

## PAPER DETAILS

TITLE: ÇOK BİLESENİİ KALİPLAMA YÖNTEMİNE UYGUN SÜREKLİ ELYAFLI TERMOPLASTİK  
KOMPOZİT AKÜ TASİYİCİ PARÇASININ GELİSTİRİLMESİ

AUTHORS: Ayça KÜÇÜKOGLU,Gökçe ÖZYAPI,Atanur ACAR,Ali Ozan BAGRIYANIK,Osman  
ÇOLPAN,Hafize ÇELİK,Yavuz Emre YAGCI

PAGES: 1223-1235

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1025729>



## ÇOK BİLEŞENLİ KALIPLAMA YÖNTEMİNE UYGUN SÜREKLİ ELYAFLI TERMOPLASTİK KOMPOZİT AKÜ TAŞIYICI PARÇASININ GELİŞTİRİLMESİ

Ayça KÜÇÜKOĞLU<sup>1\*</sup>, Gökçe ÖZYAPI<sup>1</sup>, Atanur ACAR<sup>1</sup>, Ali Ozan BAĞRIYANIK<sup>1</sup>, Osman ÇOLPAN<sup>1</sup>,  
Hafize ÇELİK<sup>1</sup>, Yavuz Emre YAĞCI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., R&D Center, Bursa, Türkiye

<sup>2</sup> Farplas A.Ş., R&D Center, İstanbul, Türkiye

| Anahtar Kelimeler                                                                                                        | Öz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Çok Bileşenli Kalıplama,<br/>Akü Taşıyıcı,<br/>Sürekli Elyafli<br/>Termoplastik Kompozitler,<br/>Ağırlık Azaltma.</i> | Emisyon standartlarının sürekli geliştirilmesinden dolayı ağırlık azaltma bu standartları yakalama açısından önem kazanmıştır. Yakıt tüketimi ve performans iyileştirmeleri için maliyetleri kontrol altında tutarken tüm araç bileşenlerinin ağırlığını azaltmak, araç ağırlık azaltması için yenilikçi çözümlere yol açmıştır. Araç ağırlık azaltma çalışmalarında çelik yerine çelik kullanımını azaltmak için polimer kompozit malzemelerin kullanılması dikkat çekicidir. Farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılan termoset malzeme bazlı kompozitler, üretim kısıtlamaları ve geri dönüşüm eksikliği nedeniyle binek araçların üretiminde yer bulamamıştır. Seri üretime uygun olarak üretilen ve aynı mekanik performanslarla geri dönüştürülen sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozitler, otomotiv sektöründe artan uygulamalar bulmaktadır. Bu çalışmada, araçlarda metal akü taşıyıcı kısmı yerine sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit akü taşıyıcı geliştirilmiştir. Bu çalışmada; yapısal olan taşıyıcı çelik bir akü taşıyıcı, hafifletme amaçlı sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemelere uygun olarak tasarlanmış, sanal analizleri yapılarak üretilmiş ve araç başına 0.5 kg ağırlık azaltımı sağlanmıştır. Tasarım aşamasından itibaren parça için detaylı güvenlik, doğal frekans ve aşırı yüklenme analizleri yapılarak meydana gelen yüksek gerinim değerlerini azaltmak için iyileştirmeler yapılmıştır. |

## DEVELOPMENT OF A CONTINUOUS FIBER THERMOPLASTIC COMPOSITE BATTERY CARRIER BY USING OVERMOLDING PRODUCTION TECHNOLOGY

| Keywords                                                                                                      | Abstract                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Over-Molding,<br/>Battery Carrier,<br/>Continuous Fiber<br/>Thermoplastic Composites,<br/>Lightweight.</i> | In the last ten years, the problem of vehicle lightening has become the most crucial research topic in the automotive sector. Reducing the weight of all vehicle components, while keeping costs under control for fuel consumption and performance improvements, leads to innovative solutions for vehicle lightening. The use of polymer composite materials to reduce the use of steel instead of steel in vehicle lightening studies is noteworthy. Thermoset materials-based composites, which are widely used in different sectors, have not been able to find a place in the production of passenger vehicles due to production constraints and lack of recycling. Continuous fiber-reinforced thermoplastic composites, which are produced in accordance with mass production and are recycled with the same mechanical performances, are finding increasing applications in the automotive sector. In this study, continuous fiber-reinforced thermoplastic composites battery carrier will be developed in vehicles instead of the steel battery carrier part. The detailed mechanical analysis will be performed for the part from the design phase, and part will be formed by an injection-based thermoform production method. From the design phase, detailed safety, natural frequency and overload analyzes have been made for the part and improvements have been made to reduce the high strain values that occur. |

\* İlgili yazar / Corresponding author: ayca.kucukoglu@tofas.com.tr, +90-224-261-0350

**Alıntı / Cite**

Küçüköğlu, A., Özyapı, G., Acar, A., Bağrıyanık, A. O., Çolpan, O., Çelik, H., Yağcı, Y.E., (2020). Çok Bileşenli Kalıplama Yöntemine Uygun Sürekli Elyafli Termoplastik Kompozit Akü Taşıyıcı Parçasının Geliştirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(4), 1223-1235.

**Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)**

A. Küçüköğlu, 0000-0002-1053-6138  
 G. Özyapı, 0000-0002-2398-5653  
 A. Acar, 0000-0002-0945-0003  
 A. O. Bağrıyanık, 0000-0002-8512-3450  
 O. Çolpan, 0000-0003-0979-2799  
 H. Çelik, 0000-0001-7572-073X  
 Y. E. Yağcı, 0000-0003-0754-5540

