

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI

MEHTAP AĞIRGAN¹

ÖZ

Otomotiv endüstrisinde kompozit malzeme kullanımı 80 yıllık bir geçmişe dayanmaktadır. Kompozit malzemeler; araçların tasarımında kolaylık sağlaması ve çevreci olmaları nedeni ile tercih edilmektedir. Küresel ısınma nedeni ile ülkelerin net emisyonu sıfıra indirme sözü bulunmaktadır. 2030 yılında Avrupa'da ise otomobillerin karbondioksit emisyonlarını yarı yarıya azaltması beklenmektedir. Ayrıca günümüzde otomobillerin performansı yüksek, emniyetli, ucuz, çok işlevli ve tarz sahibi bir tasarıma sahip olmasının yanı sıra yakıt tasarruflu ve karbon salınımının düşük olması gibi çevreci özelliklere sahip olması da istenmektedir.

Bu çalışmada otomobillerde kullanılan kompozit malzemelerin tanımı, tarihçesi, sektörde kullanım yerleri, günümüzde ve gelecekte otomotiv sektöründeki kompozit malzemelerin durumları hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit Malzeme, Otomotiv Sektörü, Emisyon, Sac Kalıplama

USE OF COMPOSITE MATERIALS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

ABSTRACT

The use of composite materials in the automotive industry dates back 80 years. Composite materials are preferred because they provide convenience in the design of vehicles and are environmentally friendly. Due to global warming, countries have pledged to reduce net emissions to zero. In Europe, automobiles are expected to reduce carbon dioxide emissions by half in 2030. In addition, today cars are required to have high performance, safety, cheapness, multifunctional and stylish design; as well as environmentally friendly features such as fuel efficiency and low carbon emissions.

In this study, information is given about the definition of composite materials used in automobiles, their history, uses in the sector, and the status of composite materials in the automotive sector today and in the future.

Key Words: Composite Material, Automotive Sector, Emission, Sheet Molding

¹ Dr. Öğretim Üyesi, Lüleburgaz MYO, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Kırklareli Üniversitesi

1.GİRİŞ

Kompozit malzemeler; iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşan çok fazlı ve yüksek performanslı malzemeler olarak tanımlanır (Rosato, 1997). Kompozit malzemeler; sağlam, esnek yeterli dayanıma sahip olmayan plastik ve/veya polyester matris reçine ile takviye edici cam, karbon ve/veya aramid elyafının bir araya getirilmesi ile elde edilen üstün özelliklere sahip bir mühendislik malzemesidir (Tri-Dung Ngo, 2019)

Dünya’da 1946’dan beri ticari olarak kullanılabilen, hem takviye hem de matris malzemelerde çeşitli gelişmeler göstererek daha yüksek performans değerlerine sahip olan kompozit malzemeler, modern bir malzeme olmanın dışında, geleceğin malzemesi olma önemine ulaşmıştır (Johnson, 2018). Kompozit malzemelerde gerek matris reçine özellikleri, gerek takviye malzemesinin türü ve yerleştirme biçimi kompozitin mekanik, kimyasal ve ısıl özelliklerini fazlasıyla yükseltebildiğinden diğer geleneksel malzemelere kıyasla kompoziti çok farklı bir boyuta taşımaktadır (Özsoy ve diğerleri, 2015).

Kompozit sanayi son 30 yıl içerisinde ekonomik büyümeye ve bina ve inşaat, rüzgar enerjisi, uzay ve havacılık, otomotiv gibi sektörlerde önemli bir rol üstlenmektedir (<https://kompozit.org.tr> Erişim 1 Mayıs 2021):

- Ağırlık azaltılması ile yakıt maliyetinin düşürülmesi (Uzay ve Havacılık)
- Enerji maliyetlerini düşürmek için proses otomasyonları ve seri üretim tekniklerinin uygulanması (Rüzgar Enerjisi)
- Ağırlık düşürmek için CO₂ emisyonunun azaltılması (Otomotiv) (<https://compositeslab.com> erişim: 19.10.2023).

Ülkemizde hızlı nüfus artışı, otomotiv sektörünün büyümesini sağlamış, bununla birlikte kompozit malzeme ihtiyacı artmıştır. Toplu ulaşım araçlarını oluşturan tren, metro, otobüs ve kamyonlarda, klasik metal malzemelere göre kompozit malzemeler, hafiflik, dayanıklılık, paslanmazlık, tasarım çeşitliliği ve montaj kolaylığı sağlaması nedeniyle kullanılmaya başlanmıştır.

2- OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KOMPOZİT KULLANIMININ TARİHÇESİ

Owens Corning ve William Stout tarafından 1945 yılında geliştirilen Stout 46, cam lifi gövdeli ve havalı süspansiyonlu dünyanın ilk kompozit prototip arabası olarak kabul edilmektedir. 1953 yılında MFG firması, cam lifi kaportaya sahip ilk üretim modelini piyasaya sürdü ve adı Chevrolet Corvett idi.

Mehtap AĞIRGAN

Makale Gönderim Tarihi (Date of Submission): 19 Aralık 2023
Makale Kabul Tarihi (Date of Acceptance): 28 Aralık 2023

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI: 10.17339/ejovoc.1407005

1960 yılında Sac Kalıplama Kompoziti (SMC) adı verilen yeni bir yöntem icat edildi. 1968 yılında Chrysler istasyon vagonu bir ile tanıtıldı. SMC arka hava deflektörü olarak kullanıldı (<https://www.sutori.com> Erişim18.08.2023).



Şekil.1. a- Stout 46 1945

b- 1953 Chevrolet Corvette

c- 1968 Chrysler

1972 yılında Corvette gövde panelleri SMC'ye dönüştürüldü. 1981 yılında ise McLaren MP4/1, karbon lifi kompozit monokok kullanan ilk F1 otomobili oldu. Aynı yıl ilk kompozit yaprak yay Corvette'te tanıtıldı (McConnell,2009).



Şekil 2.a- 1972 Corvette

b- 1981 F1 Otomobili

c- 1981 Corvette (<https://www.sutori.com> Erişim18.08.2023)

Mercury Tracer'ın tampon girişi, 1987 yılında Amerika'da bir otomobildeki ilk SMC yapısal parçası oldu (Şekil 3a). Ford, Taurus ve Sable'da 1996 yılında SMC ön uç sistemini sergiledi (Şekil 3b).



Şekil 3.a- 1987 Mercury Trace

b- 1996 Ford Taurus

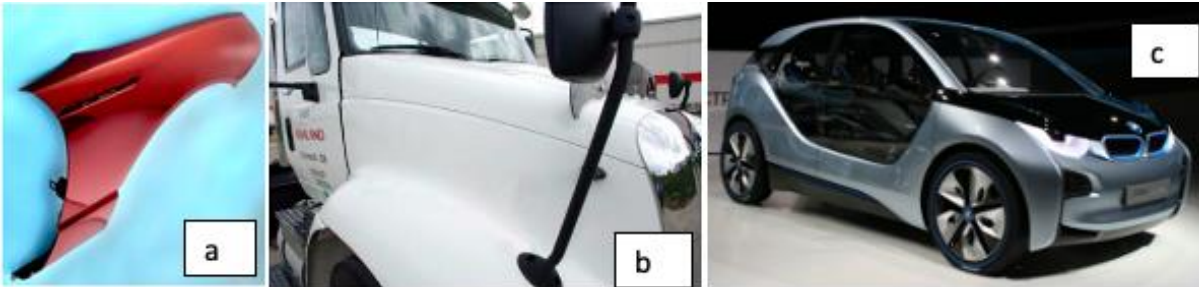
c- 2002 Volkswagen XL1

(<https://www.sutori.com> Erişim18.08.2023)

Yeni "Tough Class-A" paneli, 2003 yılında Ford'a boyalı parçaların kalitesini artıran SMC'yi sağladı. 2007 yılında Core Molding Teknoloji, araç gövde panelleri için düşük yoğunluklu SMC olan Nano-Lite® SMC'yi piyasaya sürdü. Volkswagen, 2002 yılında *bir litrelik arabanın* prototipini yapmaya başladı; bu, 100 km'de (261 mpg) 1 litreden az dizel yakıt tüketimini yansıtıyordu (Şekil3-c). (<https://compositeslab.com> erişim: 19.10.2023).

BMW i3 ilk kez 2011'de tanıtıldı ve 5 kapılı hatchback elektrikli banliyö otomobilinin üretimi 2013'ün son çeyreğinde başladı. i3, karbon lifi ile güçlendirilmiş kompozit malzeme ile yapılmış standart donanımların en azından bir kısmını içeren, üretilen yaklaşık 100 araç modelinden yalnızca biriydi

(<https://youtu.be/RDrWLOd1img> Erişim:9.10.2023).



