülebilir çevre kavramına zarar vermektedir. Bu sektörde kullanılan taşıtların enerji ihtiyacının fosil yakıtlardan karşılanıyor olması ve bu yakıtların kullanımı sonucunda ortaya çıkan sera gazı emisyonları önlem alınmadığı takdirde gelecek nesiller için olumsuz sonuçlar doğuracaktır.

Yapılan araştırmalar hem ülkemizde hem de dünya genelinde sera gazı salınımındaki artışı ve enerji kaynaklarındaki azalmayı göstermektedir. Bu nedenle taşıtların yaşam döngüsü boyunca hammadde aşamasından geri dönüştürülmesine kadar olan tüm süreçlerde enerji verimliliğinin ön planda tutulması zorunlu hale gelmiştir. Bu doğrultuda otomotiv sektörü, niversiteler ve çeşitli araştırma kuruluşları projeler hazırlayarak yeni nesil taşıtlarda enerji verimliliğini ve düşük karbon emisyonunu sağlayacak teknolojiler geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Taşıtlarda enerji verimliliğini arttıran teknolojiler içerisinde araç ağrılığında hafifletme en etkili yöntemlerden biridir. Bu yöntem sayesinde yakıt tkretiminde azalma sağlanırken aynı zamanda araç ömrü boyunca salgılanan emisyon oranlarında da azalma görülmektedir. Ayrıca taşıt ağrılığında hafifletme, hibrit ve elektrikli araç teknolojilerinin geleceği içinde hayati öneme sahiptir.

Taşıt ağrılığında hafifletme özellikle seyahat mesafesi fazla olan toplu taşıma araçları için önemli oranlarda yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Kat edilen kilometre başına yakıt tkretimini azaltmak emisyonları azalttığı gibi karlılığın önemli bir unsur olduğu bu sektörde maliyetleri de düşürmektedir.

Toplu taşıma araçlarının hafifletilmesinde yolcu koltukları sayıları itibariyle önemli bir yer tutmaktadırlar. Seyahat esnasında yolcunun güvenliği ve konforu açısından en önemli unsurlardan biri olan yolcu koltuklarının yapısı ve fonksiyonları kullanıldığı araç sınıfına bağlı olarak belirlenir. Kullanıldığı taşıtın sınıfına bağlı olarakta uluslararası normlarla belirlenmiş olan güvenlik koşullarını sağlaması istenmektedir.

Yapılan bu çalışmada yeni nesil ticari araçlarda kullanılmak üzere, uluslararası güvenlik normlarına uygun hafifletilmiş yolcu koltuğunun tasarımı, prototip imalatı ve standartlara uygun olarak test işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın Kaynak Araştırması bölümünde enerji tüketimi ve sera gazı emisyon standartlarından bahsedilmiş ve ulaşım sektörü hakkında bilgiler verilmiştir. Taşıtlarda enerji verimliliğini sağlayan teknolojilere değinilerek bu teknolojiler içerisinden taşıt ağrılığında hafifletme seçeneği aıklanmiş ve yakıt tkretimine olan etkisi üzerinde durulmuştur. Hafifletmede kullanılan malzemelerden ve tasarım tekniklerinden bahsedilmiş ve taşıt ağrılığını hafifletme adına yapılan çalışmalara değinilmiştir.

Araştırmanın Materyal ve Yöntem kısmında çalışma konusu olan yolcu koltuklarının yapısı ve özellikleri anlatılmış, sağlaması gerekli olan güvenlik kriterleri ve doğrulama için uygulanan test yöntemleri açıklanmıştır. Koltuğun üretim aşamalarından bahsedilerek tasarım aşamasında kullanılan TRIZ metoduna değinilmiştir. Ayrıca koltuğun doğrulanma aşamasında kullanılan sonlu elemanlar yönteminden bahsedilip koltuğun sonlu elemanlar modeli kurgulanmıştır.

Çalışmanın Bulgular kısmında öncelikle TRIZ metodunun kullanımı ile ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Farklı kalınlıklardaki profillerin kullanıldığı koltukların analiz sonuçları değerlendirilmiş ve en uygun kalınlık değeri belirlenmiştir. Koltuk tasarımında yapılan değişiklikler anlatılmış ve son kısımda üretilen prototip hafifletilmiş koltuğun test ve analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Sonuç kısmında ise yapılan hafifletme çalışması ile elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çalışmanın bu kısmında öncelikle günümüzde artan enerji ihtiyacı ve yakıt tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarından bahsedilmiş ve uluslararası kuruluşlar tarafından getirilen kısıtlamalara değinilmiştir. Enerji tüketiminde ulaştırma sektörünün önemi açıklanmış, yakıt tüketimini azaltan teknolojilerden bahsedilerek bunların içerisinde en etkili seçeneklerden biri olan taşıt ağırlığında hafifletme üzerinde durulmuştur. Hafifletmede kullanılan malzemeler ve tasarım teknikleri hakkında bilgiler verilmiş ve literatürdeki çalışmalardan bahsedilmiştir. Son kısımda ise bu alanda yapılan uluslararası proje ve çalışmalara örnekler verilmiş ve toplu taşıma sektöründeki araçlar ile koltuk yapılarına yönelik hafifletme çalışmalarından bahsedilmiştir.

2.1. Sera Gazı Emisyonları ve Uluslararası Standartlar

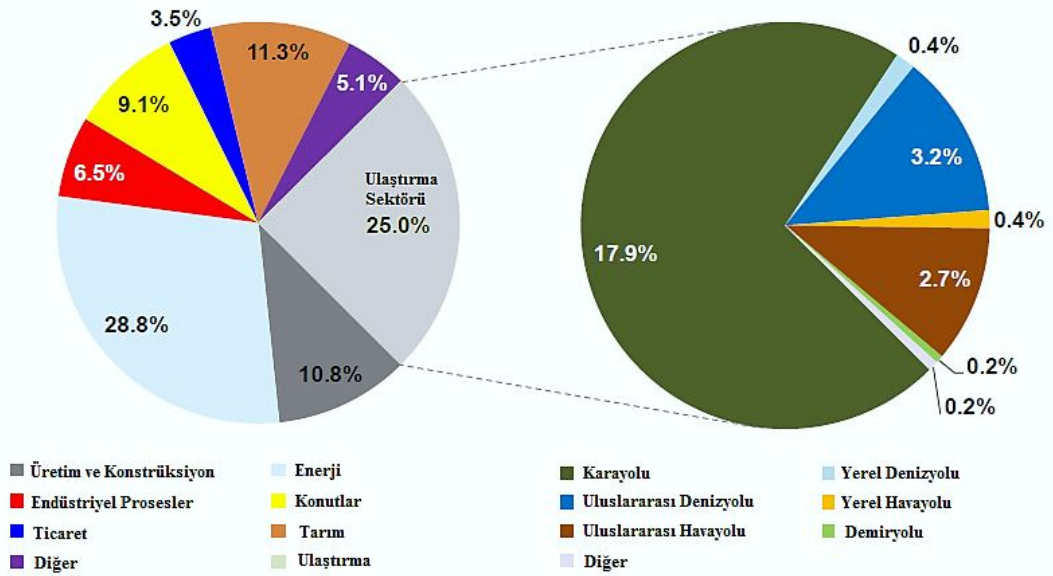
Uluslararası araştırma kuruluşları 2008-2035 yılları arasında küresel enerji ihtiyacının %53 oranında artacağını öngörmektedirler. Sanayi üretiminden sonra enerji ihtiyacı bakımından ikinci büyük sektör olan ulaştırma sektörü, bu artışta önemli bir rol oynamaktadır. 2009 yılında bu sektör, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) enerji tüketiminin %29'unu, Avrupa Birliği'ndeki (AB) tüketimin yaklaşık olarak üçte birini ve toplamda dünyadaki enerji tüketiminin %27'sini gerçekleştirmiştir. Ulaştırma sektöründeki bu enerji ihtiyacının %81'lik kısmı karayolu taşımacılığında kaynaklanmaktadır. 2008-2035 yılları arasında taşıt sayısının artması sonucunda bu tüketimde yıllık %1,4 oranında bir büyüme öngörülmektedir (Anonim 2011).

Ulaştırma sektöründeki enerji ihtiyacının büyük bölümünü karşılayan petrol ve sıvı yakıtların tüketimi 2008 yılında günlük 85,7 milyon varil olarak gerçekleşmiş olup 2020 yılında ise 97,6 milyon varil olacağı öngörülmektedir. 2008-2035 yılları arasında ulaştırma sektöründe kullanılan sıvı yakıt miktarının yükselen fiyatlara rağmen %46 oranında artacağı öngörülmektedir. Sıvı yakıt tüketimindeki bu artış, hızlı ekonomik kalkınma ile birlikte dünya üzerindeki enerji tüketiminden kaynaklı karbondioksit (CO₂) emisyonunun 2008 yılında 30,2 milyar ton olmasına yol açmıştır. 2035 yılı için ise bu emisyonun 43,2 milyar ton olacağı öngörülmektedir (Anonim 2013).

Ulaştırma sektörünün sera gazı salınımlarına ilişkin Howey ve ark. (2010) yapmış olduğu çalışmada bu sektörün 2007 yılında dünyadaki enerji tüketiminden kaynaklanan

CO₂ miktarının yaklaşık olarak %23'lük kısmından sorumlu olduğunu belirtmişlerdir. Bu miktarın artan nüfus oranı ve kişi başına düşen gelirdeki artış ile 2030 yılında %35 olacağını öngörmüşlerdir.

Atabani ve ark. (2011) ise 2008 yılında ulaştırma sektörünün dünyadaki CO₂ emisyonunun yaklaşık olarak %22 sine neden olduğunu ve bu sektör içerisinde karayolu taşımacılığının dünya üzerindeki toplam sera gazı emisyonunun %10'luk kısmından sorumlu olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca karayolu taşımacılığının AB içerisinde de en büyük sera gazı salınımı yapan sektör olduğu da bilinmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. AB'nde sera gazı emisyonlarının sektörlere göre dağılımı (Hill ve ark. 2011)

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) verilerine göre önleyici tedbirler alınmazsa ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı miktarının 2030 yılında %50, 2050 yılında ise %80 oranında artacağı öngörülmektedir (Anonim 2010).

Tüketilen yakıt miktarları ile çevreye zararlı gazların salınımının artmasını engellemek için devletler ve sivil toplum kuruluşları birçok araştırma yapmakta ve yasal düzenlemelere gitmektedirler. Başta ABD, AB, Çin, Japonya, Kanada ve Güney Kore gibi taşıt üretiminde öncü olan devletler çeşitli standartlar ile araçlardan salınan CO₂ emisyonunun azaltacak programlar ve yasal zorunluluklar oluşturmuşlardır.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadelede AB ön plana çıkmaktadır. Avrupa Komisyonu ile Avrupa Otomobil Üreticileri Birliği arasında 1998 yılında imzalanan

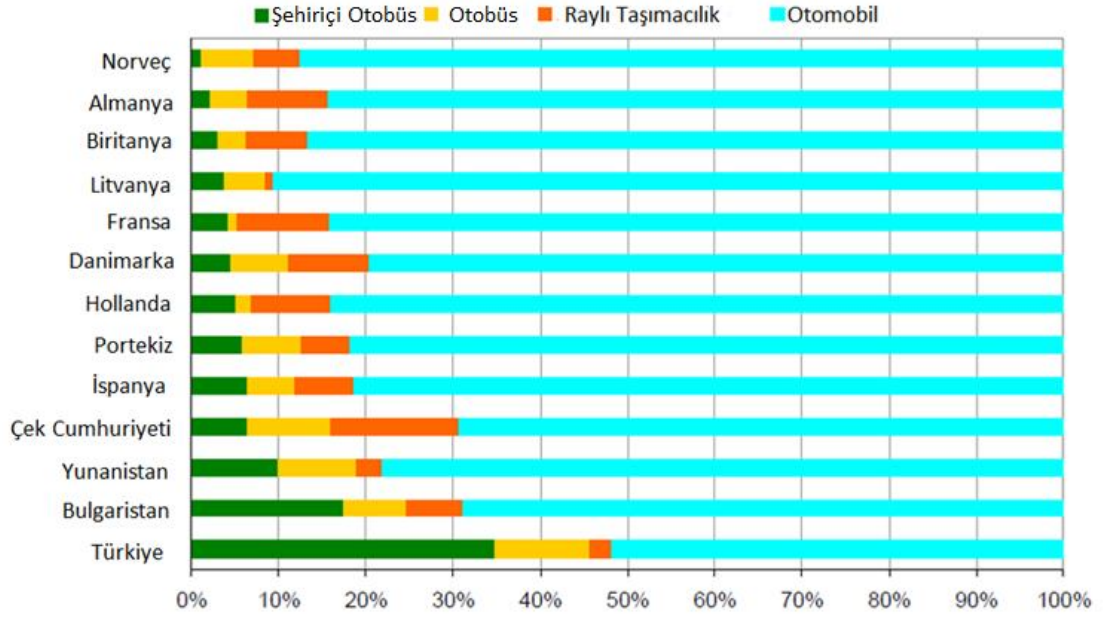
anlaşma ile salgılanan CO₂ miktarının kademeli olarak azaltılması kabul edilmiştir. 1995 yılında ortalama salınım miktarı 186 gCO₂/km iken 2008 yılı için 140 gCO₂/km, 2012 yılı için ise 120 gCO₂/km olarak belirlenmiştir. Bu anlaşmadan sonra Japon ve Koreli otomobil üreticileri de Avrupa'ya sattıkları araçlarda bu regülasyonları uygulayacaklarını duyurmuşlardır. 2009 yılına gelindiğinde ise bu hedeflerin tutturulamaması sonucunda AB yeni bir regülasyon (EC 443/2009) ile emisyonlara sınırlama getirmiştir. Bu regülasyona göre binek araçlardan salgılanan CO₂ miktarının 2015 yılından itibaren 130 g CO₂/km, 2020 yılı için ise 95 g CO₂/km olması istenmektedir. Hafif ticari araçlar için ise 2017 yılı itibariyle 175 g CO₂/km sınırı getirilmiştir (Anonim 2011).

2010 yılında ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Ulaştırma Bakanlığı (DOT) tarafından hazırlanan yönetmelik ile binek araçlardan salgılanan CO₂ emisyonunun sınırı 2012-2016 yılları arasında 250 gCO₂/mil olarak belirlenmiştir. ABD, Kaliforniya ve otomotiv endüstrisi aralarında yapmış oldukları anlaşma ile de 2025 model yılı itibariyle salgılanan CO₂ miktarını 163 g CO₂/mil olarak belirlemişlerdir (Anonim 2011).

Ağır ticari araçlar için regülasyonları devreye sokan ilk ülke olma özelliğine sahip olan Japonya 2007 yılında 2015 model yılı için regülasyonlar belirlemiş ve 2004 yılındaki yakıt tüketime göre %23,5 oranında bir iyileştirme hedeflemiştir. Yine aynı şekilde Güney Kore'de 2010 yılında 2015 model yılı için sınırı 140 g CO₂/km olarak belirlemiştir. Çin ise 2015 model yılı için sınırı 167 g CO₂/km olarak belirlemiştir (Anonim 2011).

2.2. Toplu Taşıma Sektörü

Toplu taşıma sektörü gelişmekte olan ülkeler için oldukça önemli bir ulaşım seçeneğidir. Bu alanda otobüs, midibüs, minibüs gibi karayolu taşıtları ön plana çıkmaktadır. Avrupa Komisyonunun koordinasyonunda yapılan bir araştırma sonucu olarak ülkelerin ulaşımda kullandıkları araçların oranları Şekil 2.2'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi Türkiye en fazla toplu taşıma aracı kullanan ülke konumundadır (Steer Davies Gleave 2009).



Şekil 2.2. Ülkelerin ulaşımda kullandıkları taşıtların yüzdelerik dağılımları (Steer Davies Gleave 2009)

Yine aynı rapor içerisinde toplu taşıma araçlarının günlük ulaşımda kullanımı açıklanmıştır. 2008 yılında otobüs ile yaklaşık 540 milyar kilometre seyahat edildiği ve bunun büyük kısmının şehir içi ulaşımda kullanılan otobüsler tarafından yapıldığı belirtilmiştir. AB'nin genişlemesi, ülkeler arasındaki geçişlerin kolaylaşması, kültür turizmlerinin artması sonucunda diğer ulaşım yöntemlerine göre güvenli, etkili ve esnek olan karayolu ulaşımının hızla artacağı da öngörülmüştür.

Raporda otobüs ile yapılan seyahat miktarı açısından AB ve komşu 13 ülke arasında en fazla olan ülkenin Türkiye olduğunu onu Fransa'nın takip ettiği belirtilmiştir. Ayrıca toplam seyahat edilen kilometrenin taşıtlara göre sınıflandırılmasında vatandaşlarımızın yaklaşık %45'inin otobüsler ile seyahat ettiği ortaya çıkmıştır. Bu veriler ışığında ülkemizdeki toplu taşıma araçlarına yapılacak olan teknolojik yatırımların geri dönüşünün kullanım oranına bağlı olarak kısa zamanda olacağı anlaşılmaktadır.

Kullanım ömrü boyunca seyahat ettikleri mesafelerin oldukça fazla olması nedeniyle bu taşıtların yakıt tüketiminde sağlanacak olan gelişmenin etkisi büyük olacaktır. Bu doğrultuda yasal düzenlemeler yapılmış ve bu araçlarda kullanılan motorların (EURO5) daha az emisyon salınımı yapan (EURO6) motorlar ile değiştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bunun yanı sıra karlılık oranının toplu taşıma sektöründe çok önemli olduğu

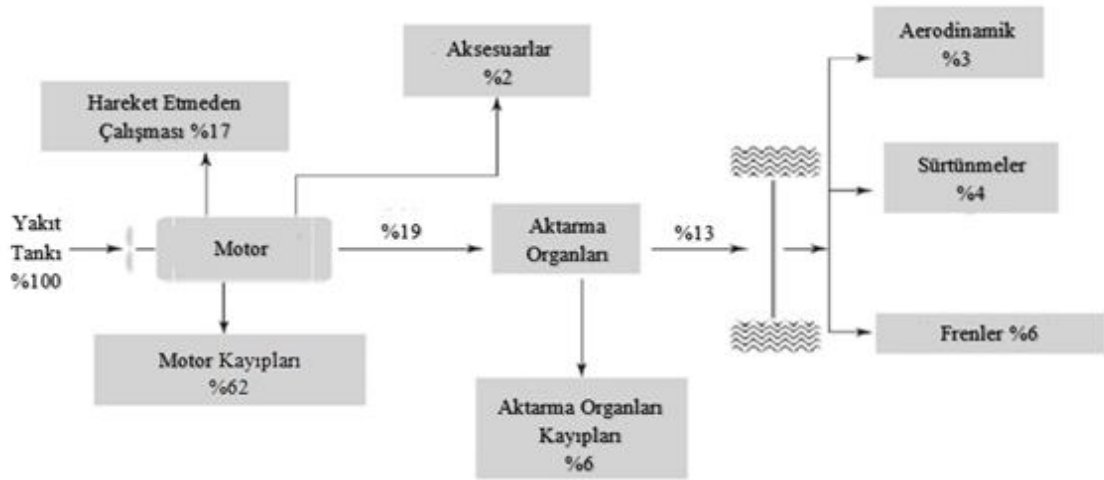
da bilinen bir gerçektir. Yakıt fiyatlarının arttığı günümüzde bu alanda kullanılan taşıtlarda sağlanacak olan yakıt tasarrufu maliyetlere olumlu yönde katkı yapacaktır.

İnsan hayatının ve ticari hareketliliğin vazgeçilmez bir parçası olan toplu taşıma sektörü insan odaklı ve güvenlik kriterleri en üst düzeyde olan bir alandır. Toplu taşıma sektöründeki taşıtlara uygulanacak olan yakıt tüketimini azaltacak teknolojilerin geri dönüşünün hızlı olması istenmektedir. Bu alanda kullanılan otobüs, minibüs, midibüs gibi araçlara uygulanacak olan teknolojiler sayesinde daha konforlu, daha az yakıt tüketimi olan ve çevreye duyarlı taşıtların üretilmesi mümkün olacaktır.

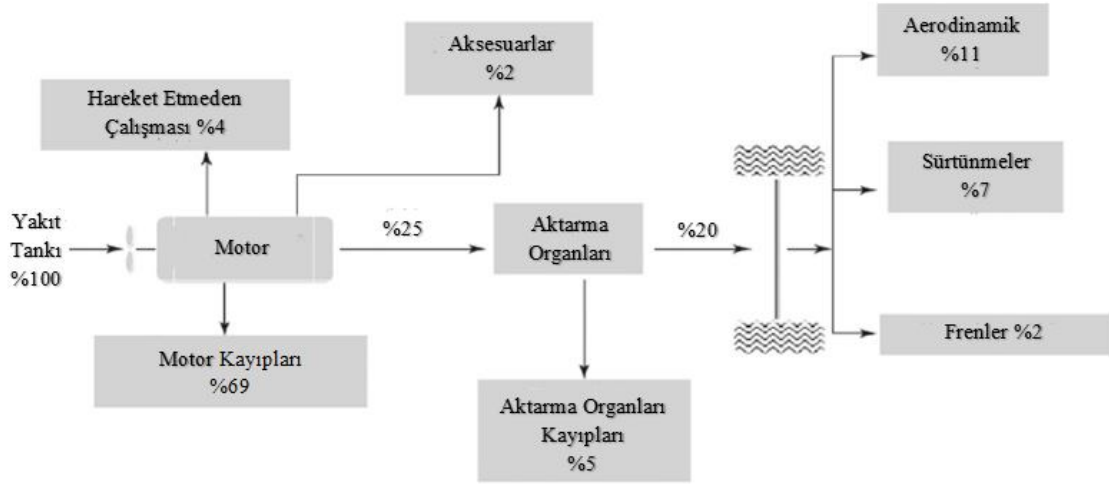
2.3. Taşıtlarda Enerji Verimliliğini Arttıran Teknolojiler

Yakıt tüketimine getirilen yasal zorunluluklar otomotiv sektörünü yeni arayışlara itmiştir. Sektördeki firmalar çeşitli teknolojilere yatırım yaparak projeler geliştirmekte ve değişen pazardan pay sahibi olmak için çalışmaktadırlar. Bu doğrultuda enerji verimliliği yüksek, çevreye daha duyarlı araçların üretilmesi hedeflenmektedir.

Taşıtlar kullanım koşullarına ve tiplerine göre farklı çalışma koşullarına maruz kalmaktadırlar. Bu nedenle yakıt tüketimleri araç tipine, kullanım koşuluna ve sürücü davranışlarına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 2.3 ve 2.4'te bir araçtaki enerji tüketimi şehir içi ve şehir dışı yollardaki kullanıma bağlı olarak görülmektedir.



Şekil 2.3. Taşıtların şehir içi kullanımındaki enerji tüketim şeması (Atabani ve ark. 2011)



Şekil 2.4. Taşıtın şehirlerarası kullanımındaki enerji tüketim şeması (Atabani ve ark. 2011)

Yapılan araştırmalar sonucunda taşıtlarda enerji verimliliğine ve yakıt tüketimine etki edecek birçok teknoloji ortaya çıkarılmış ve uygulanacak olan bu teknolojilerin araç sınıfına bağlı olarak farklı oranlarda yakıt tüketimine katkı sağlayacağı görülmüştür. Çizelge 2.1’de taşıtlara uygulanacak olan teknolojinin yakıt tüketimine olan etkisi verilmiştir.

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

Birçok araştırmacı taşıtlara uygulanabilecek olan teknolojilerin yakıt tüketime olan etkisini incelemiştir. Plotkin (2009) hafif ticari araçlar için yakıt ekonomisini ve CO₂ salınımını yasal zorunlulukları göz önünde bulundurarak incelemiştir. Bu çalışmada endüstrinin genellikle güç aktarma organları üzerinde yoğun çalışmalar yaptığını bunun dışında taşıt ağırlığında hafifletme, taşıt aerodinamiğinin geliştirilmesi, sürtünme kuvvetlerinin azaltılması ve motorlar üzerimde de çalışmaların yapıldığını belirtmiştir. Ayrıca kısa dönemde (12-15 yıl) devletler ve taşıt üreticilerin ortaklaşa yapacağı çalışmalar ile yakıt ekonomisinde %30-50 oranında bir iyileştirmenin mümkün olacağını belirtmiştir. Bu çalışmada ileri teknoloji kullanımı ile artan maliyetlerin aracın kullanım aşamasında sağlanan yakıt ekonomisi ile karşılanabileceği açıklanmıştır.

Kobayashi ve ark. (2009) enerji verimliliği için uygulanabilecek teknolojilerin yakıt ekonomisine olan etkilerini incelemişler ve araçlardaki hafifletmenin aerodinamik sürtünmeleri de azaltacağını açıklamışlardır. Çeşitli motor ve transmisyon iyileştirmelerinin aktarma organlarının verimliliğini arttıracğını, direk enjeksiyonlu benzinli ve dizel motorların iyileştirilmesinin %50 oranında bir verimlilik sağlayacağını belirtmişlerdir. Uzun dönemli planlarda ise hibrit ve elektrikli araçların geliştirilmesi ile bio yakıtların kullanılmasını önermişlerdir.

Kojima ve ark. (2010) karayolu taşımacılığındaki enerji tüketiminin yakıt verimliliği, alınan yol ve araç sayısı ile orantılı olduğunu belirtmişlerdir. Yakıt verimliliğinin taşıtın teknik özellikleriyle ilgili olduğunu ve 2030 yılına kadar uygun maliyetler çerçevesinde araçlardaki yakıt ekonomisinin %50 oranında geliştirilebileceğini açıklamışlardır. Bu doğrultuda yapılacak olan çalışmaları ise taşıtlarda enerji verimliliğini arttıran teknolojilere yönelme, seyahat edilen mesafelerin kısaltılması ve gelişmiş, verimli bir toplu taşıma sisteminin kullanılması olarak belirtmişlerdir.

Cheah ve ark. (2011) ABD CAFE (Corporate Average Fuel Efficiency) standartlarının karşılanması için geliştiren teknolojileri incelemişler ve geçiş sürecinin oldukça önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada etkileri incelenen teknolojiler motorun ve güç aktarma organlarının geliştirilmesi, yapısal önemi olmayan parçaların ağırlıklarının azaltılması ve hibrit elektrikli araçların kullanımının arttırılmasıdır. Ayrıca çalışmada 5 yıllık süreçte yeni teknolojileri içeren taşıt üretiminin mümkün olabileceğini belirtmişlerdir.

Bastani ve ark. (2012) yakıt ekonomisine katkı sağlayacak teknolojileri esas alan senaryolar hazırlamış ve simülasyonlar ile bu seçilen teknolojik gelişimin yakıt tüketimine olan katkısını incelemişlerdir. Hafif ticari araçlarda sağlanacak olan %20 oranında bir hafifletme ile 2016 yılında hedeflenen yakıt tüketim standartlarının sağlanacağını belirtmişlerdir. Bu çalışmada öne çıkan teknolojiler ise araç ağırlığındaki hafifletmeler, alternatif yakıt ve güç üretim sistemlerinin kullanılması, aktarma organlarındaki gelişmeler olmuştur. Bu teknolojilerin uygulanmasında devlet teşviklerinin ve tüketicinin bilinçlendirilmesinin önemli olduğuna değinmişlerdir.

Yapılan araştırmalar sonucunda taşıtlarda enerji verimliliğini arttırmak adına uygulanabilecek olan teknolojilerin aracın dahil olduğu sınıfa göre farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Vyas ve ark. (2002) kullanılan teknolojiye ve araç sınıfına bağlı olarak yakıt ekonomisinde elde edilebilecek potansiyel gelişmeleri incelemişlerdir. Çalışmada ortaya çıkan sonuçlar Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Farklı araçlarda elde edilebilecek yakıt tasarrufu oranları (Vyas ve ark. 2002)

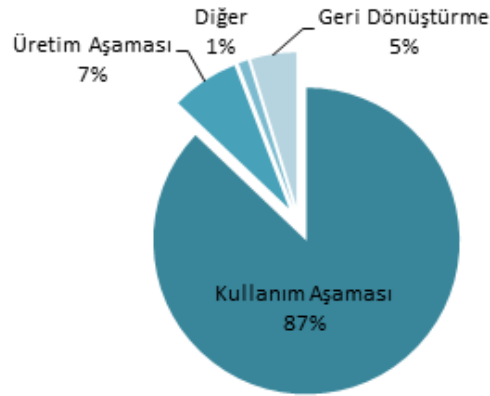
Taşıt Sınıfı	Uygulanacak Teknolojik Yenilik	Yakıt Ekonomisindeki Potansiyel Gelişme
Hafif Ticari Araçlar	▪ Aerodinamik Etkinlik ve Sürtünmelerin Azaltılması	%10
	▪ Motor Sistemlerindeki İyileştirmeler	%25
Hafif ve Orta Ağırlıktaki Taşıtlar	▪ Aerodinamik Etkinlik ve Sürtünmelerin Azaltılması ve Hafifletme	%17
	▪ Motor Sistemlerindeki İyileştirmeler	%20
	▪ Hibrit Elektrik Teknolojileri	%40
Otobüsler	▪ Aerodinamik Etkinlik ve Sürtünmelerin Azaltılması ve Hafifletme	%17
	▪ Motor Sistemlerindeki İyileştirmeler	%20
	▪ Hibrit Elektrik Teknolojileri	%40

2.4. Taşıtlarda Hafifletmenin Yakıt Tüketimine Olan Etkisi

Taşıtlarda enerji verimliliğine ve yakıt ekonomisine katkı sağlayan teknolojiler içerisinde araç ağırlığında hafifletme seçeneği yapılan araştırmalar sonucunda öne çıkmıştır. Güvenlik ve performanstan ödün vermeden taşıt ağırlığının hafifletilmesi ile yakıt tüketiminde azalma sağlanması mümkün olmaktadır.