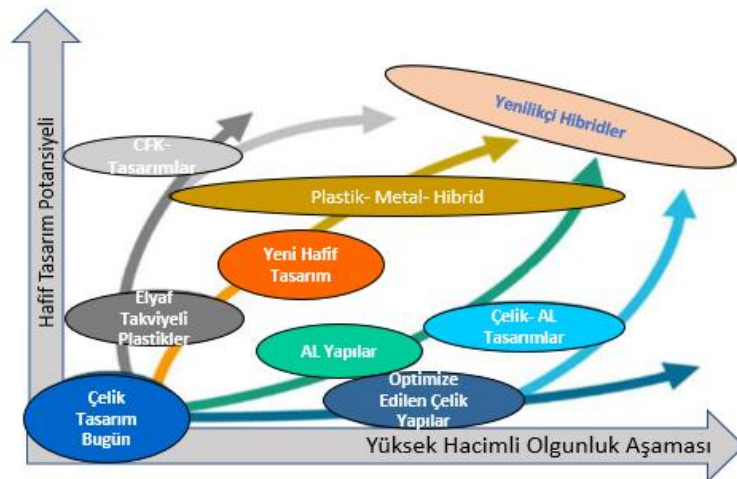
**Makale Süreci / Article Process**

**Başvuru Tarihi / Submission Date** 19.04.2020  
**Revizyon Tarihi / Revision Date** 17.09.2020  
**Kabul Tarihi / Accepted Date** 06.12.2020  
**Yayın Tarihi / Published Date** 25.12.2020

**1. Giriş (Introduction)**

Dünya genelindeki ağır CO2 emisyon yönetmeliklerinden kaynaklı, otomotiv endüstrisinde önemli ölçüde ağırlık azaltılması ihtiyacı oluşmaktadır (Dings, 2012; European Environment Agency, 2018). Araç ağırlığındaki %10'luk bir azalma yakıt ekonomisinde %6-8 oranında iyileşme sağladığı da görülmüştür (Kazan, 2019). Araç ağırlık azaltılması, malzeme kombinasyonu, parça malzeme değişikliği ve tasarım optimizasyonu gibi yöntemlerle elde edilebilir. Özellikler plastik malzemeler otomotiv de sıklıkla kullanılan, üretimi kolay, korozyona dayanıklı ve hafif malzemelerdir (Swift vd., 2015).

Mevcutta kullanılan malzeme kombinasyonlarıyla yapılan birçok çalışmada seri üretime olgunlaştırma fazı uzun sürmekle beraber istenilen ağırlık azaltılmasına ulaşamamaktadır. Bu nedenle Şekil 1'de de gösterildiği gibi hafif ve yüksek hacimli yenilikçi hibrit yapılara ihtiyaç vardır (Kazan, 2019).



**Şekil 1.** Seri üretimde, ileri malzemelerle ağırlık hafifletme potansiyelleri (Kazan, 2019) (Lightweight potentials of advanced materials in mass production)

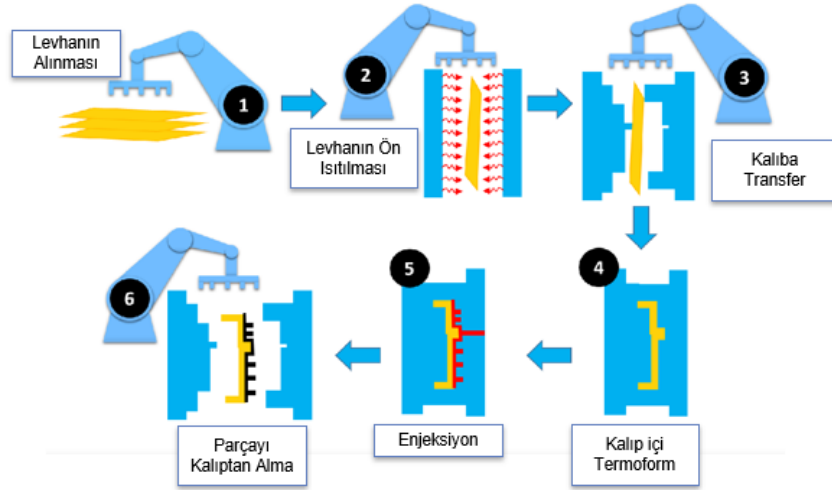
Termoset ve termoplastik kompozit malzemelerin dayanım, sertlik, korozyon dayanımı ve hafiflik gibi özellikleri metalik malzemelerle karşılaştırıldığında otomotiv, denizcilik ve havacılık sektöründe büyük ilgi çekmektedir (Mazumdar, 2001; Chawla vd, 1999). Ancak Termoset matrisli kompozit parçaların üretimi, uzun çevrim süreleri, zayıf kimyasal etkileri ve geri dönüşüm için uygun olmaması, kompozit sektörünü termoplastik matris kompozitlerine yönlendirmiştir (Abramovich, 2017). Şekil 2'de termoplastik malzemeden üretilen motor alt muhafaza parçası gösterilmektedir.



**Şekil 2.** Termoplastik kompozit motor alt muhafaza parçası (Dittmar ve Plaggenborg, 2019) (Thermoplastic composite engine under cover part)

Sürekli cam elyaf ve kısa cam elyaf malzemelerin bir araya getirildiği, çok bileşenli kalıplama teknolojisi kullanılan hibrit yapılar ilgi çekici hale gelmiştir. (Yaldız vd., 2016). Sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemeler (CFRT), yüksek eğilme mukavemeti, darbe dayanımı ve kısa çevrim sürelerinde oluşabilme kabiliyetleri nedeniyle havacılık, savunma ve otomotiv endüstrilerindeki metal malzemelere alternatif malzemeler olarak öne çıkmaktadır (Fan ve Njuguna, 2016).

Çok bileşenli kalıplama teknolojisi ile kalıba elyaf takviyeli termoplastik bir levha yerleştirilerek ısıtılır, enjeksiyon kalıbı aracılığı ile ısıtılan levha ya ön şekil verilir ve uzun elyaf takviyeli termoplastik malzeme ribli bir yapı oluşturmak üzere enjekte edilmektedir (Bonefeld ve Obermann, 2012). Overmould kalıplama adımları; levhanın alınması, levhanın ön ısıtılması, kalıba transfer, kalıp için termoform, enjeksiyon, parçayı kalıptan alma ve levhanın alınması olarak 6 adımda sıralanmaktadır. Çok bileşenli kalıplama adımları Şekil 3’de gösterilmektedir.