Şekil 4. a- 2003 Ford Tough Class-A" paneli

b- 2007 Core Molding Technologies

c- 2011 BMW i3

(<https://www.sutori.com> Erişim18.08.2023)

2014 yılında Local Motors, dünyanın ilk 3 boyutlu baskılı arabası Strati'yi basına tanıttı. Ford, 2015 yılında üretim aracı GT350R Mustang için standart donanım olarak karbon lif takviyeli jantları üreten ilk büyük otomobil üreticisi oldu.



Şekil 5.a- 2014 Local Motors, Strati

b- 2015 Ford, GT350R Mustang Karbon fiber jant

(<https://www.sutori.com> Erişim18.08.2023)

2016 yılında Local Motors, dünyanın ilk 3 boyutlu baskılı otomobil serisi olan LM3D Swim'in satışına başladı (Şekil 6).



Şekil 6. Local Motors, LM3D Swim

(<https://www.compositesworld.com> erişim: 22.08.2023)

3- OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KOMPOZİT MALZEMELERDE KULLANILAN HAMMADDELER

Otomotiv kompozitleri;

- Kullanılan elyaf çeşidine göre cam, karbon lifi veya doğal elyaf
- Matris çeşidine göre; Termoset veya termoplastik,
- Otomobil Bileşenlerine göre ise iç, dış, yapısal sistemler ile güç aktarma sistemleri olarak sınıflandırılırlar (<https://kalkinmaguncesi.izka.org.tr/> erişim: 17.5.2023).

Toplam değer ve hacim açısından pazarda en büyük payı cam elyaf takviyeli kompozitler almaktadır. Yüksek mukavemet, esneklik, stabilite, hafiflik, ısıya, kimyasala ve neme karşı dayanıklılık gibi özellikleri sayesinde cam elyafı en çok kullanılan takviye malzemesidir; ayrıca karbon ve doğal elyaftan daha ucuzdur. Cam elyafının üretiminin kolay olması ve ucuz olması nedeniyle otomotiv sanayinde daha çok kullanıldığı, karbon lifi ise spor ve üst segment araçlarda kullanıldığı görülmektedir (<https://www.marketsandmarkets.com> Erişim 15.9.2023).

Gövde liflerinden elde edilen doğal lifler baş, bagaj bölgelerinde ve koltuk arkalıkları gibi yerlerde kullanılmaktadır. Avrupa'da geri dönüşüm ve sürdürülebilirliği sağlamak için, doğal lifler artık motor sporlarında gövde panelleri ve çarpışma yapılarında kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin, Porsche Motorsport, Eylül 2020'de tamamı doğal elyaf takviyeli kompozit gövdeye sahip Cayman 718 GT4 CS MR spor arabanın tanıtımını yaptı. 2019'da doğal lif takviyeli kapılar ve arka kanat ile piyasaya sürülen Porsche Cayman 718 GT4 CS modeli, motor sporları için seri üretimde karbon lifini doğal elyaf ile değiştiren ilk otomobil olmuştur (<https://www.compositesworld.com> erişim: 22.08.2023).



Şekil 7. Doğal elyaf kompozit gövdeye sahip Porsche Cayman 718 GT4 CS MR modeli

(<https://www.compositesworld.com> erişim: 22.08.2023)

Matris türüne göre otomobil kompozitleri, termoset ve termoplastik olarak ikiye ayrılmaktadır. Termoset reçine kullanımı, termoplastiklerden fazladır. Termoset malzemeler far yuvası, kaput altı elektrik ve ısı koruma bileşenlerinden iç ve dış yapısal parçalara kadar çok çeşitli otomobil yapılarında kullanılmaktadır. Termoset reçineler yeniden kullanımı veya geri dönüşümleri mümkün değildir. Buna karşılık termoplastik reçineler, geri dönüştürülebilir olması ve malzemenin eritilip yeniden biçimlendirilebilmesi nedeniyle yüksek hacimli üretim için daha uygundur. Termoplastiklerin hammadde maliyetleri düştükçe pazar talepleri de artmaktadır.

