

Elektrikli Araçların Tasarımında Malzeme Seçiminin Önemi

Fatih Güven¹
Hikmet Rende^{*2}

ÖZ

Elektrikli araçlar artan nüfusla birlikte ihtiyacı karşılamakta yetersiz kalan fosil yakıtların kullanıldığı motorlu araçlara alternatif olarak geliştirilmiştir. Elektrikli araçların yaygınlaşması ile fosil yakıtların kullanımı neticesinde oluşan emisyonların çevresel etkilerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Menzilin kısa olması, batarya dolma süresinin uzunluğu ve satış fiyatının yüksek olması elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki engellerdir. Maliyeti büyük ölçüde bataryalardan kaynaklanan bu araçların menzili artırmak için daha fazla kapasiteye sahip batarya kullanmak gerekmektedir. Ancak ağır bir araç menzil sorunu oluşturmaktadır. Menzili artırmak için daha düşük yoğunluğa sahip alternatif malzemeler kullanarak araç hafifletilebilir. Böylece aynı batarya kapasitesi ile daha uzun yol kat edilebilmektedir. Araçların imalatında kullanılan bu malzemelerin seçiminde bulunabilirlik, çevresel etki, dayanım ve maliyet gibi unsurlar dikkate alınmalıdır. Bu çalışma kapsamında, elektrikli araçların hafifletilmesi amacı ile kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafifletilmiş araçlar, otomotiv malzemeleri, alternatif malzemeler, geri dönüşüm, çevreci araçlar

Importance of Material Selection in Design of Electric Vehicles

ABSTRACT

Electric vehicles (EVs) have been developed as an alternative to cars with fossil-fuel engine in consequence of that fossil fuels are incompetent due to increase in population. It is aimed that Green House Gases after fossil-fuel consumption will be reduced by prevalence of electric vehicles. Short ranges, long charging times and high cost are challenges that prevent wide spreading of EVs. Considerable part of costs result from battery expenditure, however, EVs need more batteries for more range. But more battery means shortening the range due to its weight. Lightweight materials are utilized to expand range of vehicle with less battery. Availability, environmental impact, strength and costs must be considered on design stage. In this study, lightweight materials and material selection process are investigated in order to lighten of EVs.

Keywords: Lightweight vehicles, automotive parts, alternative materials, recycling, ecological vehicles

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 15.06.2017

Kabul/Accepted : 26.09.2017

¹ Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya - fatihguven@akdeniz.edu.tr

² Prof. Dr., Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya - hrende@