**Şekil 3.** Çok bileşenli kalıplama prosesi (Rietman vd., 2016) (Overmolding process)

Çok bileşenli kalıplama prosesinde, kompozit plakalar özel bir kavrama ünitesine (1) sahip bir robot tarafından alınır. Kompozit plaka, form alabilmesi için operasyon sıcaklıklarına kadar ısıtıldığı bir IR fırına (2) aktarılır. Kompozit plaka, ısıtıldıktan sonra, robot sıcak olan laminatı enjeksiyon kalıplarına aktarır ve içine yerleştirir (3). Bu kısımda, enjeksiyon kalıbının tamamen kapatılmasından önce plakayı istenen pozisyonda sabitleyen bir sisteme ihtiyaç vardır. Önceden ısıtılmış ve yerleştirilmiş plaka, enjeksiyon makinesinin (4) kapanma hareketi sırasında şekillendirilir. Kalıbın tamamen kapatılmasından ve kalıp kapanma kuvvetinin uygulanmasından sonra kalıp, enjeksiyon, tutma ve soğutma aşamalarını (5) içeren standart bir enjeksiyon kalıplama prosedürü kullanılarak doldurulur. Aşırı kalıplanmış reçine ve sürekli fiber plaka arasında iyi yapışma özelliklerini güvence altına almak için kompozit plakanın yüzey sıcaklığı hala yeterince yüksek olmalıdır. Soğuduktan sonra parça çıkarılır (6) ve bir sonraki döngü başlayabilir. Bir üretim ortamında, döngü süresi esas olarak enjeksiyon kalıplama döngüsüne bağlıdır, çünkü laminatın ısıtılması genellikle paralel olarak gerçekleştirilmektedir (Rietman vd., 2016).

Otomotiv sektöründe, termoplastik malzeme ve çok bileşenli kalıplama teknolojisi ile çeşitli komponentlerin geliştirme ve üretim çalışmaları yapılmaktadır. Şekil 4’de yer alan airbag modülü parçası ve Şekil 5’de yer alan fren pedali parçaları sürekli elyaf takviyeli termoplastik malzemelerin enjeksiyonla kalıplanmış uygulamalarıdır (Sherman, 2012).

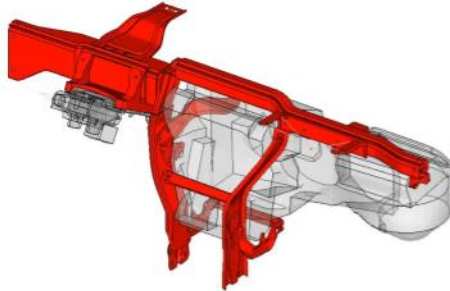


Şekil 4. Airbag modülü (Airbag module)

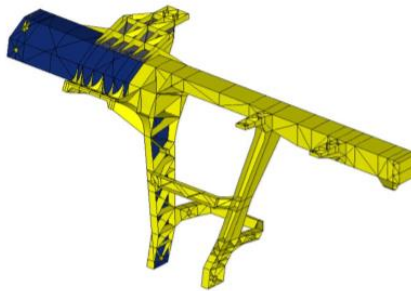


Şekil 5. Fren pedalı (Brake pedal)

Schijve ve Kulkarni (2016) çalışmalarında yaklaşık 20 farklı metal parçadan oluşan torpido iskeletinin sürekli elyaf takviyeli kompozit malzeme ile aynı hacimde yer kaplayacak şekilde tasarlandığını belirtmişlerdir.



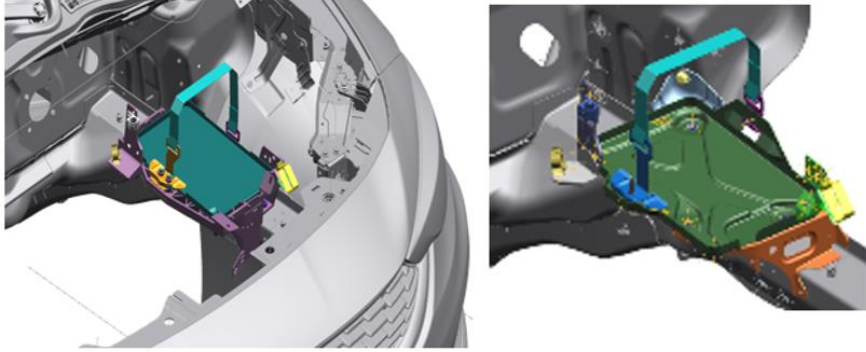
Şekil 6. Metal torpido iskeleti (Metal torpedo frame)



Şekil 7. Kompozit torpido iskeleti (Composite torpedo frame)

Yapılan diğer çalışmalara göre bu çalışmada, parçanın akü gibi önemli bir parçayı taşımasının yanı sıra, önden çarpmalarda direk darbeye maruz kalmasına rağmen aküyü yerinde tutabilmesi ile ön plana çıkmaktadır. Ayrıca parçanın motor bölgesinde bulunması sebebiyle araç üzeri yerleşiminde birçok kısıt mevcuttur. Bu nedenle akü taşıyıcı parçası hacim olarak çok kısıtlı bir bölgede hem gerekli taşıma işlevini sağlayan hem de önden çarpışmada meydana gelen darbe kuvvetini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Hem tasarım gerekliliklerini yerine getirmek hem yapısal hem de çarpışma yeterliliklerine erişebilmek için uzun süren tasarım ve doğrulama aktiviteleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmaya konu olan akü taşıyıcı araçta motor kaputunun altında bulunmaktadır ve aküye bir kayışla bağlanmaktadır. Şekil 8'de akü taşıyıcı parçasının araç üzeri yeri gösterilmektedir. Akü taşıyıcı parçası aküde olabilecek asit sızıntısında çevre ve altındaki parçaların paslanmasını önlemek için asit sızıntısını üzerinde toplayarak ilgili alandan uzaklaştırmaktır. Akü taşıyıcılar motor ve yolcu bölümlerine yerleştirilebilmektedir. Motor ve yolcu bölümlerine yerleştirilen akü taşıyıcı karşılaştırıldığında yolcu bölümüne yerleştirilen akü sepetinin daha ulaşılır olduğu ve çarpışma durumunda daha az etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Ancak akü sepetinin yolcu bölümünde tercih edilmeme sebebi bagaj bölgesinde bu sisteme yer açılması için yedek lastik iptal edilmesi gerekliliğidir.