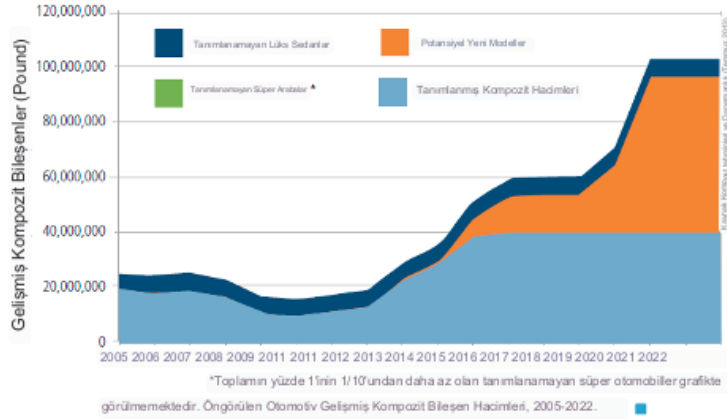
Otomotivde kullanılan kompozitlerin geleneksel malzemelere göre avantajları şunlardır:

- Çelikten ve alüminyumdan daha hafiftir. Otomobillerde kompozit malzeme kullanımıyla kazanılan hafiflik, yakıt miktarını ve maliyeti de düşürmektedir (Şekil 8). 45 kg ağırlık azaltımı % 2-3 yakıt tasarrufu sağlamaktadır.
- Düşük yoğunluğa rağmen formunu koruyarak çok iyi mukavemet göstermektedir.
- Kompozitlerin kolay şekillendirilebilmesi, parça miktarının azaltılmasını ve montaj sürelerinin azalmasını sağlamaktadır (Kocaoğlu, 2021).

Hafif Malzeme	Ağırlık Azaltımı
Magnezyum	%30-70
Karbon elyaf takviyeli polimer	%50-70
Alüminyum ve Alüminyum matrisli kompozitler	%30-60
Titanyum	%40-55
Cam elyaf takviyeli polimer	%25-35
Gelişmiş yüksek mukavemetli çelik	%15-25
Yüksek mukavemetli çelik	%10-28

Şekil 8. Kompozit Malzemelerin Araçlardaki Ağırlık Azaltımına Etkileri (Friedrich ve Almajid, 2013)

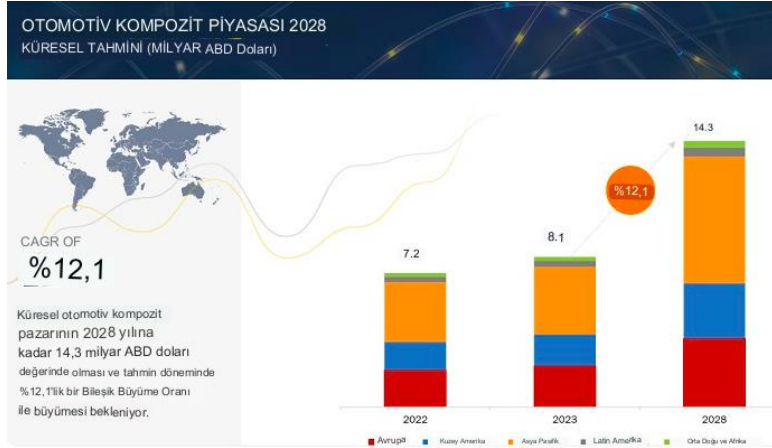
Günümüzde tampon, çarpışma kutusu gibi pasif güvenlik sistemleri artık kompozit malzemelerden üretilmektedir. Elektrikli araçlar için yenilikçi batarya entegrasyon çözümleri ve hidrojenle çalışan araçlara uygun yakıt depolama tankları üretilerek yeni otomobillerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (<https://tto.boun.edu.tr> erişim 22.08.2023).



Şekil 9 Otomotivde 2005-2022 yılları arası kompozit kullanım miktarı

(<https://www.compositesworld.com> erişim: 22.08.2023)

Şekil 9'de 2005-2022 yılları arasında Otomobillerde kullanılması muhtemel kompozit malzeme miktarları verilmiştir. Toplamda 2022 yılında 453,600 ton olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 10. Otomotiv Kompozit Piyasası 2028 büyüme tahmini

(<https://www.marketsandmarkets.com> Erişim: 15.9. 2023)

Şekil 10'da 2022-2028 yılları arasında küresel Otomotiv kompozit pazarının büyüme tahmini verilmiştir. 2028 yılında %12,1 büyüme göstererek 14,3 milyar ABD doları değerinde olması beklenmektedir. Çin 2021 yılında en fazla elektrikli araç üretti ve dünyada elektrikli araç satışının yaklaşık %50'sini elinde tutmaktadır. Asya Pasifik 2022 yılında küresel otomotiv kompozitleri pazarına hâkim oldu ve 2023 ile 2028 arasında % 13,4'lük bir orana sahip olacağı tahmin edilmektedir.