Taşıtların ağırlıkları son yıllarda artış eğilimine girmiştir. Artan güvenlik kriterleri (hava yastıkları, çocuk koltukları), konfor ve teknolojideki gelişmeler (klimalar, elektronik ayarlanabilen koltuklar, sunroof, elektrikli aksam, ABS, ASR) sebebiyle araçların ağırlıkları ve buna bağlı olarakta yakıt tüketimleri artmıştır. Bu nedenle otomotiv üreticileri ve yan sanayileri tasarım, malzeme seçimi ve üretim teknikleri üzerine araştırmalar yaparak taşıtları hafifletmeye çalışmaktadırlar.

Bir aracın hammaddesinin temini aşamasından geri dönüştürülmesine kadarki olan yaşam döngüsü göz önüne alındığında en fazla enerji tüketimi kullanım aşamasında gerçekleşmektedir (Şekil 2.5). Aracın kullanım aşamasındaki enerji tüketimi ise kat ettiği yol ve tükettiği yakıt miktarına bağlıdır. Bu nedenle kullanım aşamasındaki enerji ihtiyacının yani yakıt tüketiminin azaltılması istenilen bir durumdur (Mayyas ve ark. 2012).



Şekil 2.5. Taşıtların yaşam döngüsündeki enerji tüketim oranları (Mayyas ve ark. 2012).

BCC araştırma şirketi tarafından 2011 yılında yapılan ve ulaştırma sektöründe kullanılan hafif malzemeleri inceleyen raporda taşıtların yapısal ağırlığını azaltmanın yakıt tüketimini azaltmada ve taşıtların performansını arttırmada en önemli yöntem olduğu

belirtilmiştir. Ortalama bir aracın yakıt tüketiminin yaklaşık % 75'inin ağırlık ile ilişkili faktörlerden kaynaklandığı ifade edilmiş ve otomotiv sektöründe kullanılan hafif metal miktarının 2010 yılında 46,7 ton olduğu, 2015 yılında ise 67,5 milyon ton olacağı öngörülmüştür (BCC 2011)

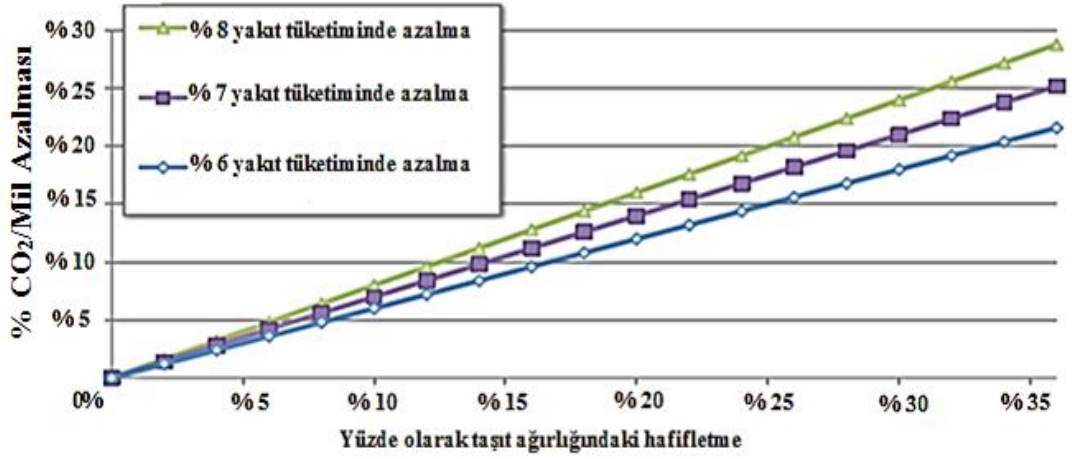
Son yıllarda literatürde taşıt ağırlığında hafifletmenin yakıt tüketimine ve emisyon salınımına olan etkisi üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Helms ve ark. (2006) 100 kg'lık bir hafifletmenin farklı araç türlerinde 100 km'lik bir seyahat boyunca etkisini incelemişlerdir. Karayolu taşıtlarındaki en büyük enerji tüketiminin aracın fiziksel dirençlerini karşılayıp hareket ettirme aşamasında gerçekleştiğini belirtmişler ve taşıtın yenmesi gereken fiziksel güçleri ise aşağıdaki gibi açıklamışlardır;

- Tekerlekleri harekete geçirme (ağırlık ve tekerlekle yol arasındaki sürtünme kuvvetine bağlı)
- Eğim (yokuş iniş ve çıkışlarda ağırlık ve eğim açısı ile orantılı)
- Hızlanma (motor ve araç ağırlığı ile orantılı)

Cheah (2010) çalışmasında hafifletmenin yakıt tüketimini azaltmada önemli bir strateji olduğunu, bu sayede aracın harekete geçmesi için daha az enerjiye ihtiyaç duyacağını, bunun sonucu olarak CO₂ salınımının azalacağını belirtmiştir. Taşıt ağırlığındaki %10 oranındaki hafifletmenin yakıt tüketimine yaklaşık %5-7 oranında katkı sağlayacağını açıklamıştır. Çalışmasında şehir içi ve şehirlerarası yollarda kullanılan bir binek aracın her 100 kg'lık hafifletilmesi ile yakıt tüketiminde 0,39 L/100 km, hafif ticari aracın ise 0,48 L/km azalma görüleceğini belirtmiştir.

Lutsey (2010) taşıt ağırlığındaki azalmanın yakıt ekonomisine ve salgılanan CO₂ miktarına olan etkisini incelemiş ve sonuçları Şekil 2.6'da görülen bir grafik ile ifade etmiştir.



Şekil 2.6. Hafifletmenin CO₂ emisyonuna ve yakıt tüketimine olan etkisi (Lutsey 2010)

Avrupa Alüminyum Birliği (European Aluminum Association) (EAA 2012) hafifletme ile motor, transmisyon, aks ve diferansiyelde küçülmeler sağlanabileceğini ve motor büyüklüğünün sabit tutulması halinde hızlanmak için daha az güç veya daha fazla hız elde edileceğini belirtmiştir. Aracın yol tutuşunun da hafifletmeden olumlu yönde etkilendiği, ağırlık merkezinin yere yaklaştığı, devrilme riskinin azaldığı açıklanmıştır. Sürüş konforu açısından da hafifletmenin titreşimlerin sönümlenmesi, yaylar üzerinde taşınmayan kısma daha az yük gitmesi gibi faydalarının olduğu belirtilmiştir.

Taşıtın hafifletilmesi ile yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak salgılanan CO₂ miktarının azalacağı ortaya çıkan ortak bir sonuçtur (Kim ve Wallington 2013). Bu sonuçla birlikte sera gazı miktarını düşürmede ve daha temiz bir çevre hedefine ulaşmada kilit rol oynayacak olan hibrit ve elektrikli araç teknolojisi içinde hafifletme kritik öneme sahiptir. Bu teknolojilerde bataryadan kaynaklanan ekstra yük aracın diğer parçalarında yapılacak olan hafifletmeler ile elimine edilmeye çalışılacaktır. Henüz yaygın olmaması, şarj istasyonlarının az olması ve dolu bir batarya ile alınabilecek mesafenin oldukça kısa olmasından dolayı hafif olarak üretilecek olan elektrikli araçlar sayesinde bir batarya ile daha fazla yol gitmek mümkün olacaktır (Liu ve ark. 2013).

Taşıt ağırlığında hafifletme ile yakıt tasarrufu sağlamak ve emisyon standartlarını yakalamak adına son yıllarda dünyanın önde gelen otomotiv firmaları ve yan sanayileri kısa süreli hedefleri arasına hafifletme stratejilerini koymuştur. Örneğin, Ford 2011-2020 yılları arasında, taşıt modeline bağlı olarak ağırlığı 110-340 kg arasında azaltmayı hedeflediğini açıklamıştır. Nissan'ın ise 2015 yılına kadar taşıt başına %15 oranında

hafifletme hedefi vardır. Mazda 100 kg lık bir hafifletmeyi başarmış olup 2016 yılına kadar buna ek olarak 100 kg daha hafifletmeyi hedeflemektedir. Hyundai firmasının 10 yıllık süreçte %20-25 oranında bir hafifletme hedefi vardır. Toyota 2008 yılında hedeflediği hafifletme oranı olan %10'u (158 kg) sağlamış olup, 2015 yılına kadar %30 oranında bir hafifletmeyi yeni hedef olarak belirlemiştir (Lutsey 2010).

Literatürdeki çalışmalar sonucunda değişik araç türlerine (binek, hafif ticari, otobüs), kullanım çeşitlerine (şehirlerarası, şehir içi) ve kullanım miktarlarına bağlı olarak taşıtlarda her 100 kg'lık hafifletmenin ortalama 0,3-0,4 L yakıt tasarrufu sağlayacağı belirtilmiştir. Bir başka deyişle %10 oranındaki bir hafifletme ile yakıt ekonomisinde %2-9 oranında iyileşmenin görüleceği açıklanmıştır. Ayrıca 0,4 litre daha az yakıt tüketimi araç başına 10 gram daha az CO₂ salınımı anlamına gelmektedir. Bu rakam tek başına düşünüldüğünde önemsiz gibi dursa da 80 milyona yaklaşan motorlu araç üretimi göz önüne alındığında sürdürülebilir bir çevre açısından ne denli büyük bir rakam olacağı anlaşılacaktır.

2.5. Taşıt Ağırlığını Hafifletme Metotları

Performans, güvenlik ve konfordan ödün vermeden yapısal ağırlığı azaltmak, motorlu taşıtlarda yakıt tüketimini azaltmanın ve enerji verimliliğini sağlamanın en önemli yollarından birisidir. Taşıt üzerindeki parçaların daha hafif malzemelerden üretilmesi, taşıtın boyutunun küçültülmesi, parçaların optimizasyon teknikleri ile yeniden tasarlanıp yeni üretim teknikleri ile üretilmesi gibi farklı metotlar kullanılarak bu hafifletmeler sağlanabilmektedir. Aşağıda yapılan araştırmalarda hafifletmede kullanılan metotlardan örnekler verilmiştir.

Cheah ve ark.(2007) günümüzdeki araçların ağırlıklarının en az %20-35 oranında hafifletilmesi gerektiğini, bunun ortaya çıkardığı maliyetinde 4-5 yıllık yakıt tüketimindeki azalmadan kaynaklanan kazanımla karşılanabileceğini belirtmişlerdir. Bu hafifletmenin araçların motor ve diğer parçalarının daha küçük olarak yeniden tasarlanması, kullanılan malzemelerin alüminyum, magnezyum, yüksek mukavemetli çelik ve kompozitler ile değiştirilmesi ve araçların hacminin, boyutlarının küçültülmesi şeklinde sağlanacağına değinmişlerdir.

Bjelkengren (2008) araç ağırlığında hafifletmenin düşük yoğunluklu daha hafif malzemelerin kullanılması, optimizasyon seçenekleri ile tasarım yapılması, gerekli olmayan parçaların kaldırılması ve yeni parça üretim teknolojilerinin uygulanması ile mümkün olacağını belirtmiştir. Ana başlıklar altında yapılabilecek çalışmaları da aşağıdaki gibi açıklamıştır.

- Malzemelerin Değiştirilmesi
 - Yüksek alaşımlı çelik ile üretilmiş parçaların kullanılması
 - Karbon fiberden yararlanılması
 - Alüminyum motor blokların kullanılması
- Tasarım Değişiklikleri
 - Koltuk iskeletlerinin optimizasyonu
 - Motorda kullanılan parçaların et kalınlıklarının azaltılması
 - Kontrol panelinin optimizasyonu
 - Lastik ve jantların önemini azaltmak
 - Süspansiyonlara şekil optimizasyonunun uygulanması
 - Yakıt tankının boyutunun küçültülmesi
- Yeni Üretim Teknikleri
 - Araç gövdesindeki kaynak seçeneklerinin gözden geçirilmesi
 - Alüminyum süper plastik şekillendirmenin kullanılması

Bandivadekar ve ark. (2008) hafif malzemeler ile üretilmiş parçaların kullanılması, taşıtların boyutlarının küçültülmesi ve tasarım optimizasyonları seçenekleri ile hafifletme sağlanacağını belirtmişlerdir. Kullanılabilecek olan malzemelere alüminyum, yüksek alaşımlı çelik, kompozit ve plastikleri örnek vermişler ve detaylı bir analiz ile bu malzemelerin kullanımı sonucunda %20 oranında hafifletmenin mümkün olacağını göstermişlerdir. 20 yıllık bir süre içerisinde karşılanabilir maliyetler çerçevesinde bu malzemelerin kullanımı ile %35 daha hafif taşıt üretiminin mümkün olacağını açıklamışlardır. Ayrıca her 100 kg'lık hafifletmenin yakıt tüketiminde 0,69 L/100 km azaltma sağlayacağını ve %35 oranında bir hafifletmenin de yakıt tüketimini %12-20 arasında azaltacağını belirtmişlerdir.

Lutsey (2010) taşıt ağırlığındaki hafifletmenin diğer teknolojik gelişimlere de katkı sağlayacağını belirtmiştir. Hafifletme seçenekleri olarak yüksek mukavemetli çelik,

magnezyum, kompozit gibi alternatif malzemelerin kullanılması ve tasarımların malzeme miktarını azaltacak şekilde olmasını göstermiştir. Hibrit araç ve elektrikli araç teknolojilerinin de başarısında önemli rol oynayacak olan hafifletmenin, taşıtı oluşturan parçaların teker teker ele alınarak yeniden tasarlanması ve yeni malzemeler eşliğinde yeni teknikler ile üretilmesi sonucunda mümkün olacağı belirtilmiştir.

Witik ve ark. (2011) araç ağırlığında hafifletmenin inovatif tasarım ve kullanılan malzemelerin değiştirilmesi ile sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Kompozit, çelik, magnezyum gibi farklı malzeme seçenekleri kullanılarak ürünün yaşam döngüsü boyunca enerji verimliliğinin artırılabilirliğini açıklamışlardır. Bazı malzemelerde fiyat kısıtlaması ön plana çıkarken bazılarında ise hafifletme sebebiyle kullanım aşamasında büyük enerji tasarrufu sağlandığı belirtilmiştir.

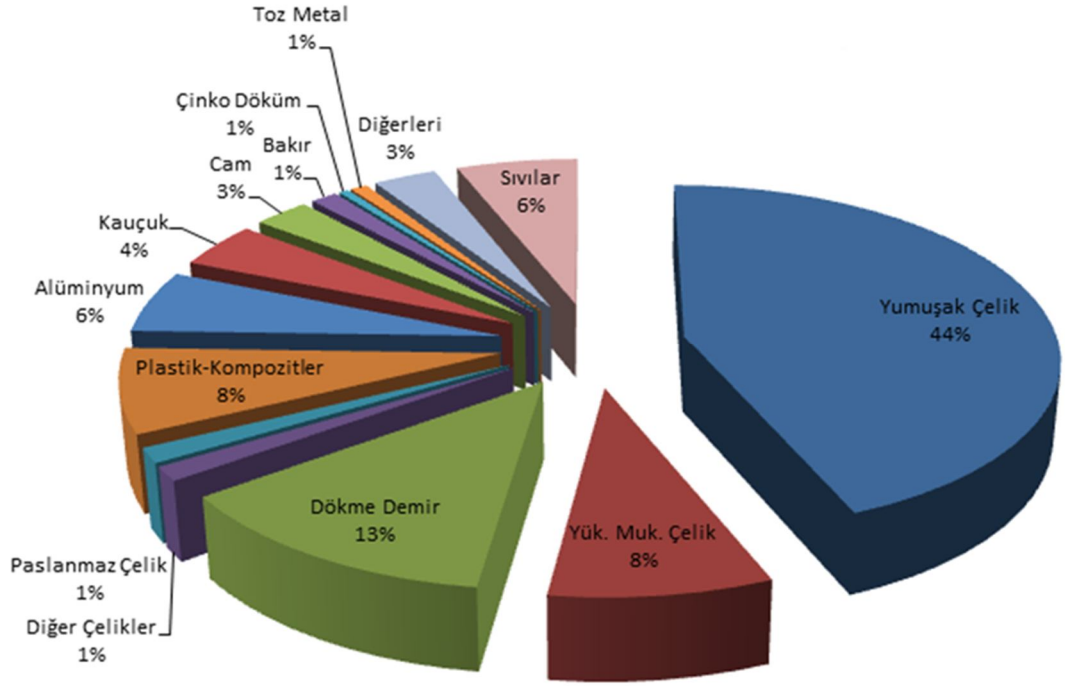
Literatürün incelenmesi sonucunda taşıt ağırlığını hafifletme için kullanılan yöntemler arasında alüminyum, yüksek mukavemetli çelik, kompozit gibi malzemelerin geleneksel malzemelerin yerine kullanılması ve tasarım optimizasyonu tekniklerine başvurulması ön plana çıkmıştır.

2.5.1. Malzeme Değişirme

Taşıtlarda yapısal ağırlığı hafifletmede en etkili yöntemlerden biri geleneksel malzemelerden üretilmiş parçaların daha hafif malzemeler ile üretilmesidir. Bu malzemelerden yüksek performans elde etmek için inovatif tasarım ve optimizasyon tekniklerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Otomotiv sektöründeki kuruluşların hafifletmeye yönelmeleri sonucunda taşımacılık sektöründeki hafif malzemelerden üretilen parçaların küresel pazardaki değerinin 2010 yılında yaklaşık olarak 95,5 milyar dolar olduğu, 2015 yılında ise 125 milyar dolar olacağı öngörülmektedir (BCC 2011).

Taşıtın boş ağırlığı sürüşe hazır, yük ve yolcu olmadığı haldeki ağırlığıdır. Bu ağırlık gövdeyi oluşturan şase ve diğer kısımlar olarak 2 ana kısma ayrılır. Şekil 2.7'de taşıtlarda kullanılan malzemelerin ağırlıkça oranları verilmiştir. Grafikte de görüleceği gibi en fazla kullanılan malzeme düşük karbonlu çelik ve dökme demirdir (Mayyas ve ark. 2012).



Şekil 2.7. Taşıtı oluşturan malzemelerin ağırlıkça oranları (Mayyas ve ark. 2012)

Otomotiv endüstrisinde kullanılacak olan malzemelerin güvenlik, üretim kolaylığı, şekillendirilebilme özelliği, hafifliği, çevreye etkisi ve maliyeti gibi kriterler göz önünde bulundurularak belirlenmesi gerekmektedir. Birçok faktörden etkilenen bu seçimin başarılı olabilmesi için de doğru malzemenin doğru tasarım ile üretilmesi gerekmektedir.

Hafifletme için kullanılacak olan malzemelerin seçiminde maliyet analizi oldukça önemli bir parametredir. Bu konuda yapılan çalışmalarda alüminyum ve yüksek alaşımlı çelik malzeme kullanımının büyük miktarlardaki üretimler için avantajlı olduğu belirtilmiştir. Dökme alüminyum parçaların dökme demirden üretilmiş olan parçalar ile yer değiştirmesinin, kompozit malzemelerden üretilmiş olan parçaların da taşıtların iç kısımlarında ve bazı çelik aksamda kullanılmasının avantajlı olduğu açıklanmıştır (Cheah ve ark. 2007).

Çizelge 2.3'te çeşitli malzemelerin hafifletmeye olan etkisi ve göreceli olarak maliyet oranları verilmiştir.

Çizelge 2.3. Hafifletmede kullanılabilir potansiyel malzemeler (U.S. Department of Energy 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

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 yaklaşık 2 kg'lık çelik malzemenin yerini alabilir. Aşağıda hafifletme için kullanılabilir malzemelerin özellikleri ve literatürdeki uygulamaları hakkında bilgiler verilmiştir.

2.5.1.1. Yüksek Mukavemetli Çelik

Çelik malzemesinin hammaddesi olan demir elementi dünyada en çok bulunan elementlerden biri olup çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Gerek ucuzluğu gerekse işlenmesindeki kolaylığından dolayı birçok sektörün vazgeçilmez hammaddesi durumundadır.

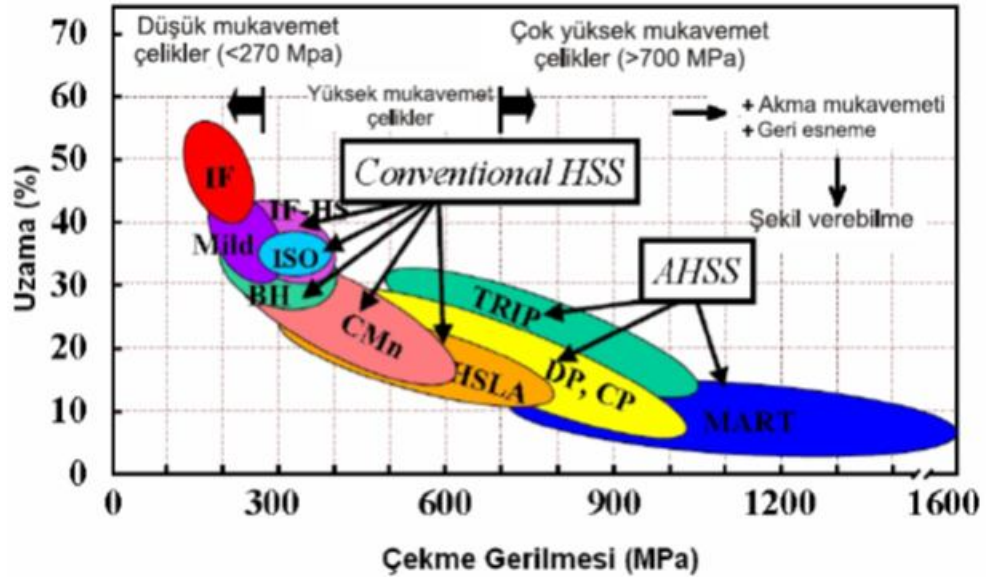
Gelişen teknoloji ile birlikte yeni nesil çeliklerde mukavemet ve hafiflik açısından önemli başarılar sağlanmıştır. Bu kazanımların etkilerinin gözlemlendiği sektörlerden birisi de otomotiv endüstrisidir. Otomotiv endüstrisindeki yakıt tasarrufu üzerine yapılan çalışmalar için geliştirilen yeni nesil çelikler yüksek mukavemetli çelik - HSS (High Strength Steel) ve geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik - AHSS (Advanced

High Strength Steel) olarak bilinmektedir. Araçlarda kullanılan parçalarda yüksek mukavemetli çelikler ile herhangi bir mukavemet azalması ya da güvenlik zafiyeti olmadan parçanın kalınlıkları azaltılarak hafifletme sağlanabilmektedir.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan çelikler birkaç farklı şekilde sınıflandırılabilir. Metalürjik özelliklerine göre sınıflandırırsak (World Auto Steel 2009);

- Düşük Mukavemetli Çelikler (Low Strength Steel/LSS): Genellikle alaşımsız ve az-orta karbonlu çeliklerdir.
- Konvansiyonel Yüksek Mukavemetli Çelikler (High Strength Steel/HSS): Genellikle karbon-mangan, fırında sertleştirilebilen izotropik, yüksek mukavemetli IF ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerdir.
- Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler (Advanced High Strength Steel/AHSS): Gelişmiş yüksek mukavemet çeliklerinin yeni tipleri ise Mikro alaşımlanmış YP ve MC çelikleri, Dual Faz DP ve DL Çelikleri, Martenzitik M Çelikleri olarak gösterilebilir.

Şekil 2.8'de çeliklerin sınıflandırılması ve mekanik özellikleri görülmektedir (Öztürk ve ark. 2005).



Şekil 2.8. Çeliklerde % uzama ve çekme gerilmesi arasındaki ilişki (Öztürk ve ark. 2005)

Yüksek alaşımlı çelikler 210-550 Mpa akma, 270-700 Mpa gerilme dayanımı gösteren malzemelerdir. Geliştirilmiş yüksek alaşımlı çelikler ise 550 Mpa'nin üzerinde akma, 700 Mpa üzerinde gerilme dayanımı gösterirler. Bu çelik türleri geleneksel çelik malzemesine göre yaklaşık %50 daha maliyetli olmasına rağmen daha hafif ve ince oluşları ile çeşitli avantajlar ve tasarım kolaylıkları sağlamaktadırlar. Çelik üreticileri geliştirdikleri teknikler ile farklı kalınlık ve özellikteki çelikleri bir araya getirip parçanın kullanıldığı yere göre sadece gerekli bölgede daha yüksek mukavemetli çelik malzeme kullanımını sağlamışlardır.

Çelikler birim ağırlık için daha yüksek mukavemet değerlerine sahip oldukları için büyük rağbet görmektedirler. Yakın gelecekte özellikle yüksek mukavemetli çeliklerden çift fazlı çeliklerin taşıtlarda kullanım miktarının %45'lere kadar artacağı öngörülmektedir.

Yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı, kazandırdığı hafifletme, çarpışma dayanımı ve kaynak kabiliyeti gibi üstün özelliklerinden dolayı giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle otomotiv endüstrisinde, tasarlanan parçalara ve bu parçaların kullanım yerlerine göre seçilmiş birçok çelik türü yer almaktadır. Bu malzemeler mukavemet özelliklerinin yanı sıra şekillendirilebilme kabiliyetleri ile de ön plana çıkmaktadırlar. Şekillendirilebilme, parçaların tasarlanan geometrilere sadık kalabilmesi açısından üretim sürecinde oldukça önemli bir unsurdur.

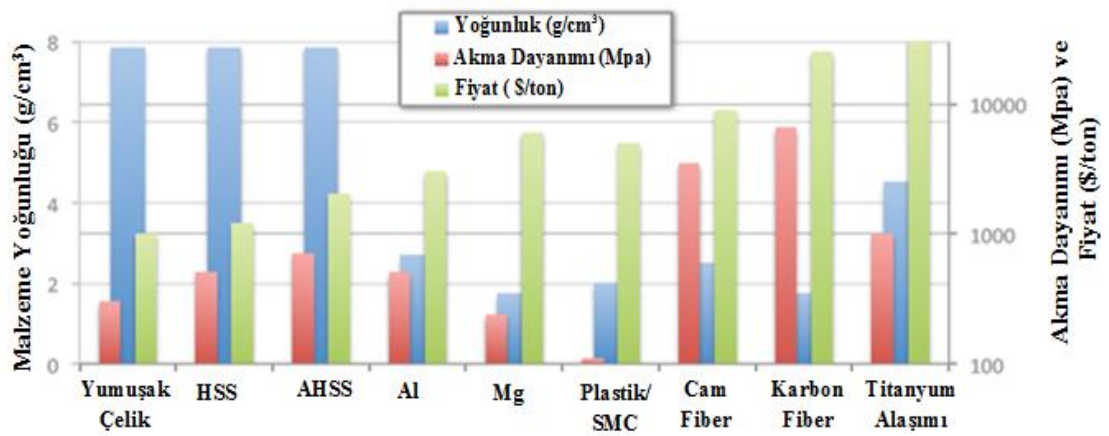
Yüksek alaşımlı çelik malzemesi ile taşıtlarda hafifletme birçok avantaja sahiptir. Taşıtlarda kullanım miktarı bakımından en büyük orana sahip olan çelik malzemesi diğer hafif malzemelere göre endüstride daha fazla tanınmış olduğundan maliyet ve üretim teknikleri açısından daha avantajlıdır. Güvenlik, darbeye dayanıklılık, tasarım ve montaj kolaylığı gibi avantajları ile de vazgeçilmez bir konuma sahiptir.

Çelik endüstrisi ve otomotiv sektörü inovasyon çalışmalarına hız vermiş olup maliyeti düşük ve istenilen özellikte parça üretimini başarmışlardır. Taşıtta çelik malzemesi kaporta, motor, şase, jant, koltuk gibi birçok parçada kullanılmaktadır. Bu alanda yapılan uygulamaların sadece hafifletmeyi değil aynı zamanda mukavemet ve diğer yapısal özellikleri de geliştirdiği görülmüştür.

Yüksek mukavemetli çelik malzeme kullanımı ile parçanın kalınlığında azalma sağlanabilmektedir. Aynı özelliklere sahip parçalar karşılaştırıldığında 1,60 mm kalınlığındaki HSLA (High Strength Low Alloy) 350/450 malzemesinden üretilmiş olan parçanın DP (Dual Phase) 500/800 malzemesinden üretilmiş yaklaşık olarak 1,25 mm kalınlığındaki parçayla eşit mukavemet değerine sahip olduğu açıklanmıştır. Et kalınlığındaki bu incelmeye parçayı %24 daha hafif hale getirdiği belirtilmiştir (Öztürk ve ark. 2005).

Günümüzdeki araçların ağırlık olarak %70'lik bir kısmının geleneksel çelik ve demir parçalardan üretildiği bilinmektedir. Oldukça yüksek değerlerdeki mukavemet ve işlenebilirlik özelliklerinden dolayı HSS ve AHSS malzemelerinin hafifletme için büyük potansiyele sahip olduğu ve parça başına yaklaşık %25 oranında hafifletmenin bu malzemeler ile mümkün olabileceği bilinmektedir (U.S. Department of Energy 2010).