Şekil 8. Akü taşıyıcı parçasının araç üzeri yeri (Location of the battery carrier part on the vehicle)

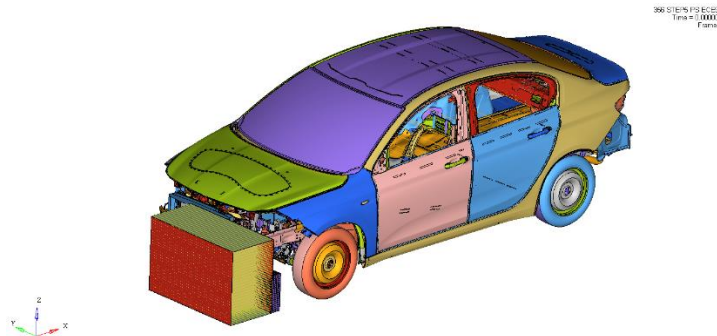
Plastik akü sepeti, şasi kolundaki 2 metal braketle araca sabitlenmektedir. Plastik akü sepeti üzerinde taşıyabilen asit, parçadaki kanallardan asit tahliye hortumuna taşınmaktadır. Akü taşıyıcı kısmı metal formda 1,75 kg ağırlığındadır ve 7 farklı metal parçadan oluşmaktadır. Mevcut 7 farklı metal parçadan oluşan akü taşıyıcı parçası, bir kalıpta plastik enjeksiyon işlemi ile kalıplanabilir. Bu, montajı gereken parça sayısını ve metal parça ile ilgili montaj adımlarını ve parça maliyetini azaltmaktadır. Bu çalışmada yapısal olan taşıyıcı çelik bir parça, hafifletme amaçlı sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemelere uygun olarak tasarlanmış ve sanal analizleri yapılarak üretilerek araç başına 0.5 kg ağırlık azalmasına sağlanmıştır.

## 2. Parça Tasarımı ve Sayısal Analiz (Part Design and Finite Element Analysis)

İlk tasarımda kompozit tasarımı, malzemenin sanal modellenmesi ve taşıyıcının tam ölçekli araca monte edildikten sonraki davranışı üzerine yoğunlaşmıştır. Mevcut metal akü taşıyıcıya benzer tasarıma ek olarak sürekli cam elyafli kompozit malzemesi birleştirilerek yeni bir tasarım elde edilmiştir. Kompozit akü taşıyıcı için belirlenen hedefler doğrultusunda modal analizi, görev yükleri, aşırı yükleme durumları ve çarpma testleri yapılmıştır. Tasarım süreci analizler ile koordinasyonlu bir şekilde iteratif olarak ilerletilmiştir.

### 2.1. Çarpışma Analizleri (Crash Analysis)

Güvenlik doğrulama çalışmaları için ECE 94 analizleri ile başlanmıştır. Ece 94 önden çarpma testi M1 sınıfı araçlar için yapılması zorunlu tutulan bir testtir. Araçlar bu testi geçmeden satılabilir onayı alamamaktadır. Bu testin yapılma koşulları ise Avrupa Araç Güvenliği Arttırma komisyonu tarafından belirlenir. Testin amacı şekil 9'daki gibi 56 km/h hıza sahip bir aracın aynı kütleye sahip başka bir otomobile çarpması sonucu araç içindeki sürücü ve yolcuların zarar görmemesini göstermektir. Şekil 9'da Ece 94 önden çarpma testi gösterilmektedir.

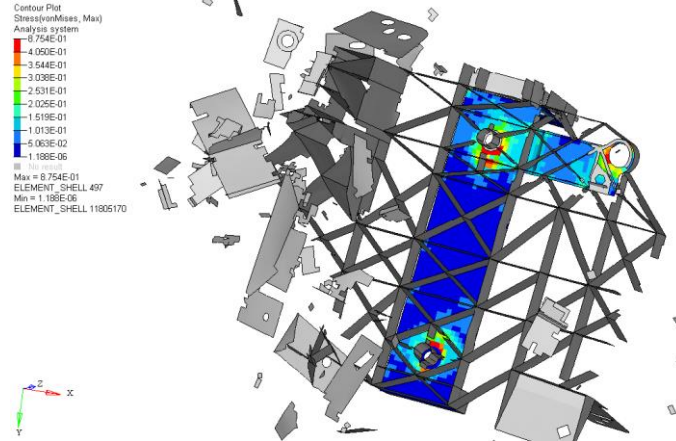


Şekil 9. Ece 94 önden çarpma testi (ECE 94 Frontal crash test)

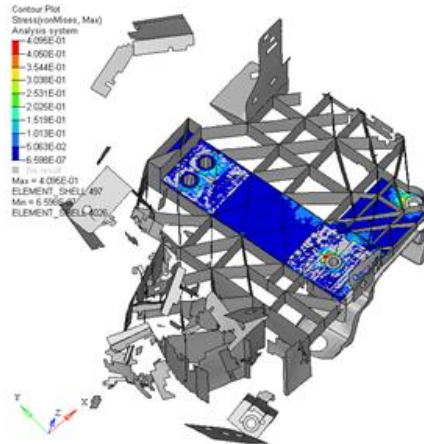


Analizler Ls-Dyna yazılımı ile zamana bağlı (explicit) olarak tamamlanmıştır. Analizde araç modeli 56 km/h hız ile araca göre %40 ötelenmiş olarak pozisyonlanan ve deforme olabilen bir bariyere çarpıtılmaktadır. Bu proje için testten beklenti; akü taşıyıcının bağlantılarının kopmasının engellemek ve bu sayede akünün hareketini kısıtlayarak serbestçe motor boşluğunda dolaşmasını engellemektir.

Geliştirilen tasarımla motor takozuna bağlanan braketin kemer tokasıyla bağlanmış feder yapılarında da farklılığa gidilmiş ve sürekli cam elyaflı kompozit malzemesinin arka bağlantısına uzanan kısmı duvar sınırına kadar genişletilmiştir. Ayrıca ilk durumda bağlantı bölgesinde görülen yüksek gerinim değerini azaltmak için ikili bağlantıya geçilmiştir. Parçanın ECE 94 analiz öncesi durumu Şekil 10'da, ECE 94 analizi sonrası durumu Şekil 11'de gösterilmektedir.