4- GÜNÜMÜZDE OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI

4.1.a. 2022 Yılında Toyota Tundra kompozit koltuk arkılığı tasarımı:

60 adet damgalanmış ve kaynaklı parça içeren tamamen çelik bir düzeneğin alınması ve dört kompozit parçaya entegre edilmesi ile, ağırlığı %20 azaltırken ilgili tüm çarpışma testi gerekliliklerini de geçmiştir.

L&L Ürünleri (Romeo, Michigan, ABD), Ortak(lar): BASF Corp. (Wyandotte, Mich., ABD) - Toyota (Plano, Texas, ABD) (<https://www.compositesworld.com> erişim: 22.08.2023).

4.1.b. Seri üretim arabaları için dünyanın ilk karbon fiber takla kafesi:

Benzersiz bir geometri mühendisliği sayesinde, seri üretim bir araca yasal olarak takılabilen aşırı hafif karbon takla kafesi üretilmiştir (Şekil 11). Dr. H.C. F. Porsche AG (Almanya).



Şekil 11. Karbon Fiber Takla Kafesi

(<https://www.compositesworld.com> erişim: 22.08.2023)

4.1.c. Otomotiv ve Karayolu Taşımacılığı (Proses)

Koridan – aktif maça kalıplama, CFRP'nin son şeklini alması için aktif çekirdek kalıplama işlemi uygulanmıştır (Alia Mentis srl, İtalya).



Şekil 12. Aktif çekirdek kalıplama işlemi (<https://www.compositesworld.com> erişim: 22.08.2023)

4.1.d. Kompozit tasarımı BEV akü koruma plakası

Yeni Audi Q8 e-tron için yüksek verimli tek seferde üretilebilirliğe sahip termoplastik sandviç hafif tasarımı en büyük, yenilikçi, sürdürülebilir BEV alt koruma plakası üretmiştir. Audi AG (Almanya), Ortak(lar): Polytec Group (Hollanda).

4.1.e. Hafif araçlara yönelik atık lastiklerden elde edilen grafen

Nano grafen, kalıbı değiştirmeden, uygun maliyetli ve hafif otomotiv kompozitleri için bileşim sürecinde yardımcı takviye olarak kullanılan pilot ölçekte atık lastiklerden grafen üretilmektedir. Uzun ömürlü, hafif batarya ve akü üretiminde elektrot malzemesi olarak kullanılan bir malzemedir (Nano grafen, Türkiye).

4.1.f. Ekipman, Makina ve Ağır Sanayi

Kompozit yüksek hızlı demiryolu vagon gövdesi: Yüksek hızlı tren için CFRP kompozit ve alüminyumdan yapılmış, ağırlığı %25 azaltılmış hibrit kompozit araç gövde yapısının geliştirilmesi sağlanmıştır. Şekil 13, TRL 6/7 1:1 ölçeğinde Talgo 350 modelin bir orta yolcu vagonunun bütün bir gövdesidir.



Şekil 13. Vagon Gövdesi

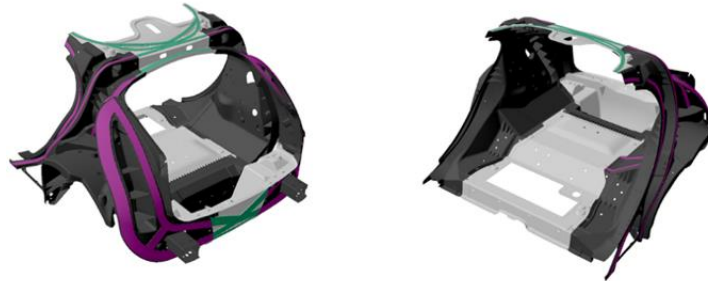
<https://www.compositesworld.com> erişim: 22.08.2023]