Lutsey (2010) otomotiv sektöründeki üretilen parçalarda HSS ve AHSS malzemesinin kullanımının 2007 yılında yaklaşık %13 olan oranının hızla arttığını belirtmiş ve sektördeki çalışmalardan örnekler vermiştir. Honda Civic modelinin gövdesindeki HSS oranının %32'den %50'ye çıktığını, Mercedes'in ise bu oranı %38'ten %78'e çıkardığını belirtmiştir. Ayrıca bu malzemelerin taşıtlarda kullanım oranının 2020 yılında %30-40 civarında olacağını belirtmiştir. Şekil 2.9'da hafifletmede kullanılacak çeşitli malzemelerin yoğunluk, akma dayanımı ve fiyatları karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.9. Otomotiv sektöründe kullanılan malzemelerin karşılaştırılması (Lutsey 2010)

2.5.1.2. Alüminyum

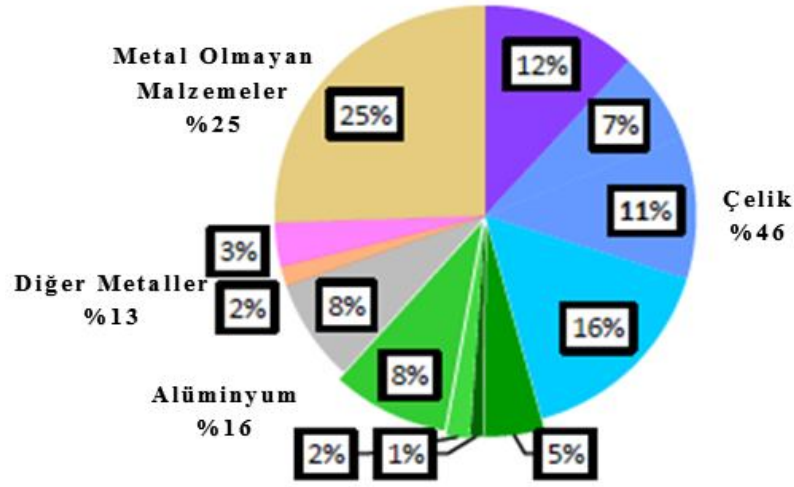
Teknolojik geçmişi sadece yüzyılın başlarına uzanan alüminyum, hafifliği, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyon direnci ile çok farklı uygulamalarda vazgeçilmez malzeme olma özelliğini sürdürmektedir. Alüminyum ve alaşımları hafifletmenin sağlanabileceği en uygun malzemelerdendir. Döküm parçalarının yansıra levha ürünlerinde, kaporta başta olmak üzere birçok parçanın hafifletilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Alüminyum malzemesinin hafifliğinin yanı sıra diğer malzemelere göre birçok avantajı vardır. Alüminyum, zehirleyici ve manyetik değildir. Kuvülcüm çıkarmaz. Yoğunluğu, çeliğin yaklaşık üçte biri kadardır. Kolaylıkla dövülebilir, makinede işlenebilir ve dökülebilir. Çok üstün korozyon özelliklerine sahiptir. Alüminyum aynı zamanda bir süper iletkendir. Dünyadaki kullanımı demirden sonra gelmektedir. Saf alüminyumun çekme dayanımı düşük olmakla birlikte, bakır, çinko, magnezyum, manganez ve silisyum gibi pek çok elementle alaşımlandırılarak mekanik özellikleri geliştirilebilir. Yüksek dayanım/ağırlık oranlarından dolayı alüminyum alaşımları, birçok sektör için vazgeçilmezdir.

Otomotiv sektöründe saf haliyle kullanılmayan alüminyum, içerisine eklenen bakır, magnezyum, çinko gibi alaşım elementleri sayesinde istenilen özellikleri sağlayacak duruma gelir. Alüminyum alaşımı fiyat olarak çelikten 3-5 kat daha pahalı olmasına rağmen büyük oranlarda hafifletmeyi mümkün kılmaktadır. Alüminyum 2,7 g/cm³ lük yoğunluğu ile taşıtlarda performans ve emniyetten ödün vermeden taşıta bağlı olarak 300 kg'a kadar ağırlık tasarrufu sağlayan bir malzemedir. Çeliğin yerini alan çoğu alüminyum parçada kalınlık arttırılmak suretiyle çelikle aynı mukavemet sağlanabilmektedir. Fakat bazı parçalar için alüminyum, aynı kalınlıktaki çeliğin yerini de alabilmektedir. Böylece % 65 'e varan bir ağırlık tasarrufu sağlanabilmektedir. Yapısal uygulamalarda çeliğin kalınlığının alüminyuma oranı yaklaşık olarak 1,5 'tir. Örneğin 0,8 mm kalınlığındaki çelik parça yerine 1,2 mm kalınlığında alüminyum kullanılabilir. Bu durumda parça başına ağırlık tasarrufu yaklaşık %50 olmaktadır (Özcömert 2006).

Otomobillerde hafif metal kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte günümüzde taşıtların birçok aksamında alüminyum parçalar kullanılır hale gelmiştir. Örneğin döküm yöntemiyle alüminyumdan imal edilmiş silindir kafaları, dişli kutusu gövdeleri, jantlar;

ekstrüzyon yöntemiyle alüminyumdan imal edilmiş radyatörler, koltuk kızakları, darbe çubukları gibi parçalar başta olmak üzere alüminyum alaşımları çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Günümüz araçlarında yaklaşık olarak 100 farklı parçada alüminyum alaşımları kullanılmakta olup bu parça sayısı hızla artmaktadır. Ducker araştırma şirketinin yapmış olduğu araştırmada, toplam taşıt ağırlığında alüminyum alaşımlarının miktarı 2012 yılında 156 kg olarak hesaplanmış ve Şekil 2.10'da görüldüğü gibi 2025 yılında ise %16 yani 249 kg olarak öngörülmüştür (Ducker 2011).



Şekil 2.10. 2025 yılında taşıtlarda kullanılacak malzemelerin tahmini oranları

Avrupa Alüminyum Birliği parçaya ve kullanım yerine bağlı olarak %25-50 oranında bir hafifletmenin alüminyum alaşımları ile mümkün olacağını belirtmiştir. Optimizasyon teknikleri kullanılarak tasarlanmış ve alüminyum alaşımlarından üretilmiş bir araç gövdesinde yaklaşık %40 oranında hafifletmenin görüldüğü ama bunun ekstra bir maliyet ortaya çıkardığı açıklanmıştır (EAA 2011).

Yine aynı çalışmada bir parçayı hafifletmek için tasarım ve üretim tekniklerine başvurmadan sadece kullanılan malzemenin değiştirilmesi ile hafifletmenin mümkün olabileceği fakat bunun sağlıklı ve maksimum yarar sağlanacak bir yöntem olmadığı belirtilmiştir. Tasarım aşamasında maliyetlerin, sağlanacak olan hafifletmenin, kullanılacak olan üretim yönteminin, üretilen parçanın kullanım yeri ve işlevinin göz önünde bulundurulması ve gerekli analizlerin yapıldıktan sonra uygulamaya geçilmesi önerilmiştir (EAA 2011).

Ticari araçlarda alüminyum kullanımını inceleyen bir çalışmada eşit mukavemet değerlerinde alüminyum, çelik ve yüksek alaşımlı çelik malzemesinden üretilmiş olan parçalar incelenmiştir. Alüminyumdan üretilen parçanın standart çeliğe göre %60, yüksek alaşımlı çeliğe göre ise %40 oranında daha hafif olduğu ama geleneksel çelikten üretilene göre daha düşük sertliğe sahip olduğu belirtilmiştir (EAA 2011).

Taşıt ağırlığında hafifletme için büyük potansiyeli olan alüminyum malzemesinin kullanımı otomotiv sektöründeki firmalarda hızla artmaktadır. Bu alanda öncü konumunda olan Audi, Jaguar, Range Rover gibi markalar yeni ürettikleri araçlarında büyük oranlarda alüminyum alaşımı kullanmışlardır. Yüksek alaşımlı çelik ile tasarımlarda parçaların rijitliğini bozmamak için belirli bir incelikten fazlası uygulanamazken alüminyum alaşımları ile kalınlık farkı gözetmeksizin hafifletme sağlanmasının mümkün olması ve üretim tekniklerindeki gelişmeler neticesinde çok farklı parçalarda alüminyum alaşımları kullanılabilir.

Elektrikli araç teknolojisi içinde alüminyum alaşımları avantaj sağlamaktadır. Aachen Üniversitesi tarafından yapılan çalışmada elektrikli bir araç alüminyum alaşımları kullanılarak 187 kg daha hafif olarak üretilmiş ve çelik malzeme kullanılarak elde edilen hafifletmeden 635 Euro daha az maliyetli olmuştur (EAA 2012).

Enerji verimliliği açısından ürünlerin yaşam çevrimi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu döngü içerisinde malzemelerin geri dönüştürülebilmesi de önemli bir parametre olarak sürdürülebilirliğe katkı sağlar. Alüminyum alaşımları %95 oranında geri dönüştürülebilme özelliği ile bu alanda çok önemli bir avantaja sahiptirler. Geri dönüştürülmesi esnasında herhangi bir kalite kaybı yaşanmaması ve geri kazanımı için gerekli olan enerji ihtiyacının üretimi için gerekli olanın sadece %5'i olması alüminyumun başka bir artısıdır.

2.5.1.3. Kompozit Malzemeler

Taşıtların hafifletmesinde inovatif tasarımlar eşliğinde geleneksel parçaların yerine kompozit malzeme kullanımı hızla artmaktadır. Kompozit malzemelerin eşit mukavemete sahip çelik parçalardan yaklaşık olarak %30-40 daha hafif olmaları, tasarımda esneklik, parça entegrasyon kabiliyeti, yüksek darbe ve korozyon dayanımı gibi özellikleri vardır. Ayrıca sektörlere göre kompozit malzeme kullanım alanı

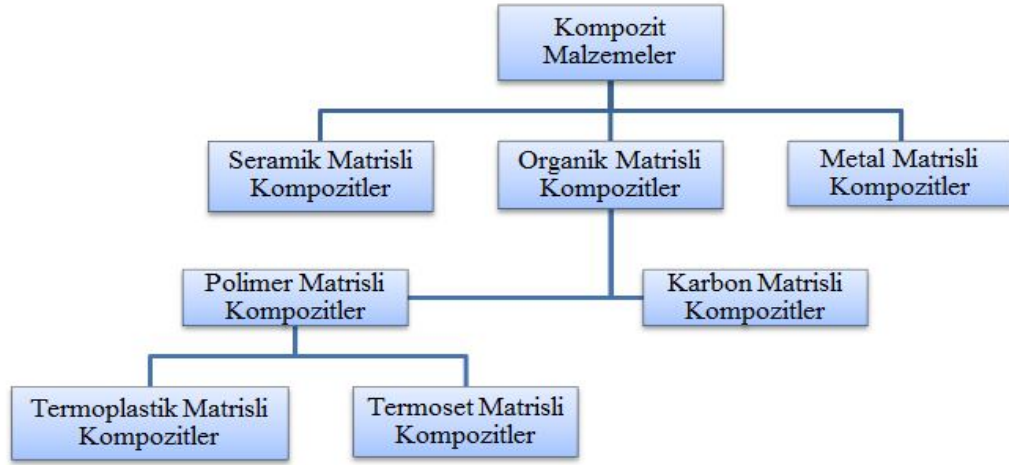
bakımından en büyük ikinci sektörün %26 ile ulaştırma olduğu da bilinmektedir. 2011 yılında dünya üzerinde tüketilen kompozit malzeme miktarının 7,8 milyon ton olduğu, 2014 yılında 9,5 milyon ton olacağı öngörülmektedir (İnkaya 2011).

İstenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemeyi istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şart ve oranlarda fiziksel olarak bir araya getirerek elde edilen malzemeye kompozit malzeme denir. Kompozit malzemelerde çekirdek olarak kullanılan bir fiber malzeme ve bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır.

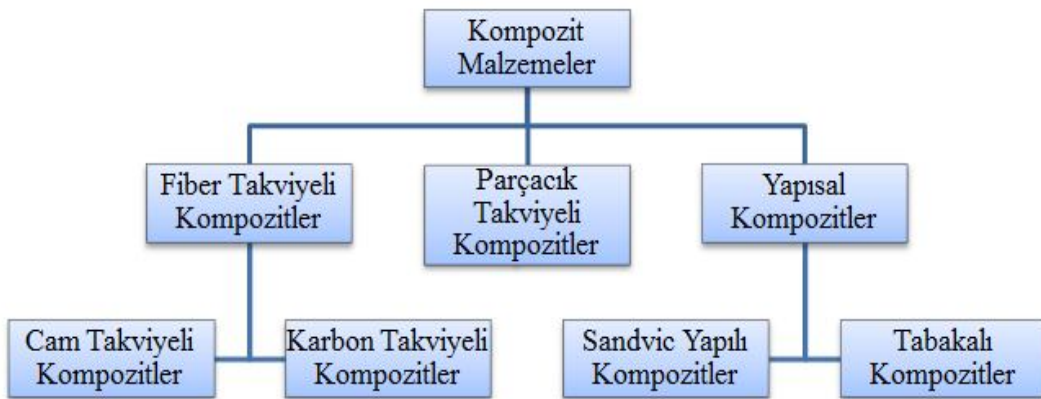
Kompozit malzemedeki fiber yani lif kısmı malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris kısmı ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylece fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde çatlak ilerlemesi de matris malzeme sayesinde engellenmektedir. Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere kıyasla tasarım ve kullanım şartlarındaki avantajlarından bazıları şunlardır (Belevi ve İnançer 2008).

- Yüksek özgül mukavemet (kopma dayanımı/yoğunluk) ve yüksek özgül rijitlik (elastisite modülü/yoğunluk) değerlerine sahip olmaları yanında, düşük ısı genleşme katsayısına ve iyi derecede titreşim sönümlene karakterine sahiptirler.
- Parça entegrasyon kabiliyeti vardır. Tasarım açısından büyük esneklik sağlarlar. Ayrıntılı parçalar detaylı bir şekilde üretilebilir.
- Çeliğin rijitliğini 1/5 ağırlıkta ve alüminyumun rijitliğini 1/2 ağırlıkta sağlarlar.
- Yorulma dayanımı fazladır. Çelik ve alüminyum alaşımları statik dayanımlarının %50'si kadar olan yüklerde iyi yorulma dayanımı gösterirlerken tek yönlü karbon-epoksi kompozitler statik dayanımlarının %90'ına kadar iyi yorulma dayanımı gösterirler.
- Metallerle üretilmesi mümkün olmayan karmaşık parçalar ve özel şekiller kompozit parçalarla kaynaklı, perçinsiz ve tek parça olarak üretilebilirler. Bu da güvenliği artırıp üretim zamanlarını düşürdüğünden çok büyük üretim kolaylığı sağlar.

Kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak çoğunlukla termoset grubunda polyesterler, vinil ester, epoksi reçine, ve fenolik reçineler kullanılır. Termoplastik grubunda ise poliamid, propopilen polietilen kullanımı yaygındır. Başlıca kullanılan matris türlerine takviye olarak kullanılan elyaf türleri ise cam elyafı, karbon elyafı, (PAN -polyacrylonitrile- ve zift kökenli), aramid (aromatic polyamid) elyafı, kevlar-DuPont, bor elyafı, oksit elyafı, yüksek yoğunluklu polietilen elyafı, poliamid elyafı, polyester elyafı ve doğal organik elyaflar gösterilebilir. Kompozit malzemeler Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de görüldüğü gibi matris ve takviye türüne göre 2 farklı şekilde sınıflandırılabilirler (Yang ve ark. 2012).



Şekil 2.11. Matris türlerine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması



Şekil 2.12. Takviye türlerine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Çizelge 2.4’te ise kompozit malzemelerde kullanılan takviye elemanların (liflerin) mekanik özellikleri verilmiştir (Arıcasoy 2006).

Çizelge 2.4. Kompozit malzemelerde kullanılan liflerin mekanik özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
E-Cam	2,55	2000	80
S-Cam	2,49	4750	89
Alüminyum	3,28	1950	297
Karbon	2,00	2900	525
Kevlar 29	1,44	2860	64
Kevlar 49	1,44	3750	136

Kompozit malzeme üretiminde elle yatırma, püskürtme, elyaf sarma, pultruzyon, hazır kalıplama, reçine transfer yöntemi gibi birçok yöntem kullanılır. Bu yöntemler içerisinde otomotiv sektörünün en çok tercih ettiği yöntemler elle yatırma, hazır kalıplama ve reçine transfer metotlarıdır.

Hazır kalıplama yöntemlerinden olan SMC (Sheet Molding Compounds) yöntemi takviye malzemesi olarak kırılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçimindeki malzemenin kalıplanmasıdır. Yapı içerisindeki sürekli lifler, 25-50 mm kırılmış olarak ve kompozitin toplam ağırlığının %25-30 oranında kullanılır ve pestiller genellikle 1 m genişliğinde ve 3 mm kalınlığında üretilir. BMC (Bulk Molding Compounds) yönteminde ise takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzeme kullanılır. Bir diğer yöntem ise Reçine Transfer Metodu (RTM) dur. Bu yöntemde takviye malzeme kalıp boşluğunu doldurulacak şekilde kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Elyafın matris içinde geç çözünen reçinelerle kaplanması ile kalıp içerisindeki sürüklenmeler önlenir. Reçine basınç altında kalıba pompalanır. Bu yöntemde içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içine iyi işlenmesi için vakum da kullanılabilir (Arıcasoy 2006).

Song ve ark. (2009) bir kamyonetin ağırlık olarak yaklaşık %18'i olan arka kasa gövdesinde kompozit yapı kullanarak hafifletmeye gitmişlerdir. Alüminyum, çelik ve kompozit malzemelerin denendiği bu çalışmada 1 kg'lık cam fiber malzemenin 1,8 kg çelik ve 0,9 kg alüminyum ile aynı rijitlikte olduğu belirtilmiştir. Kompozit malzemedan üretilmiş gövdenin çelik gövdeye göre yaklaşık 400 kg daha hafif üretilbileceğini açıklamışlardır.

Otomotiv üreticileri ve yan sanayileri kompozit malzemeyi yaygın bir şekilde kullanmaktadırlar. Daimler gövde tasarımlarında karbon fiber takviyeli kompozit kullanarak %10 hafifletmeyi sağlamış BMW firması ise ilk elektrikli aracı olan Megacity aracında yoğun olarak kompozit malzeme kullanmıştır. Faurecia firması 2020 yılında kompozit malzeme kullanımı ile yaklaşık 60 kg'lık bir hafifletmenin sağlanacağını belirtmiştir. Ford firması yakıt tankı üretiminde kompozit malzeme kullanmaktadır. Mevcut yapının yerine yüksek performanslı kompozitlerin kullanılması ile %30-40 oranında hafifletme sağlanabileceği ve birçok parçayı bir arada üreterek işçilik-montaj maliyetlerinin %40 oranında iyileştirilebileceği belirtilmiştir (Stewart 2010).

Taşıt ağırlığını hafifletmede yüksek mukavemetli çelik, alüminyum ve kompozit malzemeler yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Kullanılacak malzemenin seçiminde parçanın tasarımı maliyeti, kullanım ömrü, işlevselliği, işlenebilirliği gibi parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Çizelge 2.5'te hafifletmede kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri ve karşılaştırmalı maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 2.5. Hafif malzemelerin mekanik özellikleri ve maliyet oranları (Cheah 2010)

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Akma Muk. (Mpa)	Gerilme Day. (Mpa)	Elastisite Mod. (GPa)	Eşit Sertlikte Kalınlık Oranı	Eşit Muk. Kalınlık Oranı	Parça Başına Göreceli Maliyet
Az Karbonlu Çelik	7,86	200	300	200	1,00	1,00	1
HSS (A606)	7,87	345	483	205	0,99	0,64	1-1,5
Demir (D4018)	7,10	276	414	166	-	-	-
Alüminyum (AA6111)	2,71	275	295	70	1,42	0,85	1,3-2
Magnezyum (AM50)	1,77	124	228	45	1,64	1,27	1,5-2,5
Kompozit (Karbon ve Cam Fiber)	1,57	200	810	190	1,01	-	2-10

Taşıt ağırlığında kullanılacak olan malzemelerin belirlenmesi aşamasında malzemelerin avantaj ve dezavantajlarının, mekanik özelliklerinin, üretim yöntemlerine olan uygunluklarının da bilinmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda doğru malzemeyi doğru tasarım eşliğinde üretilen taşıt üzerinde malzemenin özelliklerine uygun bir amaçla kullanmak hafifletmeden en verimli bir şekilde faydalanılmasını sağlar. Çizelge 2.6'da malzemelerin hangi parçalarda kullanılabileceğine örnekler ve malzemelerin avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

Çizelge 2.6. Hafifletmede alternatif malzemelerin karşılaştırılması (Cheah 2010)

Malzeme	Kullanım Yeri	Avantajları	Dezavantajları
Yüksek Alaşımli Çelik	-Araç başına yaklaşık 230 kg -Yapısal parçalar, direkler, gövde, koltuk kızıakları vb.	-Üretim altyapısının kurulu olması -Mekanik Özelliklerinin biliniyor olması	-Maliyet -Diğer hafif malzemelere göre düşük mukavemet/ağırlık oranı -Kalınlık azaldıkça rijitliğinin azalması
Alüminyum	-Araç başına yaklaşık 140 kg -%80 oranında döküm parçalar motor blokları, jant	-Geri dönüştürülebilir olması -Şekil verme yöntemlerinin benzer olması	-Hammadde maliyeti ve Preslenmesinde kaynak edilmesindeki problemler -Korozyon Direnci
Magnezyum	-Araç başına yaklaşık 5 kg -Çoğunlukla ince çeperli döküm parçalar kontrol panelleri, koltuk iskeletleri	-Düşük yoğunluk -İyi mukavemet/ağırlık oranı -Montaj işçiliğini azaltacak birleşimler mümkün	-Hammadde maliyeti -Magnezyum levha ve ekstrüzyon üretim zorlukları
Cam Fiber Takviyeli Kompozit	-Bagaj kapakları, tavan, kapı gövdeleri koltuklar ve kontrol panelleri	-Parçaları birleştirebilen tasarımlara imkân sağlaması -Korozyon direnci -Darbe sönmleme kabiliyeti	-Üretim için gereken zamanının fazla olması -Yüksek miktarlardaki üretimler için maliyet -Geri dönüştürmedeki zorluklar -Tasarım altyapısının olmaması
Karbon Fiber Takviyeli Kompozit	-Güç aktarma organları, Yapısal parçalar	-Maksimum mukavemet/ağırlık oranı -Yüksek oranlarda hafifletme imkanı	-Üretim için gereken zamanının fazla olması -Yüksek miktarlardaki üretimler için maliyet -Geri dönüştürmedeki zorluklar -Tasarım altyapısının olmaması

2.5.2. Optimizasyon Teknikleri

Taşıtlarda hafifletme kullanılan parçaların daha hafif malzemelerden üretilmesi ile mümkün olabilmektedir. Fakat 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.

Klasik bir üretim süreci göz önüne alındığında ürünün kavramsal dizaynının ortaya çıkarılmasından sonra optimum tasarımı bulmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Tasarımı tamamlanan ürünün tasarım gözden geçirme aşaması başlatılır ve ürünün üretilebilirliği, güvenilirliği, fonksiyonelliği gibi bütün kriterler göz önüne alınarak ortaya çıkan tasarım değerlendirilir. Bilgisayar ortamında tasarımı tamamlanmış olan ürünün optimizasyon işlemleri üretime başlamadan önce ele alınmalıdır.

Yapılan analizler ve optimizasyon işlemleri firmaların yeni ürünlere geçişlerinde minimum maliyette ve zaman kaybı olmadan tasarım yapmalarına olanak sağlamaktadır. Otomotiv sektöründe en çok karşılaşılan istek ürünlerin dayanım ve performansından ödün vermeden malzeme ağırlıklarının en aza indirilmesidir. Minimum ağırlığa sahip ürün düşük maliyetli olmasının yanı sıra taşıtın ağırlığını hafifletmeye de yardımcı olur. Bu doğrultuda yeni ürün geliştirme aşamasında, hem hafif, hem de dayanıklı olması istenen ürünler için tasarım optimizasyonu uygulanır

2.5.2.1. Tasarım Optimizasyonları

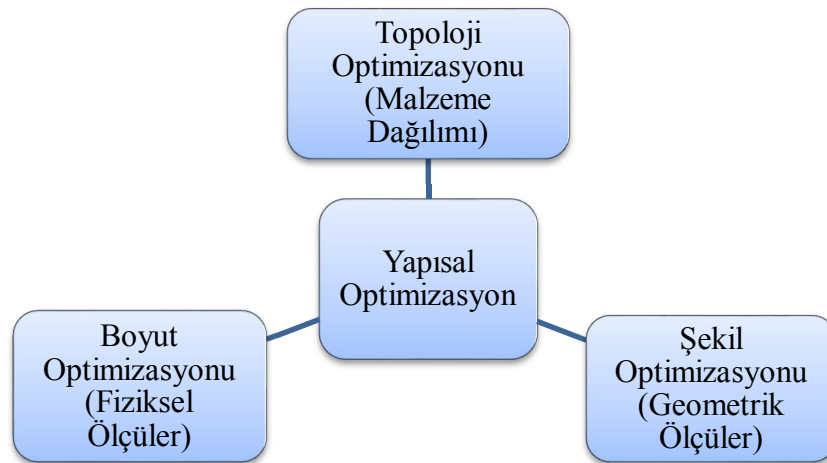
Optimizasyon ifadesi matematiksel olarak bir fonksiyonun maksimum veya minimum değerlerinin bulunmasıdır. Yani mevcut şartlardaki en verimli ve sağlıklı sonucun elde edilmesidir. Üretim süreçleri içerisinde en maliyetli aşama tasarım aşamasıdır. Toplam ürün maliyetinin yaklaşık %80'lik bir kısmına karşılık gelen bu aşamada yapılacak olan hatalar diğer tüm süreçleri doğrudan etkileyecektir.

Tasarım optimizasyonuna tasarımın amaçlarının ve hedeflerinin belirlendiği problemin tanımlanması ile başlanır. Bu problemin matematiksel olarak belirlenmesi için malzeme özellikleri, ürünün performans özellikleri gibi bilgilere ihtiyaç vardır. Ayrıca yapılacak olan analizlerinde bu aşamada belirlenmesi gereklidir. Bir sonraki aşamada ise tasarım

değişkenlerinin belirlenmesi ve sisteme tanımlanması yapılır. Bu değişkenler optimizasyon değişkeni olarak belirlenir. Tasarım değişkenlerine farklı değerler verilerek farklı tasarımlar ortaya çıkarılır. Değişkenler belirlendikten sonra farklı nümerik değerler verilerek tasarım denemeleri yapılır.

Tasarımların birbirlerinden farklı birçok çözümleri olduğu için belirli kriterler çerçevesinde bu çözümlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kriterler problemin türüne göre farklılık gösteren amaç fonksiyonunun belirlenmesi ile ortaya çıkar. Tasarım süreci içinde uygun amaç fonksiyonunun seçimi ağırlık, enerji tüketimi, maliyet gibi parametreleri içerdiği için oldukça önemlidir. Son aşamada ise problemle ilgili kısıtların belirlenmesi gerekmektedir (Howard 2007).

Mukavemet, maliyet, ağırlık gibi çeşitli parametreleri göz önünde bulunduran tasarımlar ortaya çıkarmak için yapısal optimizasyon teknikleri kullanılır. Yapısal optimizasyon yöntemlerinin amacı, ideal tasarımlara ulaşmaktır. Yapısal optimizasyon tekniklerinin en önemli özelliği tasarımın başlangıç aşamasında devreye girerek en uygun yapı için daha ilk aşamada tasarımcıya yol göstermesidir. Böylece tasarımcı ilk modelini optimum yapıda belirleyebilmekte ve sonraki aşamada yapılacak çalışmaları ve şekil optimizasyonunu bu optimum yapıya uygulayabilmektedir. Şekil 2.13'te görüldüğü gibi temel olarak 3 farklı yapısal optimizasyon tekniği vardır (Howard 2007).



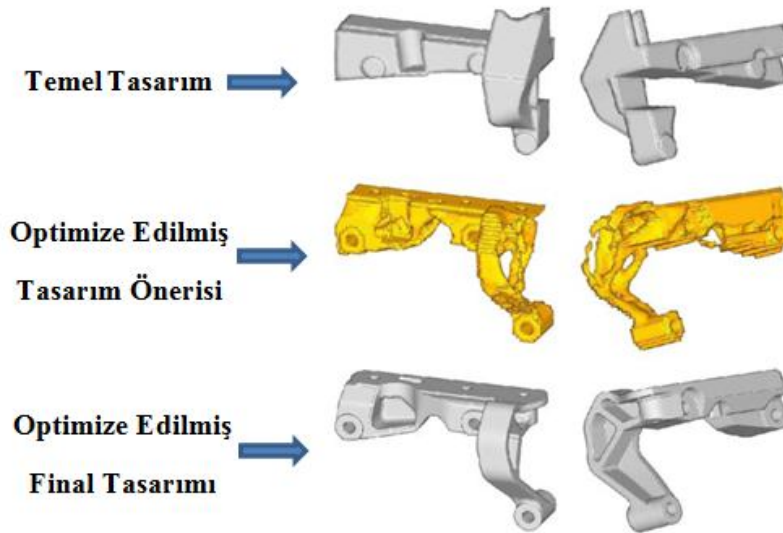
Şekil 2.13. Yapısal optimizasyon türleri

a. Topoloji Optimizasyonu

Yapısal optimizasyon yöntemleri içerisinde son yıllarda en yaygın kullanılanıdır. Bu yöntemin esası optimize edilecek olan parçanın dış boyutlarında herhangi bir değişikliğe gidilmeden parçanın rijitliğini arttırmaya yönelik belirli bölgelerinde malzeme boşaltılmasıdır. Topoloji optimizasyonunun amacı rijitliği maksimum yapan en iyi malzeme dayanımını bulmaktır. Topoloji optimizasyonu çalışmalarında yaygın olarak homojenleştirme ve malzeme dağılım yöntemleri kullanılmaktadır.