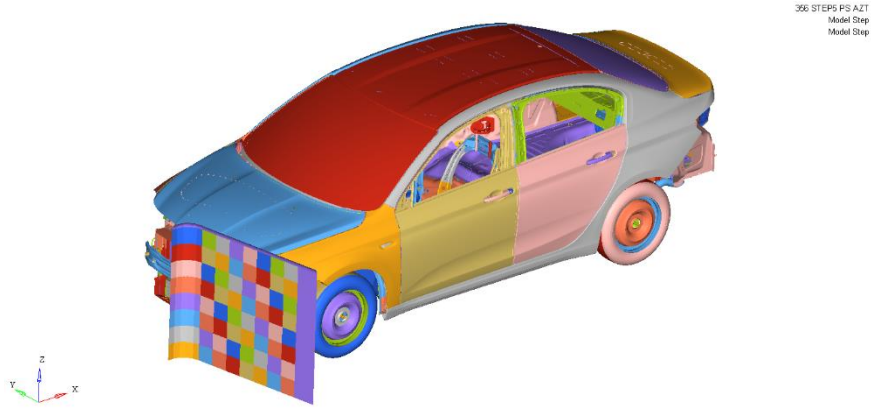
Şekil 10. ECE 94 analizi ilk durum (First result of frontal crash analyses)



Şekil 11. ECE 94 analizi son durum (Final result of frontal crash analyses)

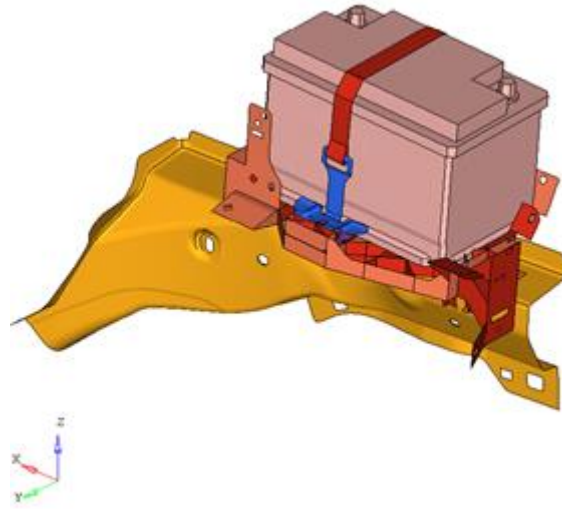
Şekil 11'de görüldüğü üzere tasarımdaki bağlantılar oldukça iyi durumdadır ve gerilim değerleri sınır değerine çok yakındır. Kısa cam elyaflı termoplastik malzemeli feder yapıda kopma başlangıcı görülmektedir. Fakat performans açısından kabul edilebilir seviyededir. Ece 94 (Regulation No.94) analizinin tekrarlanması için üretilebilir bir CAD datası oluşturularak analiz tekrarlanmıştır.

Sigorta analizlerindeki temel amaç, aracın değiştirilemeyen (BIW'da yer alan ya da araca kaynak ile bağlı) parçalara zarar gelip gelmediğini belirlemektir. Sigorta çarpma analizlerinde araç, 16kmh (+-1kmh) hızla %40 ötelenmiştir ve 10 derece açılmış rijit bir duvara Şekil 12'deki gibi çarpıtılmaktadır (RCAR).

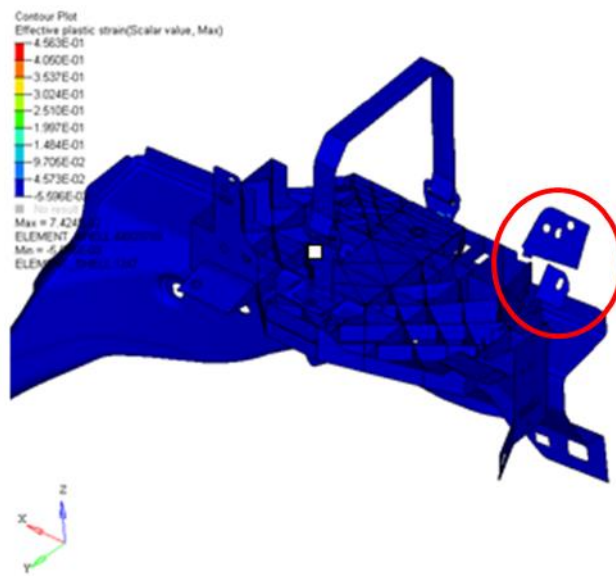


Şekil 12. Sigorta çarpma analizi (Insurance crash test)

ECE94 analizinden olumlu sonuçlar alındığı için güvenlik testlerinden ECE94'e göre daha hafif bir test olan sigorta çarpma testi için de analiz yapılmıştır.



Şekil 13. Sigorta Çarpma analizinde akü taşıyıcı deformasyonu (Deformation of battery carrier after insurance test)



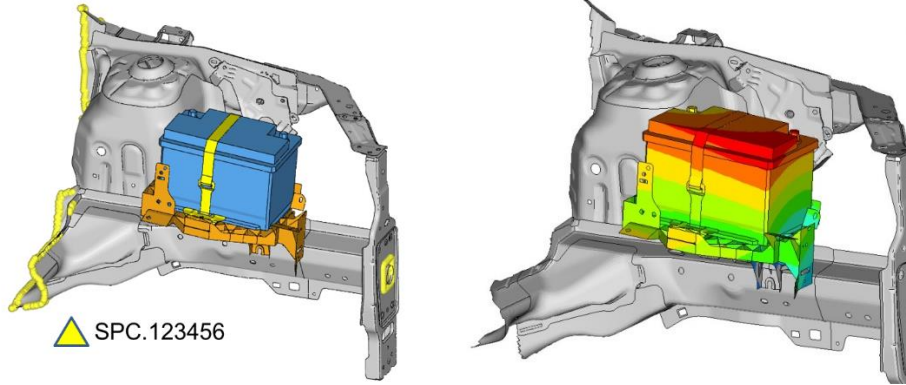
Şekil 14. Sigorta Çarpma analizinde akü taşıyıcı gerinim dağılımı (Strain distribution after insurance test)



Şekil 13’de deformasyon şekli ve Şekil 14’de gerinim dağılımı gösterilmiştir. Sigorta çarpma testinden beklenti parçanın deformasyona uğramaması ve parçanın olası bir kazada değiştirilmemesidir. Burada sol ön kısımda plastik parçada kopma durumu söz konusudur. Şekil 11’de görüleceği üzere parça üzerinde bir deformasyon oluşmamakta sadece ön kısımda bulunan elektrik kablo tutucu plastik parçada kopma durumu söz konusudur. Bu nedenle tasarımda kablo bağlantı yeri değiştirilmiştir.