4.1.g. Tarımsal ilaçlama makineleri için hafif bomlar

Tarım için ölçeklenebilir, uygun maliyetli ve çevre dostu bir çözüm sağlamak amacıyla kompozitlerin ve üretim süreçlerinin akıllı kullanımına sahip modüler bir püskürtme makinesi bomu üretilmiştir. (BK Components S.A. (Arjantin (<https://www.compositesworld.com> erişim: 22.08.2023)

4.1.h. Otomotiv & Karayolu Taşımacılığı (Yapısal) TUKAN

TUCANA, Jaguar I-Pace'in tüm arka gövde yapısının yeniden tasarlanmasıyla ortaya konan, geleceğin akülü elektrikli araçlarına (BEV'ler) olanak sağlayan bir özelliktir (Jaguar Land Rover (Whitley, İngiltere).

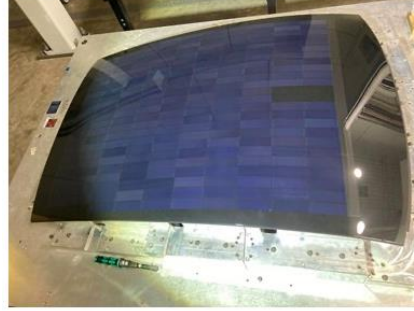


Şekil 14. Arka gövde tasarımı

<https://www.compositesworld.com> erişim: 22.08.2023]

4.1.1. Esnek Güneş Filminin FRP'ye Sorunsuz Entegrasyonu

Yüksek basınçlı reçine transfer kalıplama (HP-RTM) işlemi kullanılarak, yüksek hacimli uygulamalar için esnek güneş filminin otomotiv fiber takviyeli plastik (FRP) bileşenlerine (tavan üstü, kaporta vb.) kusursuz uyum sağlanmıştır.



Şekil 15. Esnek Güneş Filmi Uygulamaları (<https://www.compositesworld.com> erişim: 22.08.2023)

5- SONUÇ

Fosil yakıtların bitmesi, hammadde ve üretim maliyetin artması, ekolojik kaygılar, otomobil üreticilerini daha az enerji tüketimi sağlayan hafif malzeme kullanımına sevk etmektedir. Bu nedenle, metal parçalar karbon, cam, kevlar ve aramid gibi lif takviyeli kompozit ürünlerle yer değiştirmeye başlamıştır. Kompozitlerin üretim ve yatırım maliyetlerinin yüksek olması, her ne kadar enerji tasarrufu oluşturmalarına rağmen, otomotiv endüstrisinde kullanımlarını sınırlamaktadır. Geleneksel malzemelere göre otomotiv kompozitlerinde kullanılan, fosil yakıtlardan üretilen yüksek performanslı takviye malzemeleri geri dönüşüm açısından bakıldığında hâlihazırda tekrar kullanımı zor ve maliyetli süreçler içerir.

Avrupa Birliği dünyanın en büyük motorlu taşıt üreticilerinden biri olup, araştırma ve geliştirme alanındaki en büyük pazar payını temsil etmektedir. Bunun yanı sıra, Toray Industries Inc. (Japonya), Teijin Limited (Japonya), Mitsubishi Chemical Holding Corporation (Japonya), Hexcel Corporation (ABD), UFP Technologies Ltd. (ABD), Huntsman Corporation (ABD) ve Hexion (ABD), son birkaç yılda sözleşmeler ve anlaşmalar sağlayan kilit üreticilerdir. Adı geçen şirketler, otomotiv kompozitleri dünya pazarındaki

varlığını güçlendirmek için anlaşmalar, çok uluslu genişlemeler, teknolojik transferi, alt üreticilerle sözleşmeler gibi atılımlar yapmaya başlamıştır (marketsandmarkets.com Erişim: 15.9.2023).