Homojenleştirme metodunda sistem kompozit ve mikro yapısal bir oluşum olarak kabul edilerek homojenleştirilmektedir. Her bir elemanın Young modülü için ek işlemler yapılmakta ve her bir eleman için çoklu değişken kullanılmaktadır. Bu sebeple problem karmaşık bir yapıya sahip olmakta ve çözüm uzun sürmektedir. Malzeme dağılım metodunda ise her bir sonlu elemanın yoğunluğu tasarım değişkeni olarak kabul edilerek yapı homojenleştirilmektedir (Kutyłowski ve ark. 2013).

Topoloji optimizasyonunda katı modellemesi yapılan parçanın optimize edilmiş tasarım önerisi ile yola çıkılarak nihai tasarıma ulaşılır. Şekil 2.14'te bir motor braketinin topoloji optimizasyonu aşamaları ve tasarımdaki değişiklikleri görülmektedir. İlk resim temel tasarım olup ortadaki optimize edilmiş tasarım önerisidir. En altta görülen şekil ise optimize edilmiş final tasarımıdır (Harzheim ve Graf. 2005)



Şekil 2.14. Örnek topoloji optimizasyon aşamaları (Harzheim ve Graf. 2005)

b. Şekil Optimizasyonu

Şekil optimizasyonunda parçanın herhangi bir yerinde malzeme azaltılmadan yani topolojisi sabit tutularak, geometrisi en iyi olan optimum yapısal tasarıma ulaşılmaya çalışılır. Bu yöntemdeki tasarım değişkenleri parçanın şeklini ve geometrisini kontrol eder.

c. Boyut Optimizasyonu

Bu yöntemde tasarımın şekli ya da topolojisinde bir değişikliğe gidilmeksizin sadece boyutsal ölçülerin değiştirilmesi ile en iyi yapısal davranış elde edilmeye çalışılır. En basit algoritmaya sahip olan bu yöntemde en iyi yapısal davranışı gösteren tasarım için kalınlık, genişlik, yükseklik gibi tasarım değişkenlerinin belirlenmesine çalışılmaktadır.

Son yıllarda optimizasyon tekniklerinin kullanımı otomotiv ve havacılık sektörleri başta olmak üzere hızla artmıştır. Hem lineer hem de non-lineer alandaki yapısal problemlerin çözümünde ve parçaların daha hafif olarak üretilmesi aşamasında kullanılan bu yöntemler birçok çalışmada uygulanmaktadır.

Parçalarda kullanılan malzemelerin özelliklerine uygun, kullanım amacına ve yerine göre tasarım geliştirme ve topoloji optimizasyonu gibi yenilikçi önlemler ile herhangi bir malzeme değişikliği olmadan da yapılarda hafifletmeler mümkün olabilmektedir. Hem maliyet hem de hafiflik bakımından avantajlı bir tasarım için üretilecek ürünün parça sayısını azaltacak şekilde tasarlanıp üretilmesi gerekmektedir. Ayrıca ürünü oluşturan parçaların bir arada tasarlanması ve bu sayede montaj işleminden kazanç sağlanması da önerilmiştir (U.S Department of Energy, 2010).

Şekil 2.15'te bir parça üzerinde uygulanan optimizasyon tekniği ve elde edilen hafifletme değerleri verilmiştir. Esas alınan çelik malzemeden yapılmış parça, alüminyum alaşımları kullanılarak %53 oranında hafifletilmiş olup, daha sonra bu parça tasarım optimizasyonu sayesinde %20 daha hafif hale gelmiştir.



Şekil 2.15. Optimizasyon tekniği ile parçanın hafifletilmesi (U.S Department of Energy, 2010)

Araçlarda kullanılan parçaların ağırlıklarının azaltılmasında alüminyum, yüksek mukavemetli çelik, kompozit gibi malzemelerin kullanılması ve tasarım optimizasyonları ön plana çıkmaktadır. Bir parçanın en verimli şekilde hafifletilmesi doğru malzeme seçiminin doğru tasarım eşliğinde yapılması ile mümkün olacaktır. Ayrıca maliyet ve performans parametreleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

2.6. Taşıt Ağırlığında Hafifletme Uygulamaları

Literatürde malzeme değiştirme ve tasarım teknikleri ile taşıtı oluşturan parçaların hafifletilmesi ile ilgili çalışmalar son yıllarda artış göstermektedir. Bu konuda devlet desteği ile yürütülen birçok uluslararası projede mevcuttur. Aşağıda yapılan uluslararası projeler ve toplu taşıma araçlarındaki hafifletme uygulamaları açıklanmış ve son kısımda koltukların hafifletilmesi ile ilgili uygulamalara yer verilmiştir.

Luo (2010) ABD, Kanada ve Çin hükümetleri ile endüstri kuruluşları ve üniversitelerin ortaklaşa yürüttükleri otomobillerin ön kısmındaki parçaları magnezyum malzemesi ile hafifletme projesinin hedefini çelik yapıya göre %50 daha hafif bir yapı elde etmek olarak açıklamıştır. 2006 yılında başlayıp 2010 yılında biten projede temel alınan Cadillac otomobilinin ön kısmında magnezyum malzemesi kullanarak 63 adet parça azaltılmış ve %44,5 oranında hafifletme sağlanmıştır.

Lotus Firması bir aracın motor kısmı hariç şasesi, gövdesi, ve aksesuarlarını (koltuk, kontrol paneli, elektrik ve havalandırma tesisatı, pencereleri, tamponları) ayrı ayrı ele alarak her biri üzerinden hafifletme potansiyellerini incelemiştir. Bu kapsamda araç tasarımına göre düşük geliştirme ve yüksek geliştirme olarak iki hedef belirlenmiştir. Düşük geliştirme hedefinde motor kısmı hariç 2017 yılında üretime hazır olabilecek şekilde karşılanabilir maliyet ve teknolojiler çerçevesinde %20 oranında bir hafifletmenin mümkün olduğu görülmüştür. Yüksek geliştirme hedefinde ise 2020 yılında üretime geçebilecek olan taşıtlar için %40 oranında bir hafifletme öngörülmüştür. Tüm bu hafifletme potansiyellerinin araçlarda kullanılan malzemelerin yenilikçi tasarımlar eşliğinde değiştirilmesi, parça sayısını azaltıcı tasarımlar hazırlanması ve yeni montaj tekniklerinin kullanılması ile mümkün olacağı belirtilmiştir (Lotus Engineering 2010).

Jaguar Land Rover, Mira, Tata gibi küresel otomotiv şirketleri ile araştırma kuruluşları arasında işbirliği içerisinde yürütülen Düşük Karbonlu Araç Teknolojileri Projesi (LCVTP) elektrikli ve hibrit araçları da içerecek şekilde düşük karbonlu taşıt geliştirmeyi hedeflemektedir. Yaklaşık 29 milyon pound bütçeli bu proje 2009 yılında başlatılmış ve 4 yıl içerisinde karbon emisyonu en düşük seviyede olacak bir araç üretilmesi hedeflenmiştir. Termoplastik kompozit malzemeler için geliştirilen üretim tekniği ile %50 oranında daha hafif parçaların üretilmesi gerçekleştirilmiş ve geliştirilmiş yüksek alaşımlı çelik malzeme için sıcak şekillendirme teknikleri açıklanmıştır (Anonim 2009).

Alman Eğitim ve Araştırma Bakanlığı tarafından desteklenen, Johnson Controls, Evonik şirketleri ile Aachen Üniversitesi tarafından 2011 yılında başlatılan Karbon Fiber/Metal Yapısal İç Kısım Parça Uygulama Projesi (CAMISMA) taşıtların iç triminde bulunan çelik metalinden üretilmiş parçaların hafifletilmesini amaçlamaktadır. Parçaların karbon veya cam fiber takviyeli kompozitlerden üretilmesi ile hafifletme hedeflenmiştir. Çoklu malzeme tekniklerine yoğunlaşan bu proje metal ile kompozit yapının birlikte en verimli şekilde kullanılması sonucunda hafifletmeyi, parça sayısında azaltmayı ve üretim maliyetlerini düşürmeyi amaçlamaktadır (Schulze 2011).

Otomotiv Kompozit Konsorsiyumu tarafından 2006 yılında başlatılan Kompozit Malzemelerden Otomotiv Parçaları Üretilmesi (ACC 007) Projesinde daha hafif taşıt

şasesi ve koltuğu üretilmesi hedeflemiştir. Kompozit malzemelere uygun yeni tasarım ve üretim teknikleri belirlenerek seri üretime uygun metotlar geliştirilmiştir. Proje kapsamında cam fiber takviyeli kompozit malzemedan SMC metodu ile üretilmiş olan şasenin çelik muadiline göre %25 daha hafif olduğu görülmüştür. Güvenlik testlerinden başarı ile geçen bu yapı için patent alınmıştır (Berger ve ark. 2011).

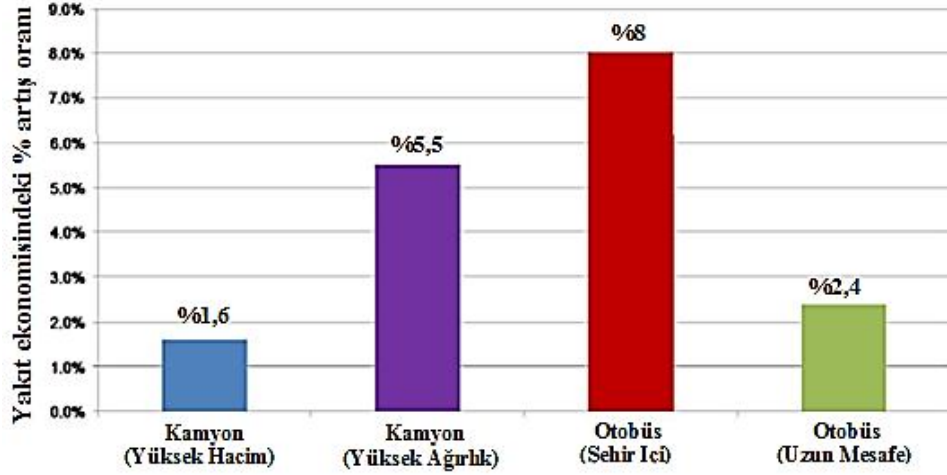
Avrupa Komisyonu tarafından desteklenmiş Modüler Karbon Fiber Otomotiv Gövde Teknolojileri Projesinin (TECABS) temelini kompozit malzemeleri araçların gövdesinde kullanarak araç ağırlığında hafifletme sağlamak ve böylece CO₂ salınımını azaltmak oluşturmuştur. Proje kapsamında kompozit malzemeler ile üretilen parçaların tasarım esnekliği sayesinde parça sayısında %39 oranında bir azalma görülmüş bu sayede de üretim ve montaj maliyetleri azaltılmıştır. 5,2 milyon Euro bütçeli bu proje Volkswagen, Volvo, Renault gibi Avrupa'nın önde gelen otomotiv üreticileri tarafından 2000-2004 yılları arasında yürütülmüştür. Projenin sonuçlarında kompozit malzemelerin araçlarda kullanılması ile %50 oranında bir hafifletmenin mümkün olacağı belirtilmiştir (Anonim 2004).

Avrupa Otomotiv Araştırmaları Konseyi (EUCAR) çatısı altında yürütülen SuperLight Car Projesinde birçok hafif malzemeyi bir arada kullanarak yaklaşık %30-50 daha hafif bir yapı oluşturmak hedeflenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda yaklaşık %35 oranında bir hafifletmenin mümkün olacağı gösterilmiş ve prototip üretimi gerçekleştirilen taşıt güvenlik testlerinden başarı ile geçmiştir (Goede 2009).

2.6.1. Toplu Taşıma Araçlarındaki Hafifletme Uygulamaları

Emisyon oranlarına getirilen uluslararası standartlar otobüs, midibüs ve minibüs toplu taşıma araçlarının hafifletilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bunun yanı sıra EURO6 motor kullanımının zorunlu tutulması sonucunda bu yeni motor sisteminden dolayı taşıta yaklaşık 300 kg ilave yük eklenecektir. Üretici firmalar araçlarda bulunan diğer parçaların hafifletilmesi ile bu ağırlığı ekarte etmeye çalışmakta ve yan sanayilere baskı oluşturarak maksimum verim sağlanacak hafifletme seçeneklerine zorlamaktadırlar. Bu doğrultuda toplu taşıma araçlarına yönelik çeşitli hafifletme çalışmaları ve bunun yakıt tüketimine olan etkisini inceleyen araştırmalar yapılmıştır.

Alüminyum Derneği tarafından yapılan araştırmada ticari araçlarda sağlanacak %10 oranında bir hafifletmenin yakıt tüketimine olan etkisi taşıt sınıfına göre incelenmiş ve Şekil 2.16'da görüleceği gibi şehir içi otobüslerde hafifletme ile yakıt tüketiminde büyük miktarda azalma sağlanacağı açıklanmıştır (Summe 2009).

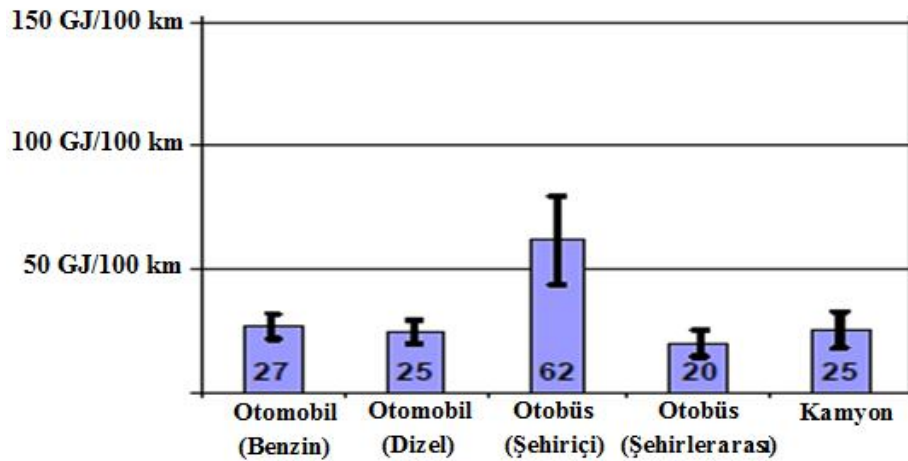


Şekil 2.16. Ticari araçlarda hafifletmenin yakıt tüketimine olan etkisi (Summe 2009)

Toplu taşıma araçlarının ulaştırmadaki önemi dolayısıyla bu taşıtlara uygulanacak olan teknolojilerin daha yüksek verimli olacağı öngörüsüyle 2006 yılında başlatılan Modüler Hafifletilmiş Otobüs Konsepti (LITEBUS) Projesinde hibrit ve sandviç malzeme yapıları kullanılarak otobüs gövde ve parçalarının üretilmesi hedeflenmiştir. Düşük karbonlu çelik yoğunluklu otobüs parçalarının yerine kompozit malzemelerden üretilmiş parçaları kullanarak hafifletme hedefine ulaşılmıştır. Ayrıca bu sayede parça sayısında azalma, parça entegrasyonu, montaj ve tamir kolaylığı, gibi avantajlarında ortaya çıktığı belirtilmiştir. 2009 yılında sonlandırılan projede otobüslerde %10-15 oranında bir hafifletme sağlanmıştır. Parçaların üretim sürelerinde %30 oranında bir kısalma olduğu ve sandviç panellerden oluşan yapının kaynaklı ve sac kalıp ile üretilmiş olanlara göre daha ucuz olduğu belirtilmiştir. İç trimde %10 hafifletme sağlanmış olup ses ve titreşim sönümlenme açısından da eski yapıya göre daha iyi sonuçların alındığı belirtilmiştir. Ortaya çıkan hafifletilmiş yapı güvenlik testlerini başarı ile geçmiş ve yakıt tüketiminde yaklaşık %5 iyileştirme sağlandığı açıklanmıştır (Colombo 2010)

Otobüs üreticisi Yutong ve alüminyum sektöründeki öncü kuruluşlardan Alcoa sürdürülebilir ulaşım hedefleyen ve nüfusu hızla artan Çin devleti için alüminyum alaşımları kullanılarak hafifletilmiş otobüs üretimi gerçekleştirmek için 2007 yılında işbirliği yapmışlardır. Şehir içi bir otobüsteki elde edilecek 100 kg lık bir hafifletmenin kullanım ömrü boyunca yaklaşık 2 500 litre daha az yakıt tüketimi sağlayacağını belirtmişlerdir. Otobüsün taşıyıcı kafesi, gövde panelleri ve jantlarında alüminyum alaşımları kullanılarak yaklaşık %12 daha hafif bir yapı elde edilmiştir. Bu orandaki hafifletme ile yakıt tüketimde yaklaşık %6 oranında bir iyileştirme sağlandığı belirtilmiş ve ortaya çıkan maliyetin 2-3 yıl içerisinde karşılanabileceği açıklanmıştır (Summe 2007).

Uluslararası Alüminyum Enstitüsü (IAI) tarafından yapılan çalışmada çeşitli taşıt türlerindeki hafifletmeler ile sağlanacak olan enerji tasarrufu incelenmiştir. Araştırma sonucunda Şekil 2.17’de görüleceği gibi hafifletme sonucu yakıt tüketimindeki gelişmenin en fazla olduğu sınıfın şehir içi otobüsler olduğu görülmüştür. Taşıtların kullanım koşullarının ve fiziksel özelliklerinin yakıt tüketiminde en önemli etken olduğu ve sürüş esnasında diğer araçlara göre daha sık durup-kalkan araçlarda hafifletme ile sağlanacak olan yakıt tasarrufunun en fazla olacağı belirtilmiştir (Helms ve ark. 2003).



Şekil 2.17. Farklı araç türlerinde hafifletmenin enerji tüketimine olan etkisi (Helms ve ark. 2003)

Yine aynı çalışmada standart bir şehir içi otobüsün hafifletilmesi ile yakıt tüketimindeki iyileşme ve CO₂ salınımı incelenmiştir. Otobüsün ağırlığı 15 ton olarak

alınmış ve 100 km mesafede 40 litre yakıt tüketen dizel bir motor seçeneği belirlenmiştir. Yapılan simülasyon sonucunda %10 oranında hafifletme ile %3,5-7 oranında bir yakıt tüketiminde azalma gözlenmiştir. 1 milyon km kullanım ömrü belirlenen bu otobüs için bu oranda bir hafifletme ile CO₂ salınımında yaklaşık 4,5 ton azalma gözlenmiştir. Şehirlerarası uzun mesafeli yolculuklarda kullanılan 18 ton ağırlığında 100 km de 30 litre yakıt tüketimi olan bir otobüste ise %10 oranındaki bir hafifletme ile yakıt ekonomisinde %2,5-4 arasında bir azalma gözlenmiştir. Kullanım ömrü boyunca seyahat mesafesi 1 200 000 km olarak seçilmiş ve CO₂ emisyonunda 1,4 ton bir azalma olacağı açıklanmıştır (Helms ve ark. 2003).

Thattai parthasarathy ve ark. (2008) otobüslerin güç üniteleri ve akülerinin bulunduğu bölmenin kapağını hafifletmişlerdir. Referans alınan kapak çelik malzemeden üretilmiş olup yaklaşık 1 metre boyunda ve 12 kg ağırlığındadır. Yaptıkları çalışmada E-camı türünde lifler ile polipropilen malzemesi kullanılarak bu parçayı ekstrüzyon sıkıştırma kalıplama tekniği ile üretmişler ve yaklaşık %60 oranında hafifletme sağlamışlardır. Kompozit yapının çelik muadili gibi rijitliğini sağlaması için yapı tasarlarken kirişler (rib) ile desteklenmiş ve üretim aşamasında da uzun fiber takviyeler kullanılmıştır.

Ning ve ark. (2007) otobüs yan panelini hafifletme amacıyla termoplastik sandviç yapılı kompozit malzeme ile yeniden tasarlayıp üretmişlerdir. Yüzeyde 4 katmanlı E-cam elyafı iç kısmında ise 2 katmanlı polipropilen honeycomb kullanarak daha hafif, yüksek mukavemetli ve enerji absorbe etme özelliği daha fazla olan bir yapı elde etmişlerdir. Ortaya çıkan yeni panel alüminyum muadiline göre yaklaşık %55 daha hafif olmuştur. Ayrıca çalışmada sandviç yapılı kompozitlerin yüksek bir eğilme direnci olduğu ve büyük oranlarda hafifletmenin mümkün olduğu belirtilmiştir.

2.6.2. Koltuk Yapısında Hafifletme Uygulamaları

Araçlarda seyahat konforu ve güvenliği açısından oldukça önemli bir parça olan koltuk yapılarında hafifletme otomotiv sektörünün öncelikli hedeflerindedir. Kompleks bir yapıya sahip olan bu ürünün uluslararası regülasyonlarla belirlenmiş birçok güvenlik testini sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle hafifletilmesinin yanı sıra güvenliği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Özellikle toplu taşıma araçlarında sayıları itibariyle ağırlık olarak büyük bir oran teşkil eden yolcu koltuklarının hafifletilmesinin yakıt tüketimine katkı sağladığı görülmüştür. Bunun yanı sıra tasarım tekniklerinin kullanılması ile ortaya çıkacak olan ince koltuk yapısı araç içerisinde kullanılabilir alanı da arttıracaktır. Bu avantajları sebebiyle koltuklar son yıllarda otomotiv sektöründeki hafifletme çalışmalarının içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Yapılan araştırmaların çoğu otomobil koltuklarına yönelik olsa da toplu taşıma araçlarında kullanılan yolcu koltuklarıyla ilgilide çalışmalar literatürde mevcuttur.

Gleich ve ark. (2002) termoplastik kompozit malzemedan yolcu koltuğu üretmişlerdir. Koltuğun yapısında cam fiber takviyeli polipropilen termoplastik matris ile bazı yerlerde mukavemeti sağlamak amacıyla karbon takviyesi kullanmışlardır. Yanmazlık testinden başarı ile geçen koltuk uluslararası güvenlik testlerinden de geçmiştir. Bilgisayar destekli tasarım ile analizleri yapılmış ve gerekli yerlere tasarım aşamasında takviyeler yapılmıştır. Basınçlı kalıplama yöntemi ile üretilen koltuk muadillerine göre yaklaşık %40 daha hafif elde edilmiştir. Ayrıca proses ve işçilik maliyetleriyle, bağlantı parçalarındaki azalma sayesinde %48 oranında maliyette iyileştirme olduğunu belirtmişlerdir.

Bartus ve ark. (2006) iki kişilik yolcu koltuğunu kompozit malzemelerden üretmişlerdir. Referans aldıkları yapı çelik iskelet üzerine SMC kalıplama metodu ile üretilmiş olan yarı kompozit yarı çelik bir koltuktur. Yeni koltukta çelik iskeletin tamamen elimine edilmesi, boyama prosesinin kalkması, montaj süresi ve parçalarının azalması ile maliyetlerde yaklaşık %18 oranında iyileşme görülmüştür. Ağırlıkta ise yaklaşık %43 oranında bir azalma sağlanmıştır. Bu yapı boyutları 12 mm den daha büyük olan uzun cam liflerin termoplastik matris ile birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Elde edilen kompozit malzeme ekstrüzyon yöntemi ile kalıp içerisine yüksek basınçta gönderilmiş ve kalıpta soğuyana kadar bekletilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yapılmış ve ortaya çıkan koltuk güvenlik şartlarını sağlamıştır.

Polavarapu (2008) ECE R17 standartlarına uygun basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş otomotiv koltuk iskeletini hafifletmek için topoloji ve boyut optimizasyonu tekniklerini kullanarak hafifletme çalışması yapmıştır. Sonlu elemanlar metodu yardımıyla analizler yapıp gerekli yerlerde tasarıma müdahale etmiştir. Çalışmada AM50 magnezyum

malzemesinden üretilmiş olan bir koltuk arkalığı esas alınmış ve sonucunda yaklaşık %13 oranında bir hafifletme elde edilmiştir. Normalde 2,5 mm et kalınlığına sahip olan arkalık iskeleti çalışma sonucunda farklı bölgelerde farklı kalınlıklarına sahip (0,75- 3,5 mm aralığında) olacak şekilde tasarlanmıştır.

Thiyagarajan (2008) çalışmasında referans olarak aldığı düşük karbonlu çelik malzemedен üretilmiş bir otomobil koltuğunun arkalık iskeletini sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiş ve optimizasyon sonucunda yaklaşık %15 daha hafif bir yapı elde etmeyi başarmıştır. Ortaya çıkan yeni koltuk arkalığı ECE R17 standartlarına uygun arkalık moment testi ve başlık kısmına uygulanan testleri başarı ile geçmiştir. Koltuk iskeletinin et kalınlığı optimizasyon ile belli bölgelerde inceltilmiştir. Arkalığın sele ile bağlantısını sağlayan parçaların analizleri yapıldığında en yüksek gerilmelerin bu bağlantı parçalarında ve koltuğun en üst ucunda olduğu görülmüştür.

CAMISMA projesi kapsamında otomotiv koltuğunda kullanılan geleneksel çelik iskeletin yerine fiber takviyeli kompozit malzemedен üretilmiş yapı kullanılmıştır. Karbon fiber ile poliamid 12 malzemelerinin yeni tasarım eşliğinde kullanılması ile eski yapıya oranla yaklaşık %30 daha hafif bir koltuk elde edilmiştir. Bu yeni koltuk ECE R17 koltuk testlerinden başarı ile geçmiştir. Koltuğu üretirken malzeme, tasarım ve proseslerde iyileştirmeye gidilerek metal-kompozit entegrasyonunu başarı ile sağlamışlardır. Ayrıca çalışmada klasik enjeksiyon kalıplamada elde edilemeyecek et kalınlıklarının kompozit malzeme ile elde edilebileceği gösterilmiştir (Schulze 2011).

Düşük karbonlu araç projesinde %60 oranında cam fiber takviyeli polimer 6 kompozit malzemedен koltuk arkalığı üretilmiştir. Maliyet olarak karbon fiber ile çelik arasında olan termoset kompozit malzemedен üretilmiş koltuk regülasyonlara uygun fiziki testlere tabi tutulmuş ve başarı ile geçmiştir. Ayrıca daha ince oluşu sayesinde araç içerisindeki kullanılabilir alanda artış sağlamıştır. Malzeme değiştirilmesi ve topoloji optimizasyonu yapılması ile elde edilen koltuğun yaklaşık %33 daha hafif olduğu belirtilmiştir (Anonim 2009).

Otomotiv Kompozit Konsorsiyumu (ACC) tarafından yürütölen projede fiber takviyeli kompozit yapı ile koltuk üretilmiştir. Bu çalışmada karbon fiber takviyeli yapı ile %50 oranında hafifletmenin mümkün olduğu fakat bu yöntemin oldukça maliyetli olacağı

fakat koltuğu sırtlık ve sele olarak iki kısıma ayırıp, ayrı kalıplar ile cam fiber takviyeli kompozit kullanılarak üretilmesinin uygun olacağı belirtilmiştir. %23 oranında bir hafifletmenin sağlandığı bu çalışmada termoplastik ve termoset parçalar kullanılmıştır (Berger ve ark. 2011).

Yapılan kaynak araştırması sonucunda yenilenen yönetmeliklere göre ticari araçların emisyon oranlarına sınırlamalar getirildiği, otobüs, minibüs ve midibüslerde yeni motor teknolojilerinin kullanılmasının zorunlu hale geldiği görülmüştür. Günümüzde bu araçlarda kullanımda olan EURO5 motor 2014 yılından itibaren EURO6 motor ile yer değiştireceği ve bu değişikliğin araca ilave yük olarak yansıtacağı görülmüştür.

Özellikle toplu taşıma sektöründeki araçların ağırlıklarında sayıları itibariyle büyük yer tutan yolcu koltuklarının malzeme değişikliği ile hafifletilmesinin mümkün olduğu ve elde edilen hafifletmenin yakıt tüketimini azalttığı görülmüştür. Bu sebepten otobüs ve minibüs üreticilerinin yan sanayilerden talebi güvenlik ve konfor şartlarını sağlayan daha hafif yolcu koltuğu üretilmesidir.

Sonuç olarak sonucunda taşıtlarda hafifletme ile yakıt tüketiminde tasarruf sağlanacağı ve emisyon oranlarının azalacağı görülmüştür. Literatürde bu alanda birçok uluslararası proje ve çalışmanın yapıldığı ve başarılı sonuçların alındığı gözlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada M2 ve M3 sınıfı ticari araçlarda kullanılmak üzere hafifletilmiş yolcu koltuğu tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu kısımda referans alınan yolcu koltuğu tanıtılmış ve koltuk doğrulama testlerinden bahsedilmiştir. Prototip üretimi gerçekleştirilen koltuğun tasarım ve doğrulama aşamaları açıklanmıştır. Tasarım aşamasında kullanılan TRIZ metodu ve doğrulama aşamasında kullanılan sonlu elemanlar metodu anlatılmıştır. Koltuğun sonlu elemanlar modelinin oluşturulması ve analizlerin kurgulanmasından bahsedilmiştir. Hafifletme amacıyla koltuk yapısında yüksek mukavemetli çelik malzemeden üretilmiş profillerin farklı kalınlıkları analizlere tabi tutulmuş ve en uygun mukavemet ve hafiflik değerine sahip yapı oluşturulmuştur.

3.1. Yolcu Koltukları

Yolcu koltukları araç sınıfına bağlı olarak çeşitli güvenlik ve konfor ekipmanları ile donatılmış ve gün geçtikçe ağır, karmaşık bir yapıya dönüşmüşlerdir. Araç içerisinde konumu ve sayısı taşıt sınıfına ve müşteri isteğine bağlı olarak değişmekle birlikte M2 sınıfı olarak bilinen minibüs ve hafif ticari araçlarda 10-18 adet, M3 sınıfı olarak bilinen otobüslerde ise 30-55 adet koltuk bulunmaktadır.