## 2.2. Modal Analiz (Modal Analysis)

Güvenlik analizleriyle pozitif sonuçlar alındıktan sonra statik analizlere geçilmiştir. Parçanın doğal frekansı hesaplanmıştır. Model akü grubu ve bağlantılarını içerecek şekilde kesilmiş ve kesildiği bölgelerden her yönde öteleme ve dönme serbestlikleri kısıtlanarak doğal frekans analizi yapılmıştır. Analizde lineer malzeme özellikleri kullanılmıştır. Kompozit akü taşıyıcından beklenen doğal frekans değeri A Hz’den büyük olmasıdır. Sınır koşulu ve analiz sonucu Şekil 15’de gösterilmiştir.



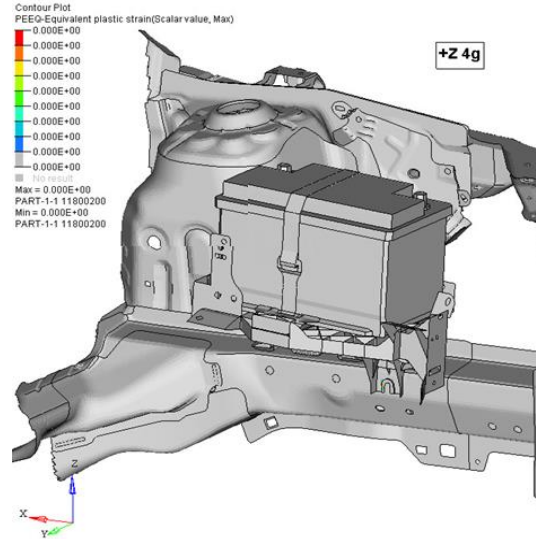
Şekil 15. a) Modal analiz sınır koşulu (Modal analysis boundary conditions) b) Modal Analiz sonucu (Modal analysis result)

Analiz sonucuna göre akü taşıyıcının doğal frekansı 0.87A Hz olarak hesaplanmıştır. Bu analizin hedefi akü taşıyıcının doğal frekansının A Hz veya daha büyük olması şeklinde belirlenmiştir. Hesaplanan A Hz değeri hedef değere çok yakın olduğu için sonuçlar pozitif olarak yorumlanmıştır.

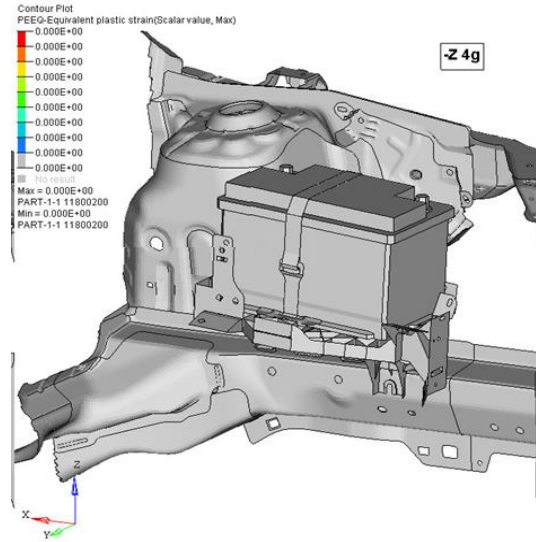
## 2.3. Görev Yükleri (Mission Loads)

Bu yüklerin belirlenmesinde araç yol testinde aracın maruz kaldığı “g” kuvvetleri dikkate alınmıştır. Sınır koşulu modal analiz ile aynıdır. Statik olarak ivmeler uygulanmıştır. Kalıcı deformasyon durumu incelendiği için analizlerde plastik malzeme özellikleri kullanılmıştır. Görev yükleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Bu yüklemelerde hedef akü taşıyıcı üzerinde plastik deformasyon oluşmamasıdır. Buradaki amaç aracın ömrü boyunca parçada oluşabilecek hasarların incelenmesi ve elimine edilmesidir. Uygulanan kuvvetler Şekil 16, Şekil 17, Şekil 18, Şekil 19, Şekil 20 ve Şekil 21’de sıralanmıştır.

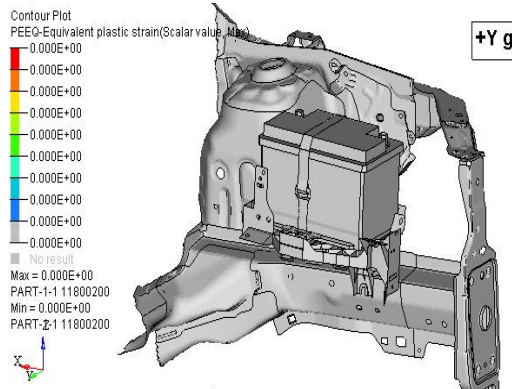
- -Z yönünde 4g ivmelenme
- +Z yönünde 4g ivmelenme
- +Y yönünde 1g ivmelenme
- -Y yönünde 1g ivmelenme
- +X yönünde 1g ivmelenme
- -X yönünde 1g ivmelenme



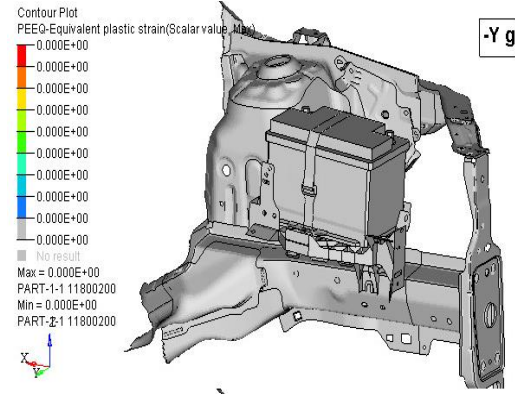
Şekil 16. +Z yönünde 4g ivmelenme (Acceleration 4g in +Z)