Gelecekte motorlu taşıt kompozitleri sektörünün gelişmesini sağlayacak faktörler; hafif ve yakıt tasarruflu araçlara olan talep ile çevre dostu elektrikli veya alternatif yakıtlı araçlara olan talebin artması olacaktır. 2030'ların başlarına kadar elektrikli araçların (EV) satış fiyatları fosil yakıtlı araçların altında olması ve dünyada EV satışlarının yirmi beş yıl sonra da yılda 50 milyon adet olması beklenmektedir. Önümüzdeki 20 yıl içinde otomobillerin % 26'sının otonom sürüş yeteneğine sahip olması ve hidrojenle çalışan araç sayısında da %38 oranında artması öngörülmektedir. Her ne kadar elektrik motorlu araçlara enerji sağlayan lityum iyon ve hidrojen teknolojilerindeki gelişimin hammaddenin ucuzlamasına bağlı olarak artacağı düşünülse de; motorlu araç karoserlerindeki hafiflik ve dayanım sağlayan kompozit malzemelerin, performanslı ve ekolojik olarak üretilmesine bağlı olacağı da yadsınamaz bir gerçektir. Otomobillerin bir ulaşım aracı olması yanı sıra teknolojik ve akıllı cihazlara evrildiği ve bu açıdan bakıldığında, küresel otomotiv sektörünün geleceğini otonom sürüş, elektrifikasyon, mobilite ve araç paylaşımı gibi konuların yönlendirmesi beklenmektedir (KPMG, 2020).

Oldukça rekabetçi olan otomotiv endüstrisinde teknolojik üstünlük, pazar payı edinmede kritik rol oynamaktadır. Gelecekte hafif, verimli, az yakıt tüketen, karbon emisyonu düşük ve çevreci araçlar geliştirmek için kompozit malzeme teknolojilerine yatırım yapan otomotiv üreticilerinin önemli bir rekabet avantajı elde edecektir.

KAYNAKLAR

Autocar, 2023. <https://youtu.be/RDrWL0d1img> Erişim: 9.10.2023.

Boğaziçi Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi, 2023. <https://tto.boun.edu.tr/tr/content/otomotiv-sektoru-kompozit-malzeme-ile-hafifleyecek> erişim 22.08.2023

Composites World, 2023. <https://www.compositesworld.com/news/jec-composites-presents-2023-innovation-award-finalists> 22.08.2023 Erişim: 22.8.2023.

Compositeslab, 2023. <https://compositeslab.com/composites-compared/composites-vs-aluminum/index.html> Erişim: 19.10.2023

Friedrich, K., Almajid, A. A. (2013). Manufacturing Aspects of Advanced Polymer Composites for Automotive Applications, APPL. COMP. MAT. 20,2 (2013) 107-128
http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/technologies/materials/lightweight_materials.html

History of automotive Composites (2023). <https://www.sutori.com/story/history-of-automotive-composites--1yJrnDNy2bwyt92mgYPVa47> Erişim: 18.8.2023.

Johnson T. (2018). History of composites. The evolution of lightweight composite materials. Available from: <https://www.thoughtco.com/history-of-composites-820404>

Kalkınma Güncesi (2021) <https://kalkinmaguncesi.izka.org.tr/index.php/2021/06/17/otomotiv-sektorunde-kompozitmalzeme-kullanimi/> Erişim: 17.05.2023

Kocaoğlu, İ. 2021. "Otomotiv Sektöründe Kompozit Malzeme Kullanımı",

Kompozit Sanayicileri Derneği, 2021. Kompozit Sektörünün Hammadde Ve Tedarik Zincirindeki Sorunları Konulu Üye Toplantısı Sonuç Raporu.

https://kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2021/06/Hammadde_Raporu_1_Mayis_2021.pdf

KPMG 2020. Otomotiv Sektörel Bakış. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/tr/pdf/2020/02/sektorel-bakis-2020-otomotiv.pdf> Erişim 18.10.2023.

Kubati, A. (2019). Kompozit Malzemeler, <https://www.researchgate.net/publication/348054563> Erişim: 21.12.2023

DOI: [10.13140/RG.2.2.15696.53768](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15696.53768),

Market research, 2023. <https://www.marketresearch.com/Statistics-Market-Research-Consulting-v4058/Automotive-Composites-Global-Outlook-14411192/> Erişim: 20.10.2023

Markets Automotive Composite Reports, 2023. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/automotive-composite-market-10869121.html> Erişim: 15.9.2023.

McConnell V. (2009). The making of carbon fiber, high performance composites. Composites World. 2009;17(1): 37-42.

Ozsoy N, Mimaroğlu A, Ozsoy M, Ozsoy MI. (2015). Comparison of mechanical behaviour of carbon and glass fiber reinforced epoxy composites. Acta Physica Polonica A. 2015;127(4): 1031-1034. DOI: 10.12693/APhysPolA.127.1032

Rosato, D. V. (1997). Designing with reinforced composites: Hanser Gardner Publications.

Tri-Dung Ngo (2019). Introduction to Composite Materials DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.91285>