Şehirlerarası seyahat için üretilmiş otobüslerin yaklaşık ağırlıkları 18 000 - 24 000 kg şehir içi otobüslerin ise yaklaşık 18 000 - 26 000 kg'dır. Midibüslerin ise ağırlıkları yaklaşık 4 000 kg'dır. Şehirlerarası seyahatlerde kullanılan otobüslerde ortalama 54 koltuk bulunmakta olup 2 kişilik olarak üretilen bu koltukların ağırlıkları yaklaşık 50 kg'dır. Bu değerler göz önünde bulundurulursa araç ağırlığında koltukların payının yaklaşık %8 olduğu görülmektedir.

Tüm araçlarda çeşitli sayılarda bulunan ve seyahat konforu ile güvenliğinin en önemli unsuru olan yolcu koltukları genel olarak Şekil 3.1'de görüldüğü gibi ayak yapılarıyla şaseye bağlanarak üzerlerinde oturak, arkalık, kolçak, arka kapak, ayak dayama, tutamak, emniyet kemeri ve servis tablası gibi temel unsurları taşırlar. Yolcu koltukları dâhil olduğu sınıfa göre yönetmeliklerle belirlenmiş boyut ve güvenlik koşullarına uygun olarak üretilirler. Koltuklar ayak, oturak şasesi ve arkalık iskeleti olmak üzere temel olarak 3 ana parçadan meydana gelmektedirler.



Şekil 3.1. İki kişilik otobüs yolcu koltuğu

Koltuğun araç tabanı ile bağlantısını sağlayan koltuk ayağı, koltuğu oluşturan temel unsurlardan biridir (Şekil 3.2). Geleneksel koltuk yapısında St-37 çelik sactan üretilen bu yapı kaynak bağlantısı ile koltuğun şasesine bağlanır. Araç tipine göre bazı koltuklarda iki adet bulunurken bazılarında ise tektir. Tek olduğu durumlarda şasenin diğer ucu aracın gövdesine sabitlenir.



Şekil 3.2. Şaseye kaynatılmış koltuk ayağı

Koltuk yapısını oluşturan diğerk bir temel yapı Şekil 3.3'te görülen koltuk şase grubudur. Koltuğun rijitliğini sağlayan bu yapının üzerine oturak eklenerek seyahatte yolcunun oturacağı kısım oluşturulur. Yerden yüksekliği ve genişliği regülasyonlarla belirlenir. Şase grubu, üzerinde yana açma mekanizması, arkalık yatırma mekanizması, kol ve ayak dayama ile sele parçalarını taşır. Ayrıca yolcu güvenliği açısından en önemli donanımlardan olan emniyet kemerinin bağlantı noktaları da şase yapısı üzerindedir. Emniyet kemerleri aracın içerisinde koltuğun konumuna ve taşıtın sınıfına bağlı olarak iki nokta (bel) veya üç nokta (bel ve omuz) olmak üzere iki çeşittir. Koltuğun arkalık kısmındaki iskelet yapısı da bazı koltuklarda tamamen şaseye bağlı iken bazı koltuklarda ise kısmen bağlıdır.

Geleneksel yolcu koltuklarının büyük bir kısmında koltuk şasesi St-37 çeliğinden üretilmiş profillerin kaynaklı bağlantısı ile meydana gelir. Koltuğun iki köşesindeki kapatıcı yan saclarda bu yapının iki yanını oluşturur. Şekil 3.3'te görülen hali ile yani yana açma mekanizması ve koltuk ayağı dahil olmak üzere 2 mm kalınlığındaki profillerden üretilmiş koltuk şasesinin ağırlığı yaklaşık olarak 15 kg'dır.



Şekil 3.3. Koltuk şase grubu

Koltuğu oluşturan bir diğerk temel kısım ise Şekil 3.4'te görülen arkalık yapısıdır. Bu yapı bazı koltuklarda borulardan bazılarında ise profillerden meydana gelmektedir. İskeletin üzerine sunta ve köpük basılarak sırt dayama alanı oluşturulur. Üç nokta

emniyet kemerli koltuklarda yani önünde başka bir koltuk olmayan koltuklarda arkalık iskeleti emniyet kemer bağlantı sacını da üzerinde taşır.

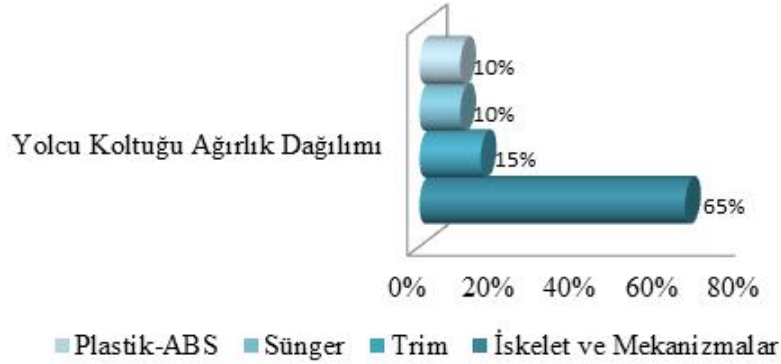
Koltuk yapısında eğer arkalık yatırma mekanizması mevcut ise arkalık iskeleti geçmeli olarak koltuk şasesine bağlanır yani belli bir açıda koltuğun arkaya doğru yatırılmasına olanak sağlar. Arkalık yatırma mekanizması yoksa yani koltuk yatarlı değil sabit ise bu iskelet yapısı koltuk şasesine kaynaklı bağlantı ile bağlanır. Aksesuar olarak koltuk arkalık yapısının sünger ve kumaş kılıf giydirilmiş halinin üzerine tutamak, servis tablası ve file yerleştirilir.



Şekil 3.4. Koltuk arkalık yapısı ve iç iskeleti

Yolcunun hem seyahat konforu hem de kaza anında güvenliği açısından oldukça önemli olan arkalık yapısı yönetmeliklerde belirtilen boyutlara göre üretilir. Yolcunun sırt dayadığı bu kısmın kaza anında meydana gelebilecek kuvvetlere karşı koyabilmesi için yeterli mukavemete sahip olması istenir. Ayrıca kaza anında arkada oturan yolcunun çarpması sonucu ortaya çıkan darbeleri de sönmlemesi de gereklidir. Üzerindeki aksesuarları ile birlikte iki kişilik bir yolcu koltuğunda arkalık yapısının toplam ağırlığı yaklaşık 14 kg'dır.

Ortalama bir yolcu koltuğunun ağırlığı yaklaşık 45 kg'dır ve bu ağırlığın büyük bir kısmı iskelet ve mekanizmalardan oluşmaktadır (Şekil 3.5). Bu ağırlığı trim, sünger ve plastik aksam takip etmektedir.



Şekil 3.5. Yolcu koltuğunun ağırlık dağılımı

Koltuk yapıları yeni malzemelerin, optimizasyon tekniklerinin ve üretim metotlarının kullanılmasına en iyi olanak sağlayan yapılardır. Kullanılacağı aracın güvenlik ve konfor kriterlerine uygun olarak koltuk yapısına çeşitli ekipmanların eklenip sökülmesi de mümkündür. Şekil 3.6'da üzerinde tüm aksesuarları bulunan 2 kişilik, arkalık yatırma ve yana açma mekanizması mevcut olan 3 nokta emniyet kemerli bir yolcu koltuğunu oluşturan parçalar görülmektedir.



Şekil 3.6. Yolcu koltuğunun temel parçaları

3.2. Koltuk Doğrulama Testleri

Yolcu koltukları kullanılacağı aracın sınıfına göre doğrulama testlerine tabi tutulur. Ticari araçların sınıfları temel olarak M2 ve M3 olarak iki ana gruba ayrılabilir. M2 sınıfı araçlar yolcu taşıma amacıyla, sürücü koltuğuna ilave olarak 8 den fazla oturma yeri olan ve azami kütlesi 5 tonu aşmayan taşıtlardır. Bu sınıftaki toplu taşıma araçlarına örnek olarak minibüs ve midibüsler gösterilebilir. M3 sınıfı araçlar ise yolcu taşıma amacıyla, sürücü koltuğuna ilave olarak 8 den fazla oturma yeri olan ve azami kütlesi 5 tonu aşan motorlu araçlardır. Bu sınıftaki toplu taşıma araçlarına ise şehir içi ve şehirlerarası otobüsler örnek gösterilebilir.

Müşteri istekleri doğrultusunda üretilmesi hedeflenen koltuğun belirli teknik şartları ve homologasyonları sağlaması gerekmektedir. Bu teknik şartlar uluslararası standartlar tarafından belirlenmiş olup yolcunun seyahat esnasında güvenliğini sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. Bu güvenlik şartlarının yanı sıra koltuğun boyutları, araç içerisindeki konumu, emniyet kemer bağlantı noktaları, şase bağlantı noktaları, koltuklar arası mesafe, koridor mesafesi gibi tüm teknik şartlar da standartlarda belirtilmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

- 74/408/EEC (AT): Motorlu araçların koltukları, bağlantıları ve koltuk başlıkları ile ilgili tip onayı yönetmeliği – (ECE R-80 / ECE R-17)
- 76/115/EEC (AT): Motorlu araçların emniyet kemerleri bağlantı parçaları ile ilgili tip onayı yönetmeliği – (ECE R-14)
- 77/541/EEC (AT): Motorlu araçların emniyet kemerleri ve bağlama sistemleri ile ilgili tip onayı yönetmeliği – (ECE R-16)
- 2001/85/EC (AT): Sürücü koltuğuna ilave olarak sekizden fazla koltuğu bulunan ve yolcu taşımak amacıyla kullanılan araçların özel hükümleri ile ilgili tip onayı yönetmeliği
- ECE R-107 (M2 veya M3 kategori araçlar için genel şartlar) Aynı zamanda ECE R-52 ve ECE R-66 regülasyonlarına da kısmi olarak karşılık gelmektedir.) - Bu yönetmelik ayrıca araç içi mesafeler, tutamak mesafeleri, yolcu alanları (oturan yolcular veya ayakta yolcular), koltuk ölçüleri ve ara mesafeleri, kapı-basamak şartları ve genel araç kararlılığı hakkında bilgiler ve yapılması gerekli zorunlulukları içerir.

- 78/932/EEC (AT): Motorlu araçların koltuk başlıkları ile ilgili tip onayı yönetmeliği – (ECE R-17 / ECE R-25)
- 95/28/EC (AT) : Motorlu araçların belirli sınıflarının içyapılarında kullanılan malzemelerin yanma davranışı ile ilgili tip onayı yönetmeliği – (ECE R-118)

Üretilen her bir koltuğun onay alabilmesi için yukarıdaki standartlarla belirlenmiş olan testlere tabi tutulması gerekmektedir. Bu testlerde olası bir kaza anında koltukların bağlantı yerleri, aksesuarları ve ana iskeletin davranışları ile yolcu üzerinde oluşacak olan kuvvetler incelenir. Aşağıda bu regülasyonlara göre yapılan bazı önemli testler açıklanmıştır.

3.2.1. Çarpışma (Crash) Testi (ECE R80)

Crash yani çarpışma testi dinamik ve statik olmak üzere iki çeşit yapılmaktadır. Bu test statik olarak yapılacaksa koltuğun doğrulanması için ilave olarak enerji dağılım testinin de uygulanması gerekmektedir.

a. Dinamik Test

Aracın ani frenleme ya da çarpışma anında koltuklarda ve bağlantılarında ortaya çıkacak kuvvetlerin yolcuya ve koltuğa etkisini incelemek için yapılan bir testtir. Deneye tabi tutulacak koltuk numuneleri üzerlerinde tüm aksesuarları ile birlikte Şekil 3.7’de görüldüğü gibi araç yapısını temsil eden bir platforma bağlanır. Mankenin oturtulduğu koltuğun önüne aynı özellikteki ikinci koltuk konular ve sabitlenir. Deney arabası çarpışma hızı olan 30-32 km/s hıza çıkarılır ve ortalama yavaşlama ivmesi 6,5-8,5 g arasında tutularak test gerçekleştirilir.

Deney sonucunda koltukta oturan manken, önündeki koltuklar tarafından veya emniyet kemeri tarafından korunmalıdır. Yani mankenin kafasının ve gövdesinin her hangi bir kısmının ileriye doğru hareketi, yedek koltuğun R noktasından itibaren 1,6 m uzağında bulunan enlemesine (çapraz) düşey düzlemin ötesine geçmemesi gerekmektedir.



Şekil 3.7. Dinamik çarpışma testi düzeneği

Koltuğun testi başarı ile geçebilmesi için deney sırasında; koltuk parçalarının, bağlantılarının veya aksesuarlarının hiçbiri tamamen ayrılmamalı veya birkaç bağlantı kısmen kopsa, bütün kilitleme sistemleri kilitli kalsa bile, koltuk platforma bağlandığı haliyle kalmalıdır. Ayrıca koltuğun üzerinde bulunan aksesuarların veya parçaların herhangi birinde yaralanmaya sebep olabilecek keskin, sivri kenar oluşmamalıdır. Test sonucunda koltukta oturan yolcunun yönetmelikçe belirlenen kriterlere göre ciddi olarak yaralanmaması gerekmektedir.

b. Statik Test

Aracın çarpışma veya ani frenleme anında koltuk ve yolcu üzerinde ortaya çıkacak olan kuvvetleri simüle eden bir diğer yöntem statik test yöntemidir. Bu test ile de koltukta oturanların kaza anında önlerindeki koltuklar ile uygun bir şekilde korunup korunmadığı, yolcunun yaralanma durumu ve koltuk bağlantılarının dayanıklılığı test edilir.

Testi gerçekleştirmek için yüzey eğrilik yarıçapı 82 mm olan ve alt kısmının genişliği 320 mm, üst kısmının genişliği ise teste tabi tutulacak koltuğun sırt genişliği kadar olan silindirik yüzeyler kullanılır (Şekil 3.8). Bu silindirik yüzeylere uygulanan kuvvetleri ölçebilecek en az bir kuvvetölçer bağlanır ve koltuk modelinin tekli, çiftli, üçlü vb. durumuna bağlı olarak alt ve üst sıradaki silindirlerle gerçekleştirilir.



Şekil 3.8. Statik çarpışma testi düzeneği

Silindirik yüzeyler tarafından uygulanacak olan kuvvetler yönetmeliklerde belirlenmiş olan hesaplamalar ile belirlenmektedir. Koltuğun üst kısmına uygulanacak olan F_1 kuvveti;

$$F_1 = 1000/H_1 \pm 50 \text{ N} \quad (3.1)$$

şeklinde hesaplanır. Burada H_1 noktası 0,7-0,8 m arasında, tasarımlarına uygun olacak şekilde koltuk üreticisi tarafından seçilir. Koltuğun alt kısmına uygulanacak olan F_2 kuvveti ise;

$$F_2 = 2000/H_2 \pm 100 \text{ N} \quad (3.2)$$

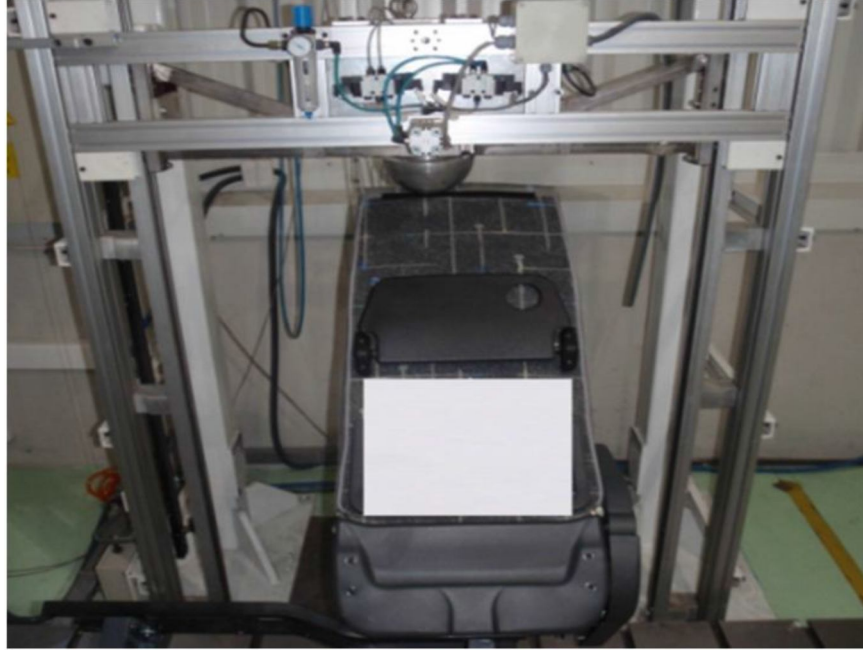
olarak hesaplanır. Burada H_2 noktası da 0,45-0,55 m arasında bir değer olacak şekilde yine üretici tarafından belirlenir. Silindirik yüzeyler yukarıda belirtilen kuvvetlerin uygulanması esnasında koltuk sırtına mümkün olduğunca yakın tutulmalı ve koltuğa yatay konumda arkasından uygulanmalıdır. Uygulanan kuvvetler, deformasyon ne olursa olsun en az 0,2 saniye süre ile mümkün olan en çabuk şekilde uygulanmalıdır.

Koltuğun testten geçebilmesi için üst noktadan uygulanan kuvvet sonucunda oluşan deplasmanın en az 100 mm, en fazlada 400 mm olması gerekmektedir. Alt kısmından uygulanan kuvvet sonucunda oluşan deplasmanın ise en az 50 mm olması

gerekmektedir. Bunların yanı sıra dinamik testteki istenen koltuk ve parçalarının bütünlüğü, ciddi yaralanmalara sebep olmaması gibi şartlar bu test içinde geçerlidir.

3.2.2. Enerji Dağılımı Testi

Üretilen koltuk dinamik çarpışma testine tabi tutulmuyor ise çarpışma anında yolcunun başının önündeki koltuğa çarpması ile oluşabilecek hasarları görmek adına enerji dağılım testinin yapılması zorunludur. Test koltuğun arka kısmında yer alan parçaların darbe merkezinde, kütlesi 6,8 kg olan ve ekseni bilyeli yatak ile desteklenmiş olan bir sarkaçtan veya bu kütleye serbest düşme yaptırarak istenen hızlara ulaştırabilecek bir cihazından oluşan bir düzenek ile gerçekleştirilir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Enerji dağılım testi düzeneği

Enerjiyi yayan malzeme yani koltuğun arkasındaki sırtlık plastiği, ekran, tablet vb. koltuğa bağlanmalı ve koltuk bu hali ile deneye tabii tutulmalıdır. Test mümkünse araç karoserisinin üzerinde yapılmalı veya yapısal elemanlar çarpma sırasında hareket etmeyecek şekilde deney platformuna sıkıca tutturulmuş olmalıdır. Kafa çarpma bölgesi, kalçanın aksenal noktasından kafanın tepesine kadar mesafesi 736 mm ile 840 mm arasında sürekli olarak ayarlanabilen bir ölçme düzeneğinin ayrılmaz bir parçası olan 165 mm çapındaki küresel bir kafa ile statik olarak temas edebilecek aracın içerisindeki bütün camsız yüzeylerden meydana gelmelidir.

Testin gerçekleştirilmesinde sarkaç, deneye konu olan kısmın ilgili bölümlerine itici tertibatın kendi enerjisi ile veya ilave bir itici cihaz kullanılarak elde edilen 24,1 km/s hızla vurmalıdır. Koltuğun testten başarı ile geçmesi için yavaşlama ivmesi 3 milisaniyeden daha fazla süreyle 80 g'yi aşmamalıdır. Yani yapılan vuruşlar sonucunda elde edilen değerler 80 g değerini aşmamalıdır, aşsa bile 3 milisaniyeden daha uzun sürede 80 g değerinin üzerinde kalmamalıdır.

3.2.3. Emniyet Kemer ekme Testi (ECE R14)

Koltuk doğrulama testleri içerisindeki en önemli testlerden biri emniyet kemer çekme testidir (şekil 3.10). Bu test ile aracın çarpışma anında yolcu tarafından emniyet kemerine uygulanan yükler incelenir. Emniyet kemeri bağlantı noktalarının aracın gövdesinde veya koltuğun üzerinde olmasından bağımsız olarak, her bir emniyet kemeri için standartlarda belirtilen şartlar altında testler gerçekleştirilmek zorundadır. Test sonrasında araç yapısı, koltuk yapısı, kemer bağlantıları, araç bağlantıları, koltuk bağlantıları birlikte değerlendirilebilir.



şekil 3.10. Emniyet kemer çekme testi düzeneği

Koltukların bütün kemer bağlantı parçaları aynı anda deneye tabi tutulmalıdır. Ancak, koltukların veya bağlantı parçalarının simetrik olmayan yüklemesinin arızaya yol açma riski varsa, simetrik olmayan yükleme ile ilave bir deney yapılabilir. Emniyet

kemerlerine uygulanacak olan çekme kuvveti, oturma konumuna karşılık gelen doğrultuda, aracın boylamasına paralel bir düzlemde ortalama 10 ± 5 derecelik bir açı ile yatayın üstünde uygulanmalıdır. Bütün kuvvetin uygulanması mümkün olduğunca hızlı gerçekleştirilmelidir. Araç sınıfına ve emniyet kemer bağlantı noktasına bağlı olarak uygulanacak olan çekme kuvvetleri Çizelge 3.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Emniyet kemer çekme testi kuvvet değerleri

Kemer Tipi	Araç Sınıfı	Bağlantı Noktası	Uygulanan Çekme Kuvvetleri
2 Nokta Emniyet Kemer	M2	Alt Kemer	$F = 11\,000\text{ N} + (10 \times \text{Koltuk Ağırlığı} \times 9,81\text{ m/s}^2)$
	M3	Alt Kemer	$F = 7\,400\text{ N} + (6,6 \times \text{Koltuk Ağırlığı} \times 9,81\text{ m/s}^2)$
3 Nokta Emniyet Kemer	M2	Alt Kemer	$F = 6\,750\text{ N} + (10 \times \text{Koltuk Ağırlığı} \times 9,81\text{ m/s}^2)$
	M2	Üst Kemer	$F = 6\,750\text{ N}$
	M3	Alt Kemer	$F = 4\,500\text{ N} + (6,6 \times \text{Koltuk Ağırlığı} \times 9,81\text{ m/s}^2)$
	M3	Üst Kemer	$F = 4\,500\text{ N}$

Koltuğun bu testten başarı ile geçebilmesi için test esnasında belirtilen kuvvetlere dayanması gerekmektedir. Gerekli kuvvete belirtilen süre boyunca dayanıyorsa kısmî kopma da dâhil kalıcı şekil bozukluğu veya herhangi bir bağlantı parçası veya etrafındaki alanda kırılma, hata olarak kabul edilmemektedir. Bütün koltuklarda oturanların aracı terk etmesini sağlayan yer değiştirme ve kilitleme tertibatları kullanılmış ise, bu tertibatlar çekme kuvveti kaldırıldıktan sonra el ile hâlâ çalışabilir olmalıdır. Uygulanan kuvvetler sonucunda, yapıda kalıcı deformasyonlar ve yerel kopmaların gözlenmesi regülasyona uygunluğu engellememekte, emniyet kemerinin bağlandığı yapının (koltuk ya da gövde) bütünlüğünü koruyarak ana yapıya bağlı kalması beklenmektedir.

Koltuk yapısına uygulanan bu temel testlerin yanı sıra standartlarla belirlenmiş olan başka testlerde vardı. Belirli bir statik yük altında belirli bir frekans ve belirli bir çevrimde koltuk ile oturağın dayanımını görmek adına yapılan arkalık dayanım testi

(Şekil 3.11), koltuğun belirli bir kilogramdaki ağırlığa, belirli bir frekans ve çevrimde dayanımını görmek, yolcunun oturup kalkması hareketinde ve yolculuk esnasındaki ağırlığından kaynaklı yüklerin etkisini incelemek için yapılan döşeme ömür testi ile yanmazlık ve erime testleri bunlara örnek gösterilebilir.



Şekil 3.11. Arkalık itme test düzeneği

Tüm bu testlerin içerisinde emniyet kemer çekme testi koltuğun doğrulanması aşamasında ilk uygulanan testtir. Bu testi başarı ile geçen koltuk yapısının diğer testleri de geçme ihtimali yüksektir.

3.3. Yolcu Koltuğu Tasarım ve Doğrulama Aşamaları

Yolcu koltuklarının gelişimi günümüzde güvenlik, konfor, hafiflik ve maliyet parametreleri ile doğrudan ilişkili hale gelmiştir. Koltuklarının tasarlanıp üretilmesi aşamasında birçok parametreyi göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- Ergonomik bir yapıya sahip olmalı ve yolcunun ısı konforuna katkı sağlamalı
- Çarpışma esnasında veya yolcudan kaynaklı yüklerle karşı mukavemetli olmalı
- Ekonomik olarak düşük maliyetli ve üretilebilir olmalı
- Araç içerisinde estetik bir görüntü oluşturmalı
- Taşıtın gerektirdiği fonksiyonel özelliklere sahip, modüler ve kullanışlı olmalıdır.

Temel olarak koltuğun üretim aşamaları Çizelge 3.2’de görüldüğü gibidir.

Çizelge 3.2. Koltuk üretim aşamaları



3.3.1. Tasarım Aşaması

Koltuk tasarımı ilk olarak hedef pazarın detaylı bir analizi ile başlar. Koltuk üzerinde bulunması gereken fonksiyonların birçoğu müşteri istekleri doğrultusunda şekillendiği için bu analiz oldukça önemlidir. Hedef pazar analizinin yapıp müşteri isteklerinin değerlendirilmesinden sonra tasarım oluşturulur.

Koltuğun üzerinde çeşitli fonksiyonları barındırabilen, yapısal değişikliklere imkân veren, modüler bir yapı olması istenmektedir. Ayrıca can güvenliğinin en üst düzeyde tutulduğu taşımacılık sektöründe elemanların her birinin uluslararası normlara uygun olarak üretilmesi de gerekmektedir. Tasarımı yapılacak koltuğun araç içerisindeki konumu, iki koltuk arasındaki mesafe, koltuk minderinin tabandan olan yüksekliği,

sırtlık ve minderin boyutları gibi bütün özellikleri uluslararası direktifler ile belirlenmiştir. Tüm bu parametreler tasarım aşamasında göz önünde bulundurulur.

Tasarımın her aşamasında müşteri isteklerine kolay adapte edilebilecek bir ürün ortaya çıkarılmaya çalışılır. Örneğin koltuk ayak mesafeleri istenildiği şekilde ayarlanabilir olmalı ya da koltuk üzerinde her iki tarafa da kolçak takılabilir olmalıdır. Böylece koltuk yapısında herhangi bir değişikliğe gidilmeden ya da ufak ayarlamalar ile aynı koltuğun farklı araçlarda kullanılabilmesi mümkün olacaktır.

Koltuğun katı modelinin oluşturulmasında daha önceden tasarlanmış koltuklar da incelenir ve ortak kullanılacak tasarımlar belirlenir. Tasarım aşamasında dikkat edilecek bir diğer hususta ortaya çıkan tasarımın maliyet ve üretilebilirlik açısından uygun olmasıdır.

Koltuğun tasarım aşamasında çeşitli tekniklerden faydalanılır. Bu çalışma içerisinde TRIZ yaratıcı problem çözme tekniği göz önünde bulundurularak tasarım geliştirilmeye çalışılmıştır.

3.3.1.1. TRIZ Metodu

TRIZ metodu Rus bilim adamı Genrich Altshuller tarafından çok sayıda patentin incelenmesi sonucunda geliştirilen bir problem çözme tekniğidir. Rusçadaki orijinal isminin kısaltılmışı olan TRIZ, Yaratıcı Problem Çözme Tekniği olarak tanımlanır. Bu tekniğin diğer problem çözme tekniklerine göre öne çıkan yönü yaratıcılığa sistematik bir yol ile ulaştırmasıdır.

Yapılan araştırmalarda farklı sistemlerin zaman içerisindeki gelişimlerinde ortak noktalar olduğu görülmüş ve bu ortak noktalar sayesinde araştırmacıların sonuç vermeyecek birçok denemeden kurtulabileceği öne sürülmüştür. Ayrıca bir sistemde bir özelliğin arttırılması sonucunda başka bir özelliğin kötüleştiği belirtilmiştir. TRIZ metodu buradan yola çıkarak sistemdeki problemlerin var olan bu çelişkilerin ortadan kaldırılmasıyla giderilebileceğini öngörmüştür (Anonim 2013).

TRIZ metodu problemi teknik ya da fiziksel bir çelişki olarak belirler. Teknik çelişkiler tasarım sürecinde en sık olarak karşılaşılan 39 mühendislik parametresinden oluşur. Teknik sistemlerdeki çelişkilerin, yetersizliklerin temel fiziksel özellikler açısından

ifade edilmesi ve problemin çözülebilmesi için başlangıç noktaları önerilir. Çizelge 3.3'te 39 adet TRIZ mühendislik parametreleri (çelişkileri) görülmektedir.