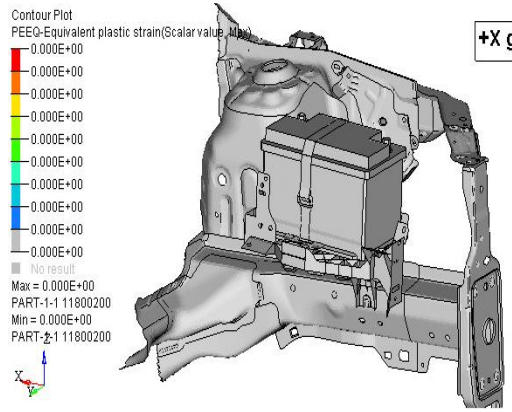
Şekil 17.- Z yönünde 4g ivmelenme (Acceleration 4g in -Z)



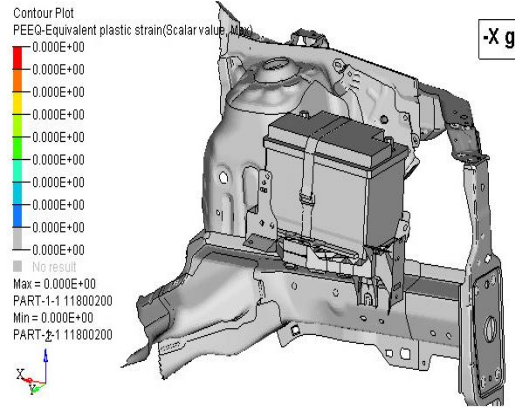
Şekil 18. +Y yönünde 1g ivmelenme (Acceleration 1g in +Y)



Şekil 19.- Y yönünde 1g ivmelenme (Acceleration 1g in -Y)



Şekil 20. +X yönünde 1g ivmelenme (Acceleration 1g in +X)



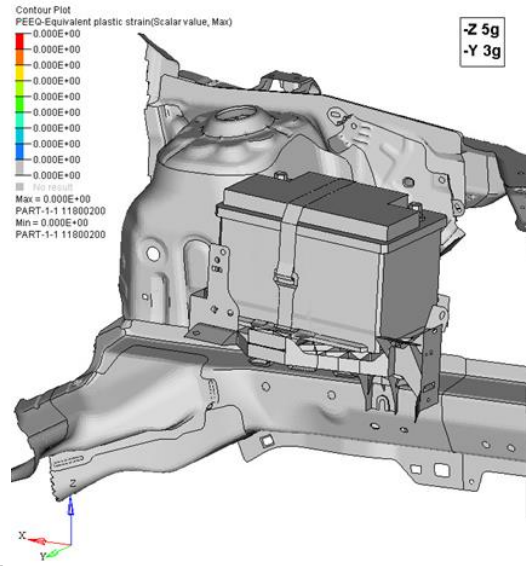
Şekil 21.- X yönünde 1g ivmelenme (Acceleration 1g in -X)

Kompozit akü taşıyıcı üzerinde görev yükleri uygulandığında herhangi bir kalıcı gerinim hesaplanmamıştır bu nedenle sonuç pozitif olarak değerlendirilmektedir.

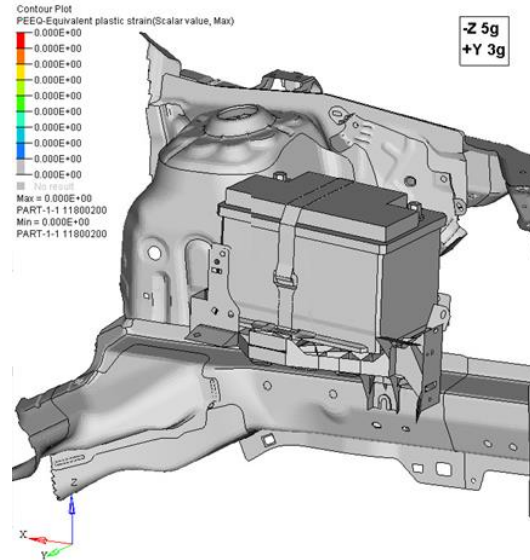
#### 2.4. Aşırı Yükleme Durumları (Excessive Loading Conditions)

Aşırı yükleme durumları; aracın denizde taşınma gibi aşırı yüklemelere maruz kalacağı durumlarda, üstünde oluşacak deformasyonları görebilmek için incelenmektedir. Analizde sınır koşulu ve model detayları, görev yükü analizleri ile aynıdır. Uygulanan yükler Şekil 22, Şekil 23, Şekil 24 ve Şekil 25’de verilmiştir. Bu yüklemeler için hedef, parça üzerinde plastik gerinim oluşmamasıdır.

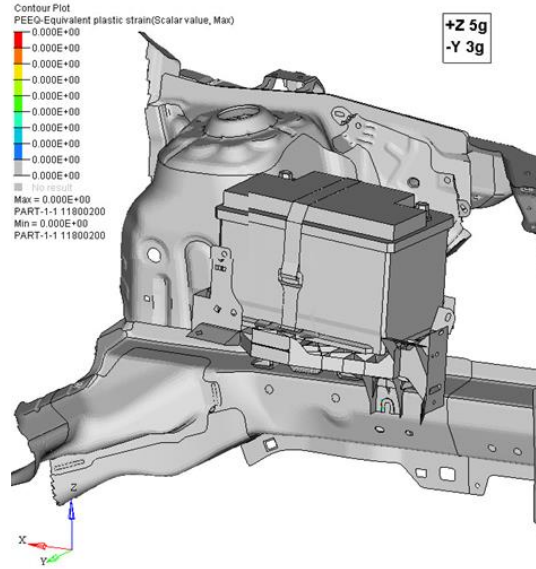
- Aşırı Yükleme durumları, Gemiyle taşınma durumları
  - +Z yönünde 5g ve -Y yönünde 3g ivmelenme
  - -Z yönünde 5g ve -Y yönünde 3g ivmelenme
  - +Z yönünde 5g ve +Y yönünde 3g ivmelenme
  - -Z yönünde 5g ve -Y yönünde 3g ivmelenme



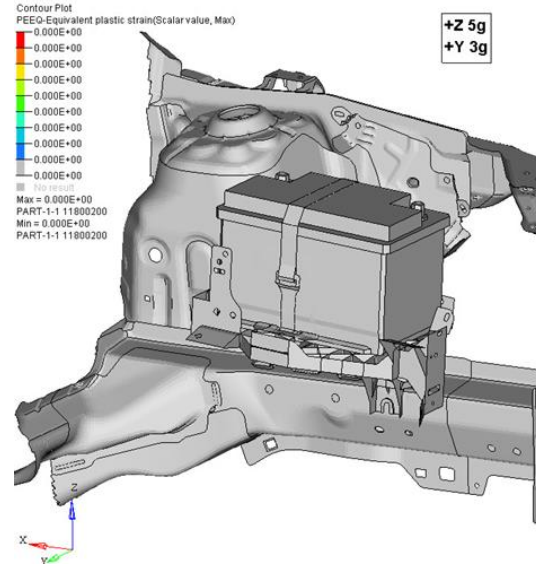
Şekil 22. +Z yönünde 5g, -Y yönünde 3g ivmelenme (Acceleration 5g in -Z, 3g in -Y)



Şekil 23. -Z yönünde 5g, +Y yönünde 3g ivmelenme (Acceleration 5g in -Z, 3g in +Y)



Şekil 24. +Z yönünde 5g, -Y yönünde 3g ivmelenme (Acceleration 5g in +Z, 3g in -Y)



Şekil 25. +Z yönünde 5g, +Y yönünde 3g ivmelenme (Acceleration 5g in +Z, 3g in +Y)

Analiz sonuçlarına göre aşırı yükleme durumlarında parça üzerinde kalıcı deformasyon hesaplanmamıştır. Buna göre sonuçlar pozitif olarak değerlendirilmiştir.

### 3. Sonuçlar (Results)

Çelik malzeme araç gövdesinde kullanılan en yaygın malzeme olmasına rağmen, otomotiv üreticileri CO2 emisyonlarını azaltmak için alternatif malzemeler kullanarak araç ağırlığını azaltmaya gitmiştir. Yüksek mekanik ve kimyasal özelliklere sahip kolay geri dönüştürülebilir ve kısa şekillendirme süresine sahip CFRT malzemeler başarılı bir alternatif olarak sunulmaktadır. Bu çalışmada yapısal taşıyıcı çelik bir parça, hafifletme amaçlı sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemelere uygun olarak tasarlanmış, tasarımlar sayısal analiz yöntemleri ile incelenmiş ve gerekli tasarım faaliyetleri ile zayıf noktalar iyileştirilmiştir. Sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzeme ile akü taşıyıcı parçası tasarlanmış sanal analizleri yapılarak üretilmiştir. CFRT malzemesi, akü taşıyıcı tasarımının araç başına 0.5 kg ağırlık azalmasına ulaşması ve aynı zamanda çarpma ve aşırı yükleme testlerinde görülebilecek, delik çevrelerindeki gerinim birikmelerini önleyip araç performansında kayıp olmaması için kullanılmıştır. Çok bileşenli kalıplama yöntemine uygun sürekli elyafli termoplastik kompozit akü taşıyıcı parçasının geliştirilmesi ile araç performansından kayıp olmadan araç başına 0.5 kg ağırlık azaltımı sağlanmıştır. Bu çalışma aracılığıyla benzer yapıdaki malzemeler araç kapı içi mekanizmaları, araç arka tabanı gibi parçalara uygulanarak çalışma alanı genişletilebilir.

### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) tarafından 3140681 Proje Numarası ile desteklenmiştir. Proje boyunca sağladığı finansal destek için TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Abramovich, H., 2017. Introduction to Composite Materials. Stability and Vibrations of Thin Walled Composite Structures, 1-47.
- Bonefeld, D., Obermann, C., 2012. A Hybrid Technique for Serial Production of 3D Parts of Continuous Fiber Reinforced Thermoplastics. ECCM15 - 15<sup>TH</sup> European Conference on Composite Materials, Venice.
- Chawla, K. K., Meyers, M. A., 1999. Mechanical Behavior of Materials. Cambridge University Press 2017, 651-673.
- Dings J, 2012. How Clean Are Europe's Cars?. An Analysis of Carmaker Progress Towards EU CO2 Targets In 2011, 6-9, <http://www.transportenvironment.org/> European Federation for Transport and Environment.
- Dittmar H., Plaggenborg H., 2019, Lightweight Vehicle Underbody Design. Reinforced Plastics, 63, 29-32.
- European Environment Agency., 2018. Monitoring CO2 Emissions from New Passenger Cars and Vans in 2017. EEA Technical Report, 15, 1-35.
- Fan, J., Njuguna, J., 2016. An Introduction to Lightweight Composite Materials and Their Use in Transport Structures. Lightweight Composite Structures in Transport, Design, Manufacturing, Analysis and Performance, 3-34.
- Kazan, H., 2019. Hybrid Single Shot Manufacturing of MultiMaterials Structure for Automotive Applications. Phd Thesis of Clemson University.
- Mazumdar, S. K., 2001. Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering, 1-17.
- RCAR, Research Council for Automobile Repairs.
- Regulation No.94. Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles with Regard to the Protection of the Occupants in the Event of a Frontal Collision.
- Rietman B., Boxus E., Muhammad K. S., Verghes, N., 2016. Manufacturing Solutions for Hybrid Overmolded Thermoplastic Ud Composites, 3-4.
- Schijve W., Kulkarni S., 2016. New Thermoplastic Composite Solutions Present Viable Options for Automotive Lightweighting
- Sherman, L. M., 2012. The New Lightweights: Injection Molded 'Hybrid' Composites Spur Auto Innovation. <https://www.ptonline.com/articles/the-new-lightweights-injection-molded-hybrid-composites-spur-auto-innovation>
- Swift, T. K., Moore, M., Sanchez, E., 2015. Plastics and Polymer Composites in Light Vehicles. Economics and Statistics Department/American Chemistry Council.
- Yaldiz R., Schijve W, Muhammad K. S., 2016. Innovative Predictive Solutions for Hybrid Thermoplastic Composite Technology. 16th SPE Automotive Composites Conference, Sept. 2016, Novi, MI, USA.