Çizelge 3.3. TRIZ 39 mühendislik parametresi

1	Hareketli nesnenin ağırlığı	21	Güç
2	Sabit nesnenin ağırlığı	22	Enerji kaybı
3	Hareketli nesnenin boyutu	23	Madde kaybı
4	Sabit nesnenin boyutu	24	Bilgi kaybı
5	Hareketli nesnenin alanı	25	Zaman kaybı
6	Sabit nesnenin alanı	26	Maddenin miktarı
7	Hareketli nesnenin hacmi	27	Güvenilirlik
8	Sabit nesnenin hacmi	28	Ölçüm doğruluğu
9	Hız	29	Üretim hassaslığı
10	Kuvvet	30	Nesnenin etkilendiği zararlı faktörler
11	Gerilim/Basınç	31	Nesnenin ürettiği zararlı faktörler
12	Şekil	32	Üretim kolaylığı
13	Nesnenin yapısal kararlılığı	33	Operasyon kolaylığı
14	Dayanım	34	Tamir kolaylığı
15	Hareketli nesnenin eylem süresi	35	Adapte edilebilirlik
16	Sabit nesnenin eylem süresi	36	Aletin karmaşıklığı
17	Sıcaklık	37	Ortaya Çıkarma Zorluğu
18	Aydınlatma şiddeti	38	Otomasyon seviyesi
19	Hareketli nesnenin enerjiyi kullanması	39	Verimlilik
20	Durgun nesnenin enerjiyi kullanması		

TRIZ metodunda çelişkilerin ortadan kaldırılıp ideal sonuca ulaşmak için bazı ek araçlar kullanılmaktadır. Bunlardan biri 40 buluş prensibi olarak bilinen, problem çözümünde başlangıç noktasını oluşturan ve çözüm için ilk fikirlerin ortaya çıkmasına yardımcı olan temel çözüm önerileridir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. TRIZ 40 buluş prensibi

1	Dilimlemek, bölmek, parçalamak	21	Acele etme
2	Çıkarma, ayırma	22	Zararı yarara dönüştürme
3	Lokal Kalite	23	Geri-besleme
4	Asimetri	24	Aracı kullanma
5	Kaynaştırma, birleştirme	25	Kendi kendine hizmet
6	Evrensellik, genellik	26	Kopyalama
7	Birbirinin içine girebilme	27	Ucuz kısa ömürlü nesnelere
8	Ağırlık azaltma, dengeleme	28	Mekanik sistemin ikamesi
9	Başlangıçta eylemsizlik	29	Pnömatik ve hidrolik
10	Başlangıçta hareket	30	Esnek kabuklar ve ince filmler
11	Önceden güvenliliği sağlama	31	Gözenekli malzemeler
12	Alternatif potansiyellik	32	Renk değiştirme
13	Tersinden yapma	33	Homojenlik
14	Küresellik, eğrilik	34	Gözden çıkarma ve yeniden ele alma
15	Dinamik	35	Parametre değişikliği
16	Kısmi veya aşırı eylemler	36	Hal geçişleri
17	Diğer boyut	37	Isıl genişleme
18	Mekanik titreşim	38	Kuvvetli oksitlendiriciler
19	Periyodik hareket	39	Eylemsiz atmosfer
20	Yararlı hareketlerin sürekliliği	40	Kompozit malzemeler

TRIZ metodunda kullanılan bir başka araç ise çelişkiler matrisidir. Altshuller teknik sistemlerin gelişiminde karşılaşılan çelişkileri tanımlayarak bu matrisi oluşturmuştur. Çelişkileri ortadan kaldırmak için ise 40 adet çözüm (buluş) prensiplerini geliştirmiş ve çelişkiler matrisinde kesişen kutuların içerisine bu çözüm prensipleri yerleştirilerek problemin çözümü için yol göstermiştir.

Teknik sistemlerin temel özelliklerinin belirlenmesi ve 39x39 bir matris üzerine taşınması ile oluşturulmuş olan bu matriste soldan sağa doğru ve yukarıdan aşağıya doğru özellikler sıralanmıştır. Bu özellikler soldan sağa doğru ilerledikçe iyileşmekte, yukarıdan aşağıya doğru inildikçe ise kötüleşmektedir. Problemlerin çözümünde ise 40 buluş prensibinden uygun görülenler çelişkiler matrisinin hücrelerine konularak çözümler önerilir. Çelişkiler matrisi TRIZ metodunun veri tabanını oluşturmuştur. Çizelge 3.5'te çelişkiler matrisinin kısaltılmış hali görülmektedir.

Çizelge 3.5. Kısaltılmış TRIZ çelişkiler matrisi

		Kötüleşen Özellik								
		Geliştirilen Özellik								
		Hareketli nesnenin ağırlığı	Sabit nesnenin ağırlığı	Hareketli nesnenin boyutu	Sabit nesnenin boyutu	Hareketli nesnenin alanı	....	Ortaya Çıkarma Zorluğu	Otomasyon seviyesi	Verimlilik
		1	2	3	4	5	....	37	38	39
1	Hareketli nesnenin ağırlığı	X	-	15, 8 29, 34	-	29,17, 38, 34		28, 29 26, 32	26, 35 18, 19	35, 3 24, 37
2	Sabit nesnenin ağırlığı	-	X	-	10, 1, 29, 35	-		25, 28 17, 15	2, 26 35	1, 28 15, 35
3	Hareketli nesnenin boyutu	8, 15 29,34		X	-	15, 17, 4		35, 1 26, 24	17, 24 26, 16	14, 4 28, 29
4	Sabit nesnenin boyutu		35, 28 40, 29	-	X	-		26		30, 14 7, 26
5	Hareketli nesnenin alanı	2, 17 29, 4	-	14, 15 18, 4	-	X		2, 36 26, 18	14, 30 28, 23	10, 26 34, 2
∴	.....						X			
37	Kontrol karmaşıklığı	27, 26 28, 13	6, 13 28, 1	16, 17 26, 24	26	2, 13 18, 17		X	34, 21	35, 18
38	Otomasyon seviyesi	28,26, 18, 35	28,26, 10, 35	14,13, 17, 28	23	17, 14 13		34, 27 25	X	5, 12, 35, 26
39	Verimlilik	35,26, 24, 37	28,27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10,26, 34, 31		35,18, 27, 2	5, 12, 35, 26	X

Bu çalışmanın tasarım aşamasında TRIZ problem çözme yönteminden faydalanılmıştır. Koltuk yapısı bir sistem olarak ele alınmış ve iyileştirilmesi gereken yönler çelişkiler matrisinde incelenmiştir. Metodun önerdiği buluş prensipleri doğrultusunda bazı çözümlere gidilmiş ve elde edilen sonuçlar Bulgular kısmında açıklanmıştır.

3.3.1.2. Yolcu Koltuğunun Tasarımı

Bu çalışmada yolcu koltuğu mevcut tasarımlardan da faydalanılarak 3 nokta (omuz ve bel) emniyet kemer bağlantılı, sabit koltuk olarak CATIA V5 programında oluşturulmuştur (Şekil 3.12). Koltuk arkalık iskeletinde boru sistemi tasarlanmış ve arkalık kısmında yolcunun sırt dayadığı bölgeye destek amacıyla 1 mm kalınlığında sac ilave edilmiştir. Tutamak kısımları için koltuğun arkalık kısmında ve koridor tarafında kalacak koltuğun köşe kısmında özel bölgeler tasarlanmıştır.



Şekil 3.12. Hafifletilmiş yolcu koltuğunun CAD datası

Yeni tasarlanan koltuğun oturak iskeletinde bulunan sele bağlantı braketleri kaldırılmış ve plastik insört doğrudan şaseye monte edilecek şekilde tasarlanmıştır. Test ve analizlerde oldukça büyük gerilme değerlerine maruz kalan yan saclar yeni tasarımda kaldırılmıştır. Emniyet kemer bağlantı sacları iki koltuk arasındaki kısımda ve arkalık iskeletinde oluşturulmuştur.

Arkalık kısmında kullanılan borular diğer koltuk yapılarından farklı olarak koltuğun oturak kısmına kadar uzatılmış ve burada yekpare bir yapı oluşturulmuştur. Koltuğun modüler yapıya kavuşması adına arkalık iskeleti şaseye vidalı olarak bağlanmıştır. Bu sayede koltuk arkılığı istenilen diğer şaselerde de kullanılabilir hale gelmiştir.

3.3.2. Doğrulama Aşaması

Koltuğun katı modelinin hazırlanmasından sonra bilgisayar ortamında doğrulama süreçleri başlar. Bu aşama koltuğun üretilip fiziki testlerle doğrulaması şeklinde de yapılabilir ancak bu yöntem hem prototip maliyetleri hem de zaman açısından oldukça uzun ve maliyetlidir. Bu nedenle sonlu elemanlar metodu ile bilgisayar destekli analizlerde fiziki test koşulları bilgisayar ortamında kurgulanarak koltuğun doğrulaması yapılır. Böylece tasarımlarda ortaya çıkabilecek problemler üretim aşamasından önce tespit edilerek müdahale edilebilir. Kullanılan sonlu elemanlar metodu aşağıda açıklanmaktadır.

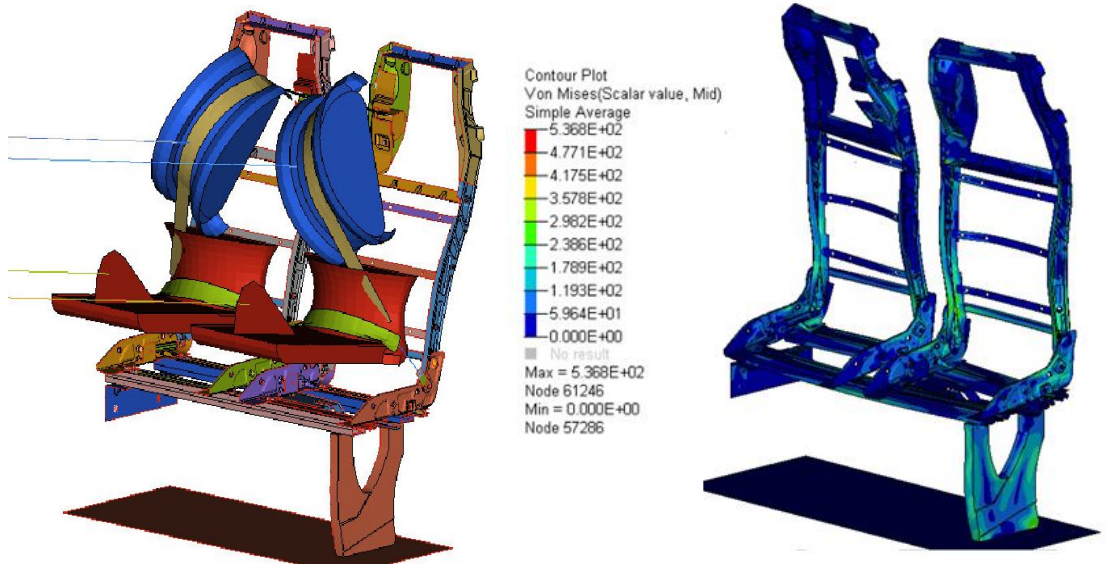
3.3.2.1. Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar metodu karşılaşılan problemlerin alt parçalara ayrılarak her bir parçanın kendi içerisinde çözümlenmesi esasına dayanan bir yöntemdir. Karışık geometrik yapıya sahip, farklı malzeme özellikleri ve yükleme koşullarında çalışan parçaların davranışlarını analitik yöntemler kullanarak hesaplamak mümkün değildir. Bu şekilde elde edeceğimiz sonuç yapının bütünü temsil etmez. Bu nedenle nümerik olarak hesaplama gerekmektedir. Nümerik hesaplamada parça eşit küçük sistemlere veya elemanlara (sonlu elemanlara) ayrılır ve bu elemanlar birbirlerine düğüm noktası (nod) adı verilen özel noktalar ile bağlanır. Bu şekilde bir sonlu elemanlar ağı (mesh) oluşur.

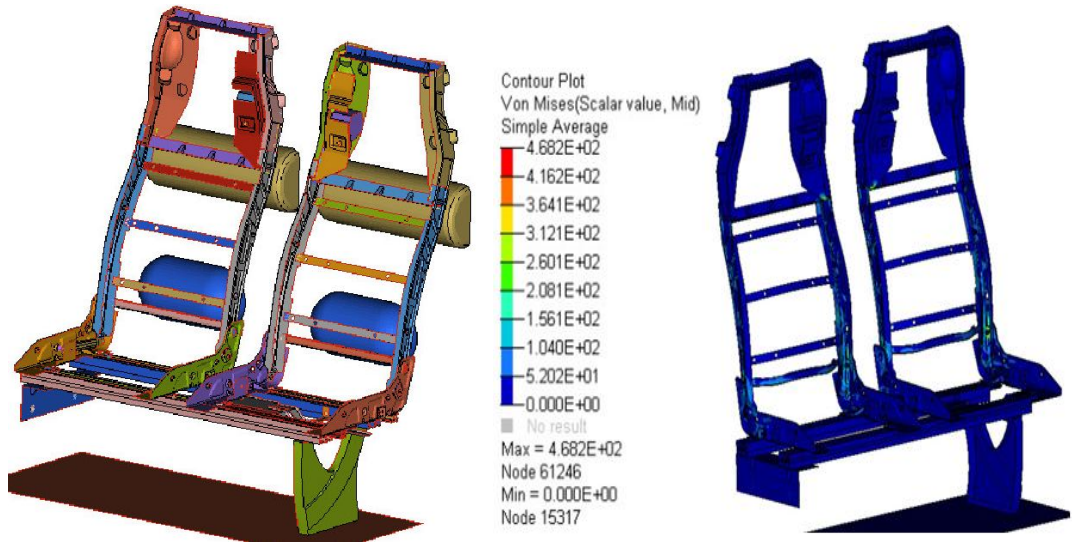
Sonlu elemanlar metodunda öncelikle bir elemana ait sistem özelliklerini içeren denklemlerin çıkartılması ve bu denklemlerin birleştirilerek tüm sistemi yansıtabilecek şekilde sisteme ait lineer bir denklem takımı elde edilmesi gereklidir. Bu metodun ilk basamağında düğüm noktalarının, koordinatların, elemanların birbirleri arasındaki sürekliliklerin, sınır şartlarının, yükler ve malzeme bilgilerinin programa tanıtılması gerçekleştirilir. Metodun ikinci basamağı olan çözüm safhasında ise problemin özelliğine göre gerekli hesaplamalar yapılarak çözümler elde edilir. En son aşaması ise elde edilen verilerin okunması ile grafiklerin çizilip deformasyonların belirlendiği değerlendirme aşamasıdır. Katı modeli oluşturulmuş olan yapıya uygulanacak olan sonlu elemanlar yöntemi aşağıdaki adımları içerir.

- 1) Analiz Tipinin Belirlenmesi: Yapının maruz kalacağı yüklere ve probleme göre analiz tipi seçilir (lineer, nonlineer)
- 2) Eleman Tipinin Belirlenmesi: Analiz edilecek olan yapının davranışlarına göre eleman tipi (çubuk, kabuk, kiriş vb.) eleman şekli (üçgen, dörtgen) ve eleman sayısı belirlenmelidir. Yapılacak olan analize göre bu parametrelerin belirlenmesi oldukça önemlidir.
- 3) Yapının Modellenmesi: Modelleme, bir yapı veya sürecin analitik veya sayısal olarak yeniden oluşturulmasıdır. Sonlu elemanlar metodunda modelleme sadece nokta ve elemanlardan oluşan ağ yapısı oluşturmak değildir. Yapının maruz kalacağı yükler ve çalışma koşullarının iyi bilinmesi ile problemin kusursuz tanımlanmasından sonra modelleme yapılmalıdır. Hatalı elemanlar ile hesap yapılması yapıdaki değişimleri doğru bir biçimde yansıtmazken aynı zamanda süre kaybına yol açar. Problemin çözümünde hesaplanması istenilen büyüklüğü ve hesaplama alanı içindeki değişimini yeterli doğrulukta verecek sıklıkta ve geometride eleman dağılımına ihtiyaç duyulur.
- 4) Sınır Şartlarının ve Başlangıç Koşullarının Belirlenmesi: Problemin statik, dinamik, çevrimsel uygulanan yükler, momentler, sıcaklıklar gibi sınır şartları ile analiz başlangıç koşullarının tanımlanmasıdır.
- 5) Analiz Sonuçlarının Yorumlanması: Analiz sonucunda yapının durumunun incelenerek ortaya çıkan deformasyonların ya da kopmaların gözlenmesi ve tasarıma müdahale edilmesidir.

Tasarım aşamasında koltuğun doğrulaması için regülasyonlardaki en önemli testler olan emniyet kemer çekme testi ve statik çarpışma testlerinin analizleri yapılmaktadır. Analizler sayesinde değişik zorlama koşullarındaki davranışlarının incelenmesi mümkün olmaktadır. Şekil 3.13 ve 3.14'te sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş örnek bir emniyet kemer çekme testinin ve statik çarpışma testinin analizi ve bu analizler sonucunda ortaya çıkan gerilme değerleri görülmektedir. Analizler incelenerek yapının hasara uğrayacak yerleri tespit edilir ve tasarımlarda bu bölgeler için önlemler alınır.



Şekil 3.13. Emniyet kemeri çekme testi analizi ve gerilme değerleri



Şekil 3.14 Statik çarpışma testi analizi ve gerilme değerleri

3.3.2.2. Koltuğun Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Bu çalışmada HyperMesh programı ile tasarlanan koltuğun her bir komponenti için sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve birleştirilmiştir. Sonlu elemanlar modeli oluşturulurken 2 ve 3 boyutlu elemanlar kullanılmıştır. Bağlantı kısımları türüne göre tanımlanmış olup örneğin kaynaklı kısımlar 1 boyutlu rijit elemanlar ile bağlanmıştır. Eleman tipi olarak kabuk (shell) tipi seçilmiştir ve kenar, köşe ve deliklerin bulunduğu yerlerde de mesh yoğunluğunun yeterli olabilmesi için karışık mesh atılmıştır.

3 nokta emniyet kemerli olarak tasarlanmış olan hafifletilmiş koltuğun sonlu elemanlar modelinde 26 507 eleman bulunmaktadır (Şekil 3.15). Emniyet kemerlerinin koltuğa bağlandığı noktalar sistemde ayrıca tanımlanmıştır.



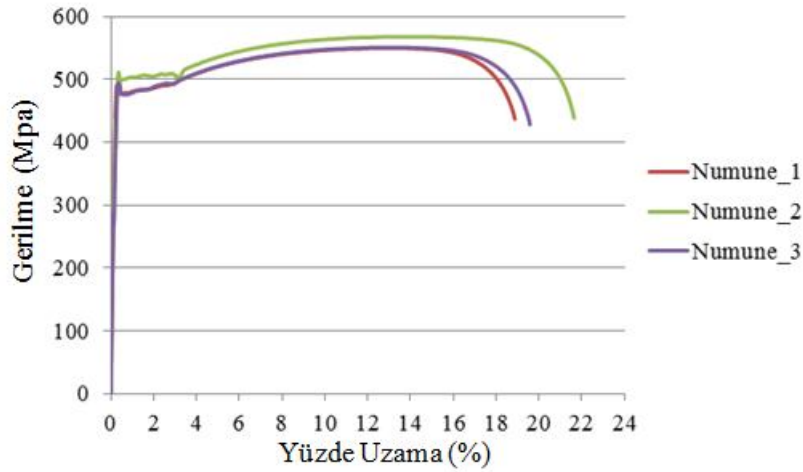
Şekil 3.15. Koltuğun sonlu elemanlar modeli

Tüm yapının modellenmesinin ardından her bir komponentin analiz sırasında birbirini tanıması adına contactlar oluşturulmuştur (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Sonlu elemanlar modelinde contactların tanımlanması

Sonlu elemanlar analizinde koltuk yapısında kullanılan malzemenin gerilme yüzde uzama miktarı, elastisite modülü, poisson oranı ve yoğunluk değerleri sisteme girilmiştir. S420MC çeliğinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için standartlara uygun çekme numuneleri üretilmiş ve çekme deneyleri yapılmıştır. Şekil 3.17’de örnek olarak 3 adet çekme numunesi için elde edilen gerilme-yüzde uzama grafiği görülmektedir.



Şekil 3.17. S420MC malzemenin gerilme-yüzde uzama miktarı

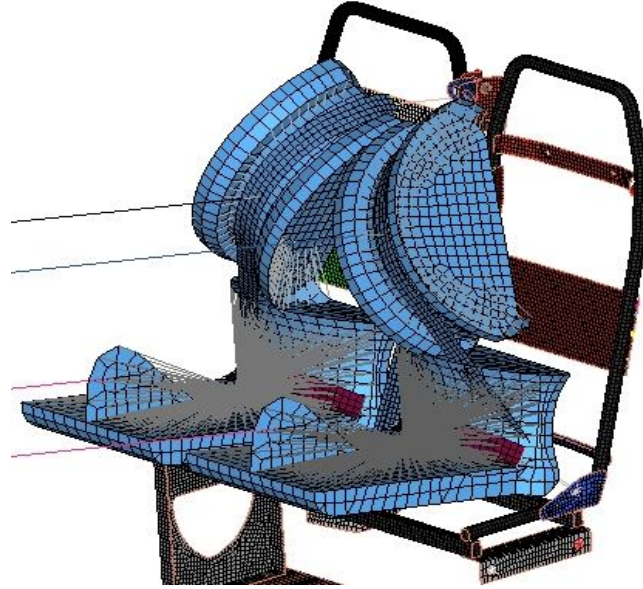
Geleneksel koltuklarda kullanılan St-37 çeliğinin ve yeni koltuk yapısında kullanılan S420MC yüksek alaşımlı çelik malzemenin literatürden alınmış olan mekanik özellikleri de göz önünde bulundurulmuştur (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Prototip koltukta kullanılan çeliğin mekanik özellikleri

S420MC Çeliğinin Mekanik Özellikleri			
Akma Mukavemeti [N/mm ²]	Çekme Mukavemeti [N/mm ²]	Uzama (%)	
		d<3 L ₀ = 80 mm (min)	d ≥ 3 L ₀ = 5.65x√S ₀
420 MPa	480-620 MPa	16	20
St-37 Çeliğinin Mekanik Özellikleri			
Akma Mukavemeti [N/mm ²]	Çekme Mukavemeti [N/mm ²]	Uzama (%)	
		d<3 L ₀ = 80 mm (min)	d ≥ 3 L ₀ = 5.65x√S ₀
235 MPa	360-510 MPa	19	24

3.3.2.3. Analizin Kurgulanması

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak koltuğun doğrulanması modelin oluşturulup analizin sınır şartlarının belirlenmesi ile mümkün olmaktadır. Modelin oluşturulmasından sonra analiz tipi belirlenmiştir. Yapılacak olan analiz zamana bağlı explicit non-lineer olarak seçilmiştir. ECE R14 normlarıyla belirlenmiş olan emniyet kemer çekme testi koltuğun doğrulanması için en önemli testlerden biri olduğu için bu çalışmada emniyet kemer çekme testi ilk doğrulama aşaması olarak ele alınmıştır. Bu normun gerektirdiği kuvvet değerleri sisteme girilmiştir. Emniyet kemer çekme testinde insan yapısını temsil eden bloklar oluşturulmuş ve sisteme tanımlanmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Emniyet kemer çekme testi modellemesi

ECE R14 regülasyonu ile belirlenen emniyet kemer çekme testi kuvvetleri gerekli sınır şartları ile sisteme girilmiştir. Bu şartlar arasında koltuk arkalık deplasmanı önemli bir parametredir. Arkalık iskeletinde bulunan emniyet kemer bağlantı noktasının 417 mm'den fazla deplasman yapmaması gerekmektedir. Ayrıca koltukta oluşacak olan yüzde uzama ile maksimum gerilme değerinin malzemenin sınır şartlarından fazla olmaması gerekmektedir. Bu değerler belirli bir emniyet katsayısı ile sisteme girilmiştir.

Sonlu elemanlar modeli kurgulandıktan sonra solver için inputlar yazdırılmış ve RADIOSS çözücüsüyle analiz koşturulmuştur ve HyperView programı ile koltuk üzerindeki deformasyonlar incelenmiştir.

Koltuğun sonlu elemanlar modeli oluşturulduktan sonra optimizasyon yöntemlerinden faydalanılarak hafifletme çalışmaları da yapılabilmektedir. Bu doğrultuda geliştirilmiş yazılımlar kullanılarak topoloji optimizasyonunda boşaltma yapılacak bölümler (design space) seçilerek çeşitli parçalarda hafifletmeler sağlanır. Analiz aşamasında tanımlanan time history'ler vasıtası ile yapıya gelen ve r1 boyutlu rigid ya da spring modellemelerinden okunan maksimum yükler incelenerek boşaltma yapılacak bölümler (design space) seçilir. Burada yapılacak boşaltmanın hangi kısıtlamalara göre yapılacağı belirlenmelidir. Seçilen parça Von Mises gerilme değerine göre değerlendirilerek malzeme boşaltımının hangi yönteme göre yapılacağı seçilmelidir.

Optimizasyon için sonlu elemanlar modeli oluşturulduktan sonra çözücü için input yazdırılır ve analiz koşturulur. Çözücü yaptığı iterasyonlar sayesinde belirlediğimiz maksimum Von Mises gerilmesini aşmadan yapıdan gerekli gördüğü yerleri boşaltır. Analiz bittikten sonra yeni tasarım incelenerek doğruluğuna karar verilir ve üretilebilirliği gözden geçirilir. Dizayn yapacak kişi tüm bu veriler doğrultusunda o yapıyı tekrardan CAD ortamında oluşturur. Optimizasyon sonucunda oluşan yapı sonlu elemanlar modeli oluşturularak tekrardan testlere tabi tutularak doğruluğundan kesin şekilde emin olunabilir.

Koltuk yapısında kullanılan St-37 çelik malzemeden üretilmiş boru ve profillerin hafifletilmesi amacıyla bu parçaların S420MC çeliğinden daha ince üretilmesi hedeflenmiştir. Hafif bir yapı olması için profillerin kalınlıkları azaltılırken aynı zamanda koltuğun rijitliğini koruması ve testlerden geçebilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda kullanılacak olan profil ve boruların üretilebilir olması da oldukça önemlidir.

Koltuğun şase kısmını oluşturan profillerde farklı kalınlıklar (1 mm, 1,5 mm, 2 mm ve 2,5 mm) sisteme tanımlanarak koltuk ECE R14 emniyet kemer çekme testi analizlerine tabi tutulmuştur. Bu analizlerin sonucunda koltuk testi geçen en ince profiller ile üretilmiştir.

4. BULGULAR

Çalışmada ortaya çıkan sonuçlar bu bölümde verilmiştir. İlk kısımda tasarım aşamasında TRIZ metodunun kullanılması ile elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. İkinci kısımda koltuk yapısında kullanılacak olan profillerin kalınlıklarının belirlenmesi aşamasında yapılan analizler değerlendirilmiş ve kalınlığın değişmesi ile yapıda ortaya çıkan durumlar açıklanmıştır. Son kısımda ise prototip üretimi gerçekleştirilen yolcu koltuğunun ECE R14 testinin analiz sonuçları ile test sonuçlarının değerlendirmesi yapılmıştır.

4.1. TRIZ Metodu Bulguları

Bu çalışmada yolcu koltuğu bir bütün olarak ele alınmış ve teknik bir sistem olarak düşünülmüştür. Geliştirilmesi istenen özellik olarak koltuğun güvenlik koşullarını sağlayacak mukavemet ve hafiflikte olması seçilmiştir. Bu durum göz önüne alınarak bu sistemi geliştirmek için yetersizliklerin temel fiziksel özellikler açısından ele alındığı 39 adet TRIZ mühendislik parametreleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda aşağıdaki gibi bir çelişki ortaya çıkmıştır.

“Koltuğun testlerden geçebilmesi ve istenilen mukavemet değerlerini sağlaması için dayanımının artırılması (14 numaralı parametre) fakat bu özelliği geliştirilmesi esnasında koltuk yapısında kullanılan malzemelerden dolayı ağırlığının artması (2 numaralı parametre)“

Bu çelişki parametreleri açıklanırsa;

- 14 No’lu parametre – Dayanım: Bir nesnenin uygulanan kuvvete karşı ne kadar direnç gösterdiğidir. Yani kırılmaya, kalıcı şekil değişimine karşı gösterdiği dirençtir. Bu parametre koltuk için geliştirilmesi istenilen bir özelliktir.
- 2 No’lu parametre – Sabit Nesnenin Ağırlığı: Yer çekimli bir alanda bir nesnenin kütesidir. Yani sistemi oluşturan gövdenin toplam ağırlığı olarak tanımlanmıştır. Bu özellik ise koltukta daha ağır malzemelerin kullanılması sonucunda kötüleşmektedir.

Bu iki parametrenin kesiştirildiği çelişkiler matrisinde belirlenmiş olan buluş prensipleri ise şunlardır;

- 26 Numaralı Buluş Prensibi – Kopyalama: Temini zor olan, pahalı, kırılğan, uygun olmayan nesnelere yerine, daha basit ve ucuz kopyalarının kullanılması ve bir nesnenin yerine görsel kopyaların kullanılması
- 40 Numaralı Buluş Prensibi - Kompozit Malzemeler: Yapının tek malzemedan, birçok parçadan oluşan kompozit malzeme ile üretilmesi

Koltuk iskeletini oluşturan çelik yapıyı ele alırsak; hafifletme amacıyla kullanılan malzemeyi azaltmak ve yapıyı inceltmek için kullanılan boru ya da profillerin kalınlıklarını azaltmayı düşünebiliriz. Bu durumda karşımıza ikinci bir çelişki çıkar;

Hafif olması için koltuk yapısında kullanılan boru veya profillerin kalınlıklarının azaltılması sonucunda sabit nesnenin boyunun azalması (4 numaralı parametre) geliştirilmesi istenilen özellik olur. Kötüleşen özellikler olarak Gerilim veya Basınç (11 numaralı parametre) ile Dayanım (14 numaralı parametre) ortaya çıkar.

Bu çelişkilerin çözümü için ise verilen buluş prensipleri aşağıdaki gibidir.

- 1 Numaralı Buluş Prensibi – Dilimlemek, bölmek, parçalamak: Nesneyi birbirinden bağımsız parçalara bölme, kolay bir şekilde demonte olmasını sağlayacak şekilde üretme, bölünme ve parçalanma derecesini arttırma
- 14 Numaralı Buluş Prensibi – Küresellik, eğrilik: Düz hatlı parçalar, yüzeyler, şekiller yerine, kavisli olanların kullanılması yani düz yüzeylerden, küresel yüzeylere; küp şeklindeki parçalar yerine küre şeklindeki yapılara geçilmesi, silindirlerin, topların, helezonların, kubbelerin kullanılması ve doğrusal hareketler yerine dönme hareketinin tercih edilmesi yani merkezkaç kuvvetinin kullanılması
- 15 Numaralı Buluş Prensibi – Dinamik: Bir nesnenin, dış çevrenin veya sürecin özelliklerinin en uygun olmak üzere değişmesi veya en uygun çalışma alanı bulması için tasarlanması, birbirine göre hareket edebilir parçalara bölünmesi ve katı ya da esnek değilse hareket edebilir ve uyarlanabilir olmasının sağlanması
- 35 Numaralı Buluş Prensibi – Parametre Değişikliği: Nesnenin fiziksel halinin değişmesi, konsantrasyonunu veya yoğunluğunun ve esneklik derecesinin değiştirilmesi

Bu çelişkilerin yanı sıra koltuk üretimi için başka çelişkilerde ortaya çıkmaktadır. Örneğin koltuğun istenilen güvenlik koşullarını sağlayacak şekilde üretilebilirliğini ele aldığımızda geliştirilmesi istenilen parametre yine Dayanım (14 numaralı parametre) olurken kötüleşen özellik ise Ortaya Çıkarma Zorluğu (37 numaralı parametre) olarak karşımıza çıkar. Bu çelişkinin çözümü içinde yine kompozit malzeme kullanma (40 numaralı buluş prensibi) önerilmiştir.

Koltuğun dayanımının geliştirilen özellik olarak ele alındığı çelişkiler matrisi incelendiğinde 40 numaralı buluş prensibi olan Kompozit Malzemeler ve 35 numaralı buluş prensibi olan Parametre Değişikliği öngörülen çözümler olarak öne çıkmaktadır. Bunların dışında dayanım, hafiflik, maliyet ve üretilebilirlik gibi özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla 1, 10, 14, gibi diğer buluş prensipleri de önerilmektedir. Bu çalışma içerisinde tasarım, malzeme ve üretim yöntemi seçiminde bu prensiplerden faydalanılmıştır. Tüm bu çelişkiler ve buluş prensipleri Çizelge 4.1'deki matrisle gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Koltuğa uygulanan TRIZ metodunun çelişkiler matrisi

		Kötüleşen Özellik			
		Sabit nesnenin ağırlığı	Gerilim/Basınç	Dayanım	Ortaya Çıkarma Zorluğu
		2	11	14	37
4	Sabit nesnenin boyutu	35, 28	1, 14 35	15, 14	26
14	Dayanım	26, 40	10, 3 18, 40	X	27, 3 15, 40

Koltuk arkalık iskeletinin tasarımı aşamasında hafifletme amacıyla kullanılan profillerin kalınlıkları azaltılırken TRIZ çelişkiler matrisindeki gerilim veya basınç parametresinin kötüleşmesini engellemek adına çözüm olarak sunulan 14 numaralı buluş prensibinden faydalanılmış ve bazı koltuklarda arkalık iskeletinde kullanılan profillerin yerine bu

çalışmada boru tercih edilmiştir. Böylece düz yüzeylerden kaçınılmış ve küresel yüzeyler kullanılmıştır.

Yine aynı çelişkinin çözümü için verilmiş olan 35 numaralı buluş prensibinden faydalanılmıştır. Bu prensibe göre nesnenin yoğunluğu veya konsantrasyonunun değiştirilmesi önerilmiştir. Bu doğrultuda yüksek mukavemetli çelik malzemeden üretilmiş boru ve profiller kullanılmış, daha hafif ve daha mukavim yapılar elde edilmiştir. Arkalık iskeletindeki borularda daha mukavim bir çelik kullanılmamasının sebebi ise boruların bükümünde karşılaşılan zorluk yani üretim zorluğu parametresi olarak karşımıza çıkmıştır.

TRIZ metodu kullanılarak elde ettiğimiz bir diğer sonuç ise 40 numaralı buluş prensibi olan kompozit malzeme kullanma seçeneğidir. Koltuğun dayanımının artması istenirken aynı anda bu dayanımı sağlamak için koltuğun ağırlığı da artmaktadır. Bu çelişkinin çözümü olan kompozit malzeme kullanımı hem mukavemeti hem de hafifliği sağlayan yapıların mümkün olduğunu göstermiştir. Bu doğrultuda çalışma içerisinde koltuk yapısının farklı bölgelerinde kompozit malzeme kullanılabileceği ortaya çıkmıştır.

Ortaya çıkan buluş prensipleri var olan tasarımlardan faydalanılarak ortaya çıkarılan hafifletilmiş yolcu koltuğunun final tasarımı Şekil 4.1’de görülmektedir.



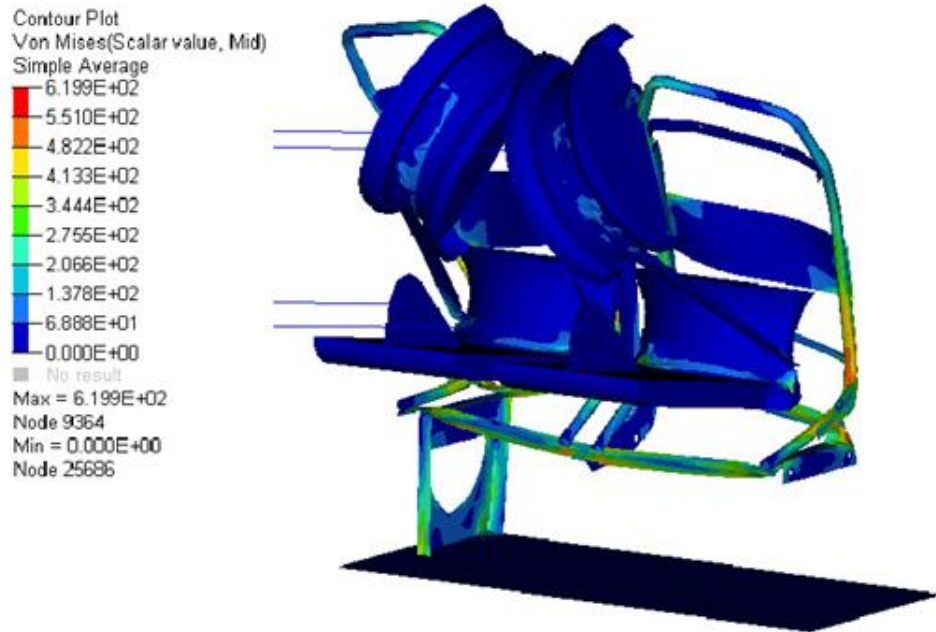
Şekil 4.1. Hafifletilmiş yolcu koltuğunun final tasarımı

4.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İlgili Bulgular

Hafifletilmiş yolcu koltuğunun şasesinde kullanılacak profillerin kalınlıkları sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiş ve en uygun kalınlıktaki profiller seçilip prototip üretimi gerçekleştirilmiştir.

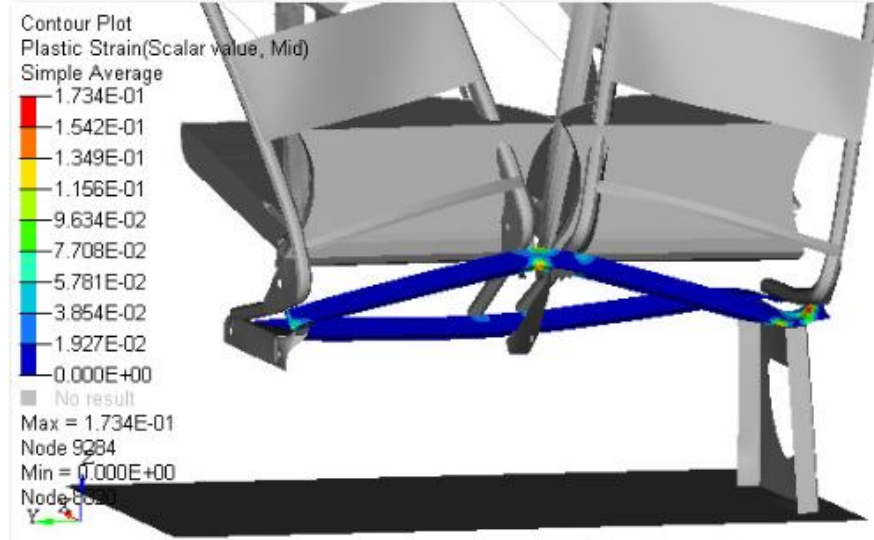
Koltuk şasesinde kullanılacak olan S420MC malzemeden üretilmiş profillerin kalınlıkları sonlu elemanlar analizleri sonucunda belirlenmiştir. Kullanılacak profillerde 4 farklı (1 mm, 1,5 mm, 2 mm ve 2,5 mm) kalınlık değeri için koltuğun sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve koltuğun onay alabilmesi için en önemli testlerden biri olan ECE R14 emniyet kemer çekme testi analizine tabi tutulmuştur. Simülasyonu yapılan koltuk 3 nokta emniyet kemerlidir. Bunun sebebi ise 3 nokta emniyet kemer testini sağlayan koltuk yapısının 2 nokta emniyet kemer çekme testinden de başarı ile geçmesidir.

Koltuğun analizlerden başarı ile geçebilmesi için koltukta oluşan gerilme değerleri, arkalık deplasmanı ve plastik şekil değiştirme oranı regülasyonlarda belirtilen sınırlar çerçevesinde incelenmiştir. İlk olarak şasede 1 mm kalınlığında profillerin kullanıldığı koltuk 3 nokta emniyet kemer çekme testi analizlerine tabi tutulmuştur. Analiz sonucunda oluşan koltuk yapısında oluşan gerilme değerleri Şekil 4.2’de verilmiştir.



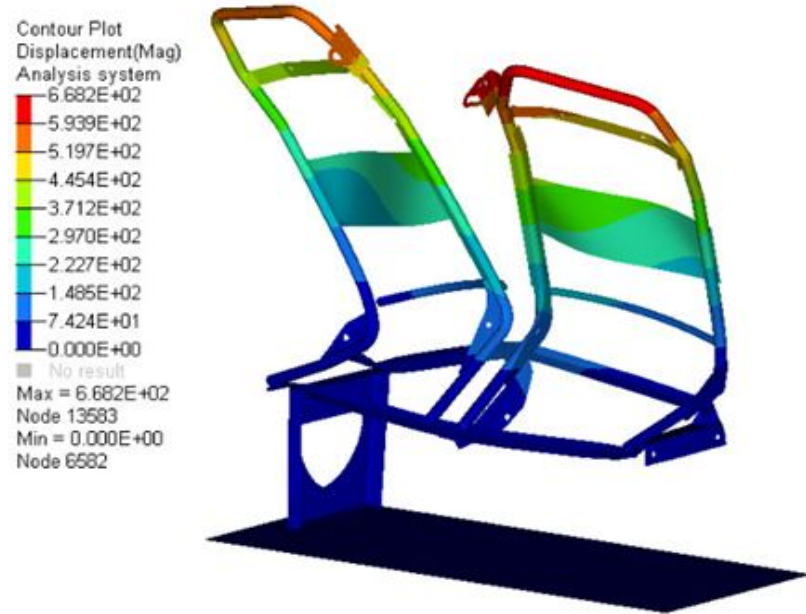
Şekil 4.2. 1 mm 'lik profillerin kullanıldığı koltuktaki gerilme değerleri

Analiz sonucunda maksimum gerilmenin yaklaşık 619 MPa değerinde olduğu ve koltuk şasesini oluşturan profillerin üzerinde meydana geldiği görülmüştür. Aynı koltukta maksimum plastik şekil değiştirme oranı %17,3 olarak çıkmıştır. Bu değerinde yine şasede kullanılan profillerin üzerinde oluşmuştur (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. 1 mm 'lik profillerdeki plastik şekil değiştirme oranı

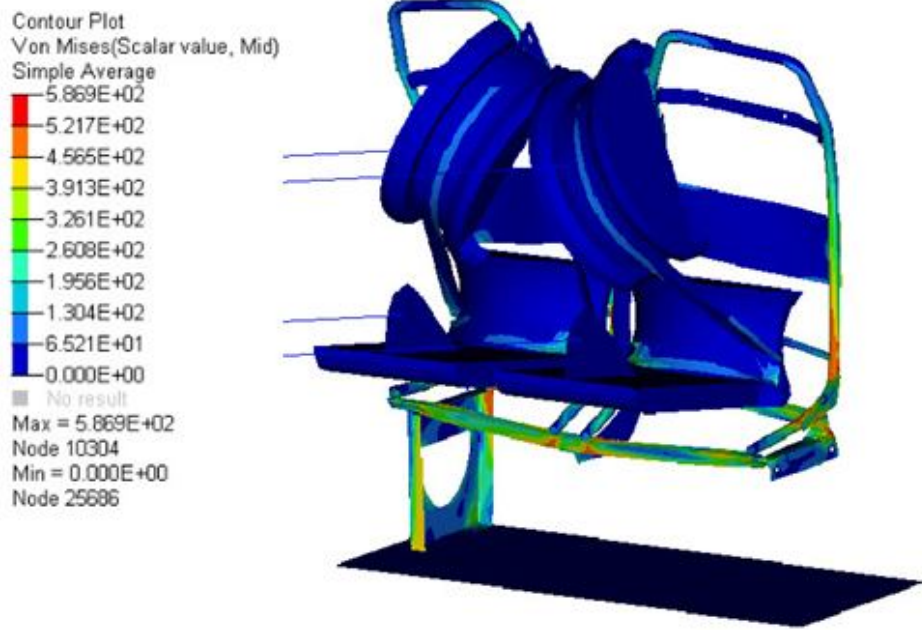
Ayrıca test sonucunda arkalık iskeletindeki maksimum deplasmanın yaklaşık 668 mm olduğu görülmüştür (Şekil 4.4).



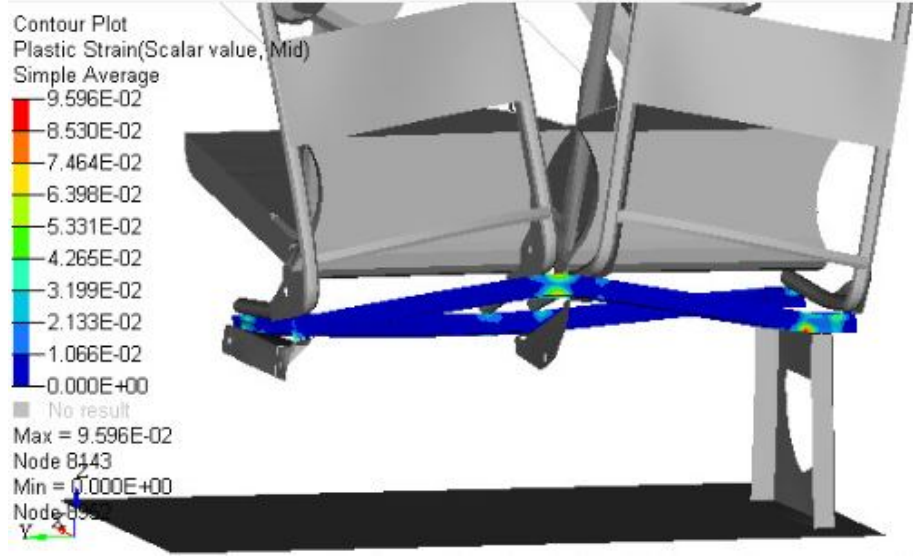
Şekil 4.4. 1 mm 'lik profillerin kullanıldığı koltuktaki arkalık deplasmanı

ECE R14 regülasyonuna göre arkalık iskeletinin yapacağı maksimum deplasman miktarının 417 mm'yi geçmemesi gerekmektedir. 1 mm kalınlığında profillerin kullanıldığı bu koltukta bu değer 668 mm olarak çıktığı için koltuk testleri geçememiştir. Ayrıca maksimum plastik şekil değiştirme oranı maksimum gerilme değerleri de yapıda kullanılan malzemenin sınır şartlarından fazla çıktığı için güvenilir değildir. Bu nedenlerden dolayı 1 mm kalınlığındaki profillerin kullanılmasının uygun olmadığı görülmüştür.

İkinci olarak 1,5 mm kalınlığındaki profillerin kullanıldığı koltuk yapısı analize tabi tutulmuştur. Bu yapıdaki maksimum gerilme yine koltuk şasesindeki profiller üzerinde görülmüştür. Maksimum gerilme değeri ise 586 MPa olmuştur (Şekil 4.5). Bu değer malzemenin çekme mukavemet sınırları içerisinde. Maksimum plastik şekil değiştirme oranı ise %9,5 olarak çıkmıştır. Bu değerde yine şasede kullanılan 1,5 mm kalınlığındaki profillerin üzerinde oluşmuştur (Şekil 4.6).

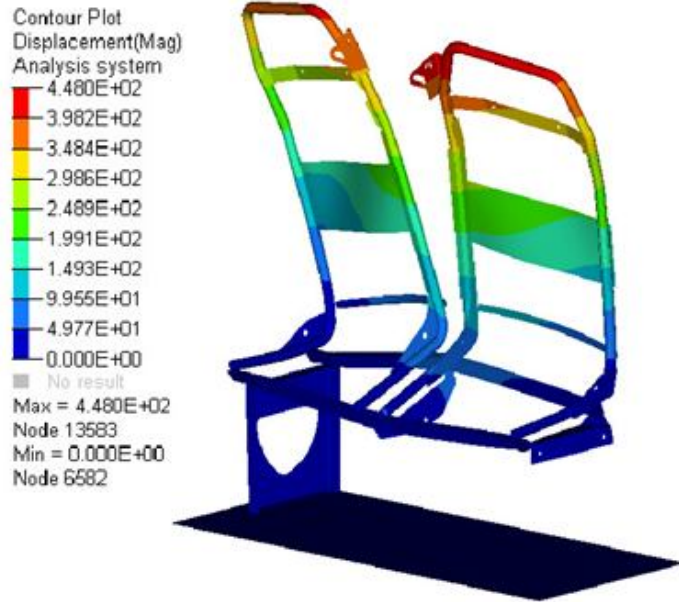


Şekil 4.5. 1,5 mm 'lik profillerin kullanıldığı koltuktaki gerilme değerleri



Şekil 4.6. 1,5 mm' lik profillerdeki plastik şekil değiştirme oranı

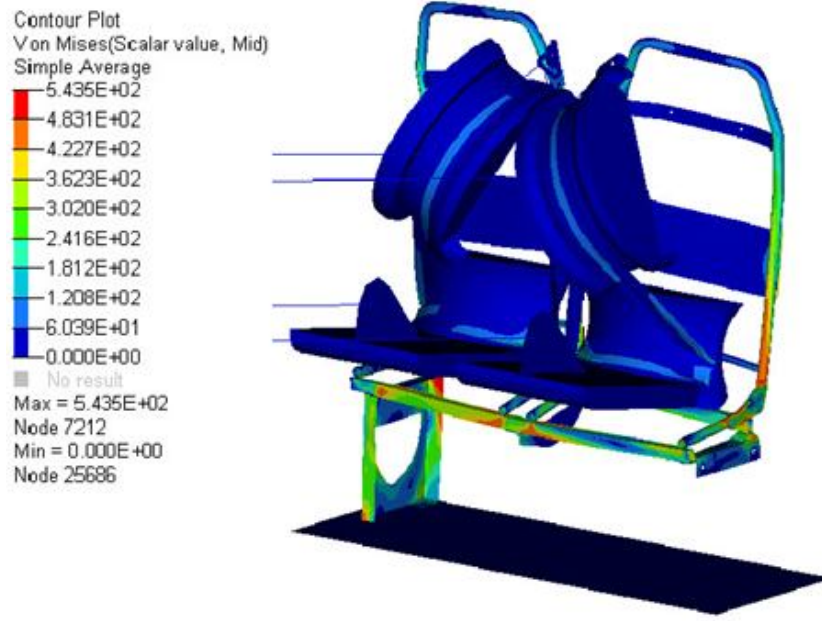
Bu koltuğun maksimum arkalık deplasmanı 448 mm çıkmıştır. Fakat regülasyonlara göre ölçüm yapılan nokta arkalık iskeletindeki emniyet kemer bağlantı noktaları olduğu için bu kısımdaki deplasman dikkate alınmalıdır. Bu kısımdaki deplasman ise yaklaşık 390 mm'dir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. 1,5 mm 'lik profillerin kullanıldığı koltuktaki arkalık deplasmanı

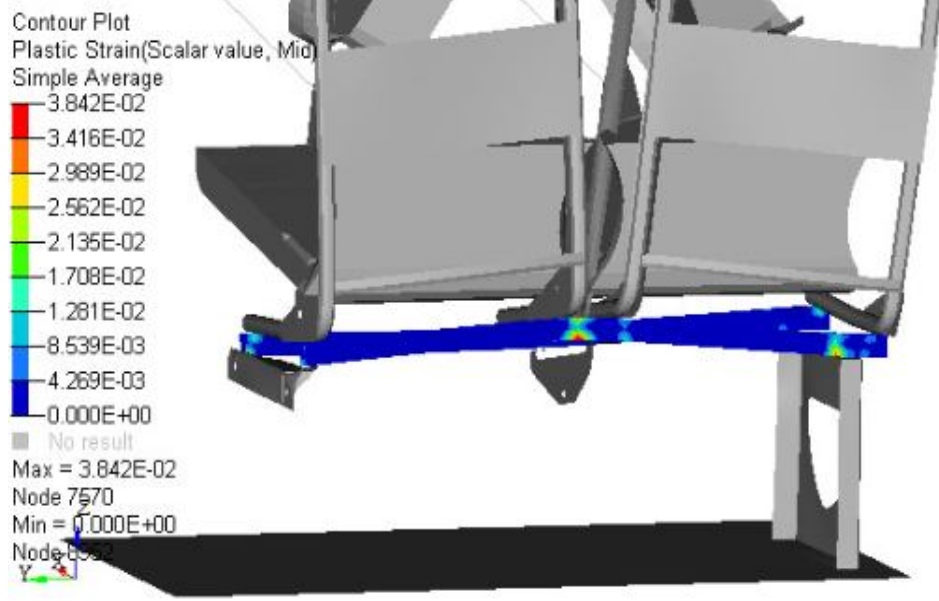
Bu analizin sonucunda elde edilen gerilme ve plastik şekil değiştirme değerleri malzemenin mukavemet sınırları içerisindedir. Koltuk arkalık deplasmanının da regülasyonda belirtilen 417 mm sınırını aşmadığı görülmüştür.

Sonraki aşamada 2 mm kalınlığındaki profillerden oluşmuş koltuk yapısı 3 nokta emniyet kemer çekme analizine tabi tutulmuştur. Bu yapıda ortaya çıkan maksimum gerilme değerinin ise yaklaşık 543 MPa olduğu görülmüştür (Şekil 4.8). Fakat bu analizde ortaya çıkan maksimum gerilme 1 ve 1,5 mm kalınlığındaki profillerin kullanıldığı koltuklardan farklı olarak şasenin ayakla bağlandığı bölgede ortaya çıkmıştır. Profil üzerinde oluşan maksimum gerilme ise 520 MPa'da kalmıştır.



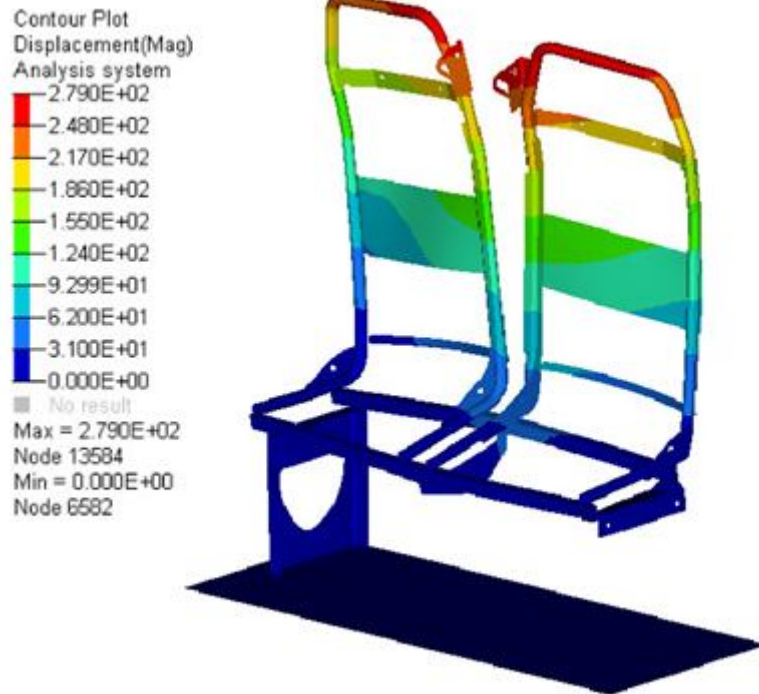
Şekil 4.8. 2 mm 'lik profillerin kullanıldığı koltuktaki gerilme değerleri

Bu yapıdaki maksimum plastik şekil değiştirme oranının ise yaklaşık %5,2 olduğu görülmüştür (Şekil 4.9). Şasede kullanılan 2 mm kalınlığındaki profillerde ise bu değer %3,8'de kaldığı görülmüştür Bu değerler yapıda kullanılan malzemenin mukavemet sınırları içerisindedirler.



Şekil 4.9. 2 mm' lik profillerdeki plastik şekil değiştirme oranı

Yapının arkalık iskeletindeki maksimum deplasman değeri 279 mm çıkmıştır. Emniyet kemerinin bağlantı bölgelerinde ise deplasmanın yaklaşık olarak 250 mm olduğu görülmüştür (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. 2 mm 'lik profillerin kullanıldığı koltuktaki arkalık deplasmanı

Son olarak 2,5 mm kalınlığındaki profillerden oluşmuş koltuk emniyet kemer çekme testi analizine tabi tutulmuş ve gerilme, plastik şekil değiştirme ile arkalık deplasman miktarları incelenmiştir. Tüm bu analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

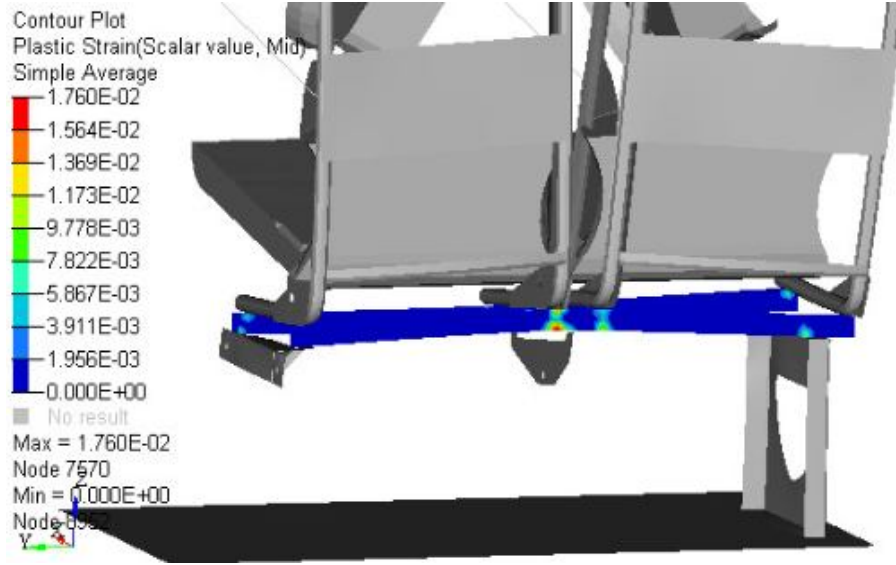
Çizelge 4.2. Farklı kalınlıklardaki profillerin analiz sonuçları

	Profil Kalınlığı			
	1 mm	1,5 mm	2 mm	2,5 mm
Koltuktaki Maksimum Gerilme Miktarı (MPa)	619	586	543	514
Koltuktaki Maksimum Plastik Şekil Değiştirme Oranı (%)	17,3	9,5	5,2	5,4
Profildeki Maksimum Gerilme Miktarı (MPa)	619	586	521	479
Profildeki Maksimum Plastik Şekil Değiştirme Oranı (%)	17,3	9,5	3,8	1,7
Arkalık İskeletindeki Deplasman Değeri (mm)	668	448	279	224

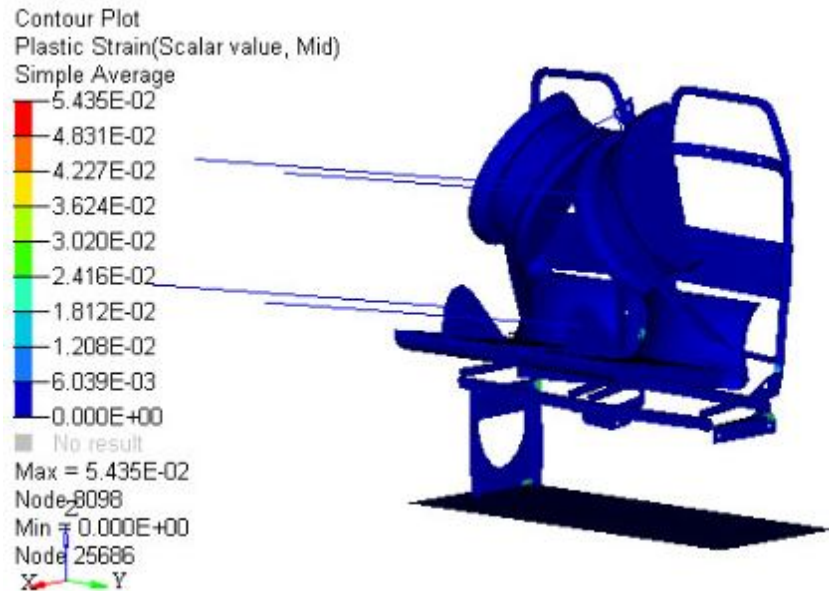
Yapılan analizlerin sonucunda 1 mm kalınlığındaki profillerden oluşmuş yapıda analiz esnasında çok yüksek gerilme değerleri ortaya çıkmış ve kopmalar yaşanmıştır. 2 ve 2,5 mm kalınlığındaki profiller ise yapının rijitliğini sağlamış fakat hafif olması istendiği için tercih edilmemiştir. 1,5 mm kalınlığında profillerin kullanılması ile analiz sonucunda ortaya çıkan gerilme değerleri ve deformasyon miktarları regülasyonlardaki belirtilen sınırlar içerisinde kalmıştır. Böylece en uygun kalınlığın 1,5 mm olduğu görülmüştür.

Analizlerde kalınlığının artması sonucunda profillerde oluşan plastik şekil değiştirme miktarının azaldığı görülmüştür. Plastik şekil değiştirme oranı en fazla 1 mm’lik profillerde görülmüştür. 1 mm ve 1,5 mm kalınlığındaki profillerin kullanıldığı analizlerden farklı olarak 2 mm ve 2,5 mm kalınlığındaki profillerin kullanıldığı

analizlerde tüm koltuk yapısındaki maksimum plastik şekil değiştirme şasesde kullanılan profillerde olmadığı görülmüştür. Örneğin şasesde 2,5 mm kalınlığında profil kullanıldığında bu profillerde meydana gelen plastik şekil değiştirme miktarının %1,7 olduğu görülmüştür (Şekil 4.11). Fakat tüm koltuk yapısına bakıldığında maksimum değer yaklaşık %5,4 olduğu görülmüştür (Şekil 4.12). Buradan profil kalınlığı arttıkça koltuğun başka bölgelerinde lokal yırtılmaların olabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.11. 2,5 mm' lik profillerdeki plastik şekil değiştirme oranı

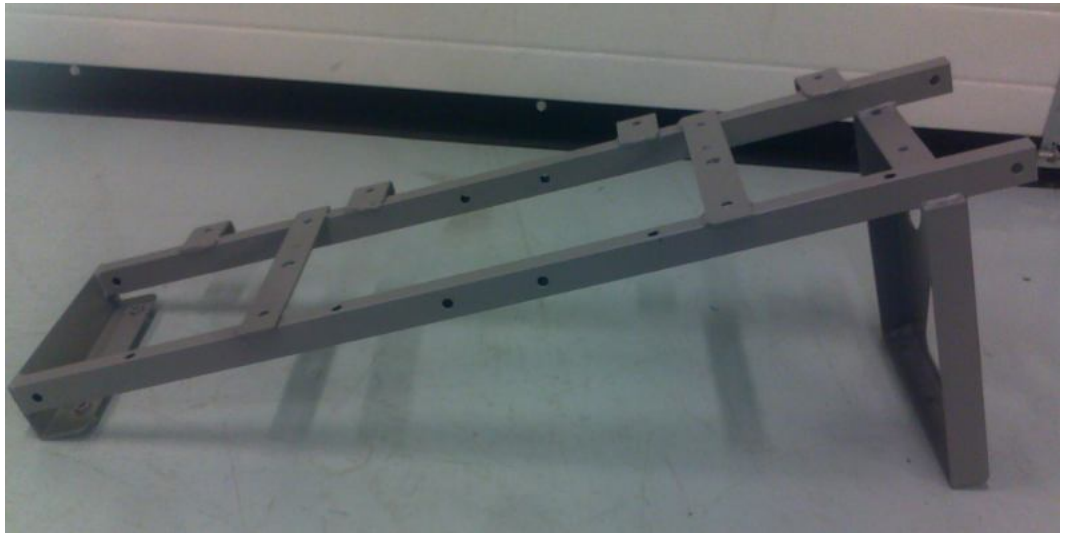


Şekil 4.12. 2,5 mm' lik profillerin kullanıldığı koltukta plastik şekil değiştirme

Koltuk şasesinde kullanılan profilin kalınlığının artması ile koltuğun tümündeki maksimum gerilme değerin düştüğü görülmüştür. 1 ve 1,5 mm kalınlığındaki profiller kullanıldığında koltuk yapısındaki maksimum gerilme profillerin üzerinde oluşmaktadır. Ancak 2 ve 2,5 mm kalınlığındaki profiller kullanıldığında maksimum gerilmenin koltuğun farklı bölgelerinde oluşu gözlenmiştir.

Koltuk şasesinde kullanılan profillerin kalınlığı arttıkça arkalık iskeletindeki deplasmanın azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi ise yeni tasarımda arkalık iskeletini oluşturan boruların bükülerek oturak kısmının ucuna kadar gelmesidir. Böylece şase arkalık iskeletini desteklemekte ve deplasman miktarı azalmaktadır.

Yapılan analizlerin sonucunda koltuk şase ve arkalık iskeletinde kullanılacak olan malzemelerin kalınlıklarına ve tasarımdaki yapılacak değişikliklere karar verilmiştir. Analizler sonucunda 2 mm kalınlığındaki St-37 çeliğinden üretilmiş profillerin yerine mukavemet değerini sağlayan 1,5 mm kalınlığındaki profiller kullanılmıştır. Şase prototip olarak üretilmiş ve ayak kaynatılmıştır (Şekil 4.13). Eski koltuk şasesinden farklı olarak yan saclar kaldırılmıştır. Koltuk selesinin bağlandığı braketler kaldırılmış ve sele doğrudan koltuk şasesinin üzerine montelenecek hale gelmiştir.



Şekil 4.13. Prototip koltuğun şasesi

Yeni koltuğun arkalık iskeletinde ise farklı iki yapı kullanılmıştır. 2 nokta emniyet kemeri olan koltuklarda arkalık iskeletine emniyet kemer çekme testinde herhangi bir kuvvet etkilemediği için 2 mm kalınlığında S420MC malzemedan üretilmiş borular

kullanılmıştır. 3 nokta emniyet kemerine sahip koltuklarda ise emniyet kemer çekme testinde arkalık iskeletine büyük kuvvetler etkilediği için bu yapı iç içe geçmeli olarak tasarlanmıştır. Ayrıca arkalık iskeleti yekpare olarak oturak kısmına kadar uzatılmıştır (Şekil 4.14). Üretilen bu arkalık iskeleti vida bağlantısı ile koltuk şasesine bağlanmaktadır. Bu sayede modüler bir yapı oluşmuştur. Yani farklı şase yapılarında aynı iskelet kullanılabilir.



Şekil 4.14. Prototip koltuğun arkalık iskeleti

4.3. Test ve Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

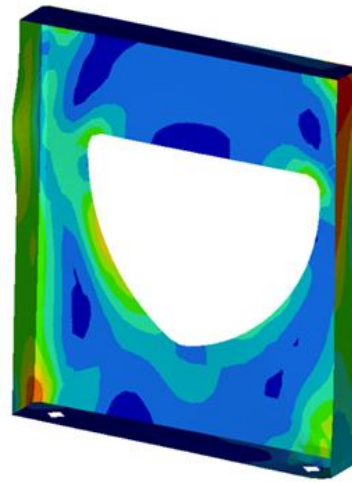
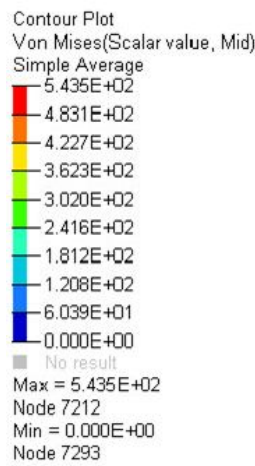
Analiz sonuçlarına göre 1,5 mm kalınlığındaki profillerden koltuğun prototip üretimi gerçekleştirilmiş ve ECE R14 emniyet kemer çekme testi uygulanmıştır. Elde edilen gerçek test sonuçları ile yapılan analizlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Son olarak emniyet kemer çekme testini geçen koltuk statik çarpışma ve enerji dağılım testlerine tabi tutulmuştur.

Prototip üretimi gerçekleştirilen hafifletilmiş yolcu koltuğu ilk olarak ECE R14 üç nokta emniyet kemer çekme testine tabi tutulmuştur (Şekil 4.15). Tasarım aşamasında yapılan analizler ile gerçek testin sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.15. Prototip koltuğun ECE R14 test görüntüsü

Öncelikli olarak koltuğun araç ile bağlantısını sağlayan koltuk ayağının test ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. ECE R14 normuna göre sonlu elemanlar analizi yapılmış ve bu yapıda meydana gelen gerilme değerleri ve kritik bölgeler belirlenmiştir (Şekil 4.16). Analizleri geçen ayağın S420MC malzemedan üretilmiş prototipi koltuk yapısıyla birlikte teste tabi tutulmuştur. Analiz ve test sonuçlarının uyumlu olduğu, aynı bölgelerde deformasyonların oluştuğu görülmüştür (Şekil 4.17).

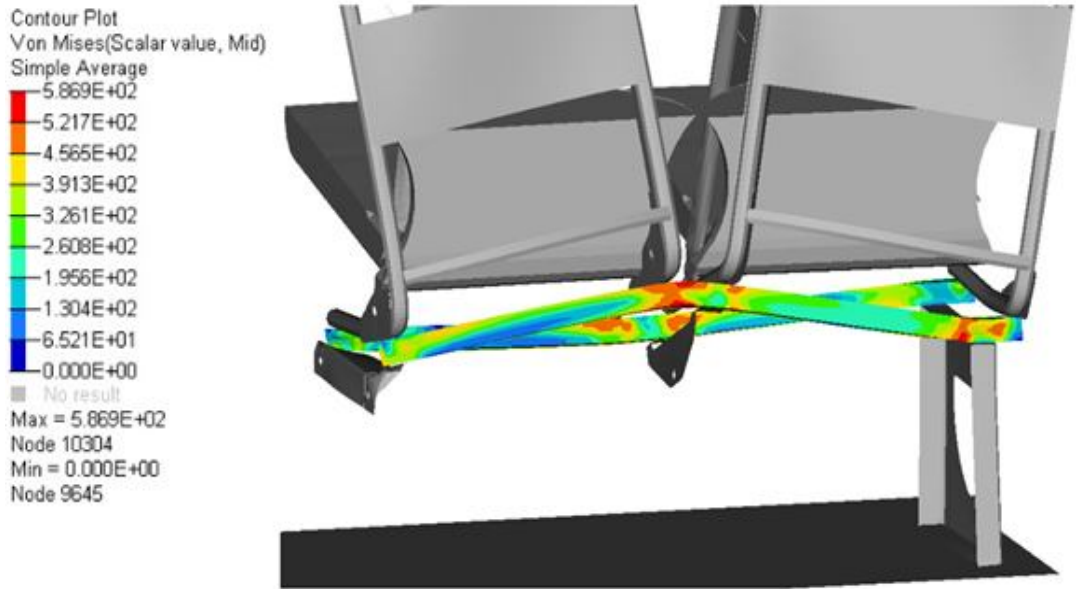


Şekil 4.16. Koltuk ayağında oluşan gerilme değerleri



Şekil 4.17. Prototip koltuğun ayağının test sonrası görüntüsü

Koltuk şasisinde yapıda analizler sonucunda en kritik olan bölgelerin şaseyi oluşturan profiller ve koltuk ayağının şasiye kaynatıldığı bölgeler olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.18). Buradaki gerilme kuvvetlerinin fazla olmasının nedeni de emniyet kemer bağlantı sacının burada olması ve emniyet kemer çekme testinde buralardan kuvvet uygulanıyor olmasıdır. Yapılan fiziki testler sonucunda da en büyük deformasyonun bu kısımlarda olduğu görülmüştür(Şekil 4.19).

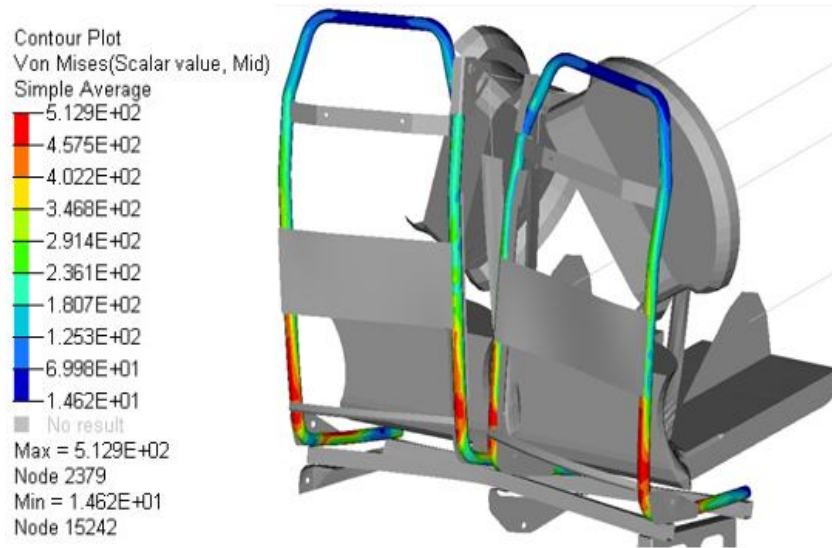


Şekil 4.18. Koltuk şasisinde oluşan gerilme değerleri



Şekil 4.19. Prototip koltuğun şasisinin test sonrası görüntüsü

Emniyet kemer çekme testi ve statik çarpışma testi için koltuğun bir diğer kritik kısmı arkalık iskeletidir. Bu yapının çekme testi için belirli bir mukavemet değerine sahip olması istenirken aynı zamanda statik çarpışma testi içinde belirli bir oranda esnemesi istenmektedir. Emniyet kemer çekme testi analizlerinde arkalık iskeletindeki gerilme değerleri 510 Mpa'a kadar çıkmıştır (Şekil 4.20). Bu gerilme değerlerinin sırtlık kısmının kenar borularında yoğunlaştığı görülmüştür. Yapılan fiziki testlerde de aynı bölgelerde deformasyonların olduğu görülmüştür (Şekil 4.21).



Şekil 4.20. Koltuk arkalık iskeletinde oluşan gerilmeler



Şekil 4.21. Prototip koltuğun arkalık iskeletoninin test sonrası görüntüsü

Sonuç olarak, prototip üretimi gerçekleştirilen hafifletilmiş yolcu koltuğu 2 nokta emniyet kemer çekme testini hem M2 (minibüs) hem de M3 (otobüs) sınıfı araçlar için sağlamıştır (Şekil 4.22). 3 nokta emniyet kemer çekme testini ise M3 sınıfı araçlar için sağlamıştır. Enerji dağılım testi ile statik çarpışma testlerinden de başarı ile geçmiş ve üretim için onay almıştır.



Şekil 4.22. Prototip koltuğun test sonrası görüntüsü

5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Hafifletilmesi istenen koltuğun tasarım aşamasında TRIZ problem çözme metodu kullanılmış ve bunun sonucu olarak koltuk yapısında yüksek mukavemetli çelik malzeme kullanılmıştır. Arkalık iskeletinde bazı koltuklarda kullanılan profil yapısının yerine boru tercih edilmiştir. Ayrıca koltuğun bazı parçalarında kompozit malzemelerin kullanılabileceği fakat maliyetlerin değerlendirilmesi gerektiği görülmüştür.

Yapılan analizler sonucunda profillerin kalınlığı arttıkça yüzde uzama miktarlarının azaldığı görülmüştür. Ayrıca koltuk şasesine montelenen arkalık iskeletinin deplasman miktarı da şasenin rijitliğinin artması ile azalmıştır. Kullanılan profillerin kalınlığının artması ile bu profillerde oluşan maksimum gerilme değerlerinin düştüğü görülmüştür. Koltuk şasesinde kullanılacak olan profillerin kalınlıkları analiz sonuçlarına göre 1,5 mm olarak belirlenmiş ve bu yapı testlerden başarı ile geçmiştir.

Prototip üretimi gerçekleştirilen koltuk M3 sınıfı araçlara uygulanan 2 ve 3 nokta emniyet kemer çekme testlerinden başarı ile geçmiştir. M2 sınıfı araçların ise 2 nokta emniyet kemer çekme testinden başarı ile geçmiştir. Ayrıca statik çarpışma testini ve enerji dağılım testini de başarı ile geçen hafifletilmiş yolcu koltuğu üretim için onay almıştır.

Referans alınan koltuğun ayak kaynatılmış şase yapısının ağırlığı yaklaşık 8 kg iken yeni koltukta bu şase yaklaşık 5 kg ağırlığındadır. Bu kısımda yaklaşık %37 oranında bir hafifletme sağlanmıştır.

Arkalık iskeletinde 2 farklı yapı kullanılmış olup farklı hafifletmeler elde edilmiştir. Referans alınan koltuğun arkalık kısmının aksesuarsız ağırlığı yaklaşık 5 kg'dır. Yeni koltukta bu kısmın ağırlığı yaklaşık 4 kg'dır. 2 nokta emniyet kemerli koltukların arkalık kısmında yaklaşık %20 oranında hafifletme sağlanmıştır.

3 nokta emniyet kemerli koltukların arkalık kısmında ise iç içe boru geçirildiği için hafifletme sağlanamamıştır. Fakat eski yapılarda arkalık iskeletinin kenarlarına kaynatılan saclar ile mukavemeti arttırılırken yeni yapıda böyle bir takviyeye ihtiyaç duyulmamıştır.

Kullanılan arkalık iskeletinde ince boru kullanılması ve suntanın kaldırılıp yerine plastik malzeme konularak köpük miktarının azaltılması ile yaklaşık 18 mm daha ince bir yapı elde edilmiştir. Bu sayede araç içerisinde iki koltuk arasındaki mesafe arttırılmıştır.

Kapsamlı bir ar-ge projesinin bir çıktısı olan bu çalışmanın dışında, ileriki aşamalarda alüminyum ve kompozit malzemeler koltuk yapısında kullanılarak elde edilen hafifletme oranı arttırılacaktır.

6. KAYNAKLAR

Anonim, 2001. Motorlu Araçların Koltukları, Bağlantıları ve Koltuk Başlıkları ile İlgili Tip Onayı Yönetmeliği. <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.6444&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=koltuk-> (Erişim Tarihi: Mayıs 2013).

Anonim, 2004. Technologies for Carbon fibre reinforced modular Automotive Body Structures, <http://www.mtm.kuleuven.be/Onderzoek/Composites/projects-> (Erişim Tarihi: Mayıs 2013)

Anonim, 2009. Low Carbon Vehicle Technology Project, http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/mediacentre/wmgcorporatebrochures/lcvtp_brochure_final.pdf - (Erişim tarihi: Mayıs 2013)

Anonim, 2010. U.S. Energy Information Administration, International Energy Outlook 2010, Report Number: DOE/EIA-0484(2010) USA.

Anonim, 2011. International Council on Clean Transportation Global Passenger Vehicles Program, Global Light-duty Vehicles: Fuel Economy and Greenhouse Gas Emissions Standards 2011.

Anonim, 2012. EU Transport in Figures. Statistical Pocket Book 2012. <http://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/doc/2012/pocketbook2012.pdf> - (Erişim Tarihi: Nisan 2013).

Anonim, 2013. Triz Foundations. http://www.ideationtriz.com/TRIZ_foundations.asp - (Erişim Tarihi: Mayıs 2013).

Anonim, 2013. U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2013, Report Number: DOE/EIA-0383(2013) USA.

Arıcasoy, O. 2006. İstanbul Ticaret Odası - Kompozit Sektör Raporu. İstanbul

Atabani, A.E., Badruddin, I.A., Mekhilef, S. 2011. A review on global fuel economy standards, labels and technologies in the transportation sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 4586– 4610

Bandivadekar, A., Bodek, K., Cheah, L. 2008. On the Road in 2035- Reducing Transportation's Petroleum Consumption and GHG Emissions, Report Laboratory for Energy and the Environment Massachusetts Institute of Technology

Bartus, S.D., Vaidya, U.K., Ulven, C.A. 2006. Design and Development of a Long Fiber Thermoplastic Bus Seat. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 2006 19: 131

- Bastani, P., Heywood, J.B., Hope, C. 2012.** U.S. CAFE Standards Potential for meeting light-duty vehicle fuel economy targets, 2016-2025. MIT Energy Initiative Report
- BCC, 2011.,** Lightweight Materials in Transportation, Report No: AVM056B. <http://www.bccresearch.com/pressroom/report/code/AVM056B> [Erişim Tarihi: Mayıs 2013]
- Belevi, M., İnançer, G.2008.** Darbe ve Ortam Sartlarının Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkileri. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2008 (4) 19-31*
- Berger, L., Jaranson, J., Houston, D. 2011.** Automotive Composites Consortium: Focal Project 4: Structural Automotive Components from Composite Materials Advanced Materials and Processing of Composites for High Volume Applications. Project ID #LM046
- Bjelkengren, C. 2008.** The Impact of Mass Decoupling on Assessing the Value of Vehicle Lightweighting, *Master of Science in Materials Science and Engineering Master of Science in Engineering Systems*, Massachusetts Institute of Technology, USA
- Cheah, L., Evans, C., Bandivadekar, A., Heywood, J. 2007.** Factor of Two: Halving the Fuel Consumption of New U.S. Automobiles by 2035. Laboratory for Energy and Environment, Publication No. LFEE 2007-04 RP Massachusetts Institute of Technology
- Cheah, L. 2010.** Cars on a Diet: The Material and Energy Impacts of Passenger Vehicle Weight Reduction in the U.S. *Doctor of Philosophy in Engineering Systems*, The Massachusetts Institute Of Technology, USA
- Cheah, L., Heywood, J. 2011.** Meeting U.S.passenger vehicle fuel economy standards in 2016 and beyond, *Energy Policy 39(2011)454–466*
- Colombo, C., Vergani, L. 2010.** Experimental and numerical analysis of a bus component in composite material. *Composite Structures 92 (2010) 1706–1715*
- Ducker Worldwide, 2011.** Aluminum in Transportation, Aluminum in North American Light Vehicles 2012 - Executive Summary
- EAA, 2011.** European Aluminium Association, The Aluminium Automotive Manual 2011, Design with Aluminium - <http://www.alueurope.eu/wp-content/uploads/2012/03/AAM-Design-2-Design-with-aluminium.pdf> - (Erişim Tarihi: Mart 2013)
- EAA, 2012.** European Aluminium Association. Aluminum in Cars – Unlocking the Light-Weighting Potential, Brussels- <http://www.alueurope.eu/wp-content/uploads/2012/10/EAA-Aluminium-in-Cars-Unlocking-the-light-weighting-potential.pdf> - (Erişim tarihi: Nisan 2013)

Gleich, K., Jackson, T., Vaidya, U. 2002. Development of a Long Fiber Reinforced Thermoplastic Composites Bus Seat. Composites 2002 Convention and Trade Show Composites Fabricators Association September 25-27, Atlanta, Georgia, USA.

Goede, M. 2009. SuperLIGHT-Car project - An integrated research approach for lightweight car body innovations." Innovative Developments for Lightweight Vehicle Structures, Wolfsburg, Volkswagen, 2009, 30.

Harzheim, L., Graf, G. 2005. A review of optimization of cast parts using topology optimization Part I. *Struct Multidisc Optim* 30, 491–497.

Helms, H., Lambrecht, U., Höpfner, U. 2003. Energy savings by light-weighting Final report. Commissioned by the International Aluminum Institute, Heidelberg

Helms, H., Lambrecht, U., 2006. The Potential Contribution of Light-Weighting to Reduce Transport Energy Consumption. LCA Case Studies Light-Weighting of Vehicles

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

Howard, M.A. 2007. Computational Design of Shape Changing Structures via Topology Optimization. *Msc. Thesis*, Faculty of the Graduate School of the University of Colorado

Howey, D., North. R., Martinez-Botas, R. 2010. "Road transport technology and climate change mitigation" Grantham Institute for Climate Change Briefing Paper No 2. Imperial College London.

İnkaya, S. 2011, Dünyada ve Türkiye’de Kompozit sektörü. *Mühendis ve Makina Cilt 52 Sayı 613*

Kim, C.H., Wallington, T.J. 2013. "Life-Cycle Energy and Greenhouse Gas Emission Benefits of Lightweighting in Automobiles: Review and Harmonization" *Environ. Sci. Technol.* 2013, 47, 6089–6097

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

Kobayashi, S., Plotkin, S., Ribeiro, S.K. 2009. Energy efficiency technologies for road vehicles. *Energy Efficiency (2009) 2:125–137 DOI 10.1007/s12053-008-9037-3*

- Kojima, K., Ryan, L. 2010.** Transport Energy Efficiency Implementation of IEA Recommendations since 2009 and next steps, International Energy Agency Energy Efficiency Series
- Kutyłowski, R., Szwechłowicz, M. 2013.** Special kind of multi material topology optimization. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 13 (2013) 334–344
- Liu, Q., Lin, Y., Zong, S., Sun, G. 2013.** Lightweight design of carbon twill weave fabric composite body structure for electric vehicle. *Composite Structures* 97 (2013) 231–238
- Lotus Engineering, 2010.** An Assessment of Mass Reduction Opportunities for a 2017 – 2020 Model Year Vehicle Program, Submitted to: The International Council on Clean Transportation
- Luo, A. 2010.** Magnesium Front End Research and Development – Phase I, Project ID: LM008, AMD 604, 2010 DOE Merit Review Presentation, USA
- Lutsey, N. 2010.** Review of technical literature and trends related to automobile mass-reduction technology. Institute of Transportation Studies UCD-ITS-RR-10-10, University of California
- 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
- Ning, H., Janowski, G.M., Vaidya, U.K., Husman, G. 2007.** Thermoplastic sandwich structure design and manufacturing for the body panel of mass transit vehicle. *Composite Structures* 80 (2007) 82–91
- Özcömert, M. 2006.** Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul
- Öztürk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, E. 2009.** Otomotiv Endüstrisinde Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kullanımının İncelenmesi. TMMOB Makine Mühendisleri Odası 11. Otomotiv Sempozyumu 8-9 Mayıs 2009
- Plotkin, S.E., 2009.** Examining fuel economy and carbon standards for light vehicles. *Energy Policy* 37(2009)3843–3853
- Polavarapu, S. 2008.** Topology and Free-Size Optimization With Multiple Loading Conditions For Lightweight Design of Die Cast Automotive Backrest Frame. *M.Sc. Thesis*, Mechanical Engineering, Clemson University, USA

- Schulze, M. 2011.** CAMISMA – New composites for lighter cars, http://corporate.evonik.com/en/media/press_releases/Pages/news-details.aspx?newsid=19362 – (Erişim Tarihi: Mayıs 2013)
- Song, Y., Youn, R., Gutowski, T.G. 2009.** Life cycle energy analysis of fiber-reinforced composites. *Composites: Part A* 40 (2009) 1257–1265
- Steer Davies Gleave, 2009.** European Commission, Study of passenger transport by coach – Final Report, Brussels
- Stewart, R. 2010.** Automotive composites offer lighter solutions, *Reinforced Plastics March/April 2010* 0034-3617/10
- Summe, T. 2009.** The Aluminum Association, Advantage Commercial Vehicle Applications.
- Thattai parthasarathy, K.B., Pillay, S., Ning, H., Vaidya, U.K. 2008.** Process simulation, design and manufacturing of a long fiber thermoplastic composite for mass transit application. *Composites: Part A* 39 (2008) 1512–1521
- Thiyagarajan, P.B. 2008.** Non-Linear Finite Element Analysis and Optimization For Light Weight Design of an Automotive Seat Backrest. *M.Sc. Thesis.* Mechanical Engineering, Clemson University, USA
- U.S. Department of Energy, 2010.** Vehicle Technologies Program Office of Energy Efficiency and Renewable Energy U.S. Department of Energy, Multi-year Program Plan 2011 – 2015, USA
- U.S Department of Energy, 2010.** Lightweighting Material Annual Progress Report 2010, Report No: DOE/EE-0577, USA
- Vyas, A., Saricks, C., Stodolsky, F. 2002.** The Potential Effect of Future Energy-Efficiency and Emissions Improving Technologies on Fuel Consumption of Heavy Trucks, Argonne National Laboratory, USA
- Witik, R.A., Payet, J., Michaud, V., Ludwig, C. Manson, E. 2011.** Assessing the life cycle costs and environmental performance of lightweight materials in automobile applications. *Composites: Part A* 42 (2011) 1694–1709
- World Auto Steel, 2009.** Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines, <http://www.worldautosteel.org/projects/ahss-guidelines/> (Erişim Tarihi: Mayıs 2013)
- Yang, Y., Boom, R., Irion, B., Heerden, D., Kuiper, P., Wit, H. 2012.** Recycling of composite materials. *Chemical Engineering and Processing* 51 (2012) 53– 68

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Celalettin YÜCE

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 1987

Eğitim Durumu

Lise : Bursa Gazi Anadolu Lisesi / 2005

Lisans : S.Demirel Üniversitesi – Makine Mühendisliği / 2009

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi – Makine Mühendisliği / 2013

Çalıştığı Kurumlar

Bode Doğrusan Otomotiv – (2011-2012)

Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü - (2012-Devam)

İletişim : cyuce@uludag.edu.tr

Yayınları

Yüce, C., Karpat, F., Yavuz, N., Kaynaklı, Ö., Şendeniz, G., Dolaylar, E. 2013. *Prototyping a New Lightweight Passenger Seat*. ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, San Diego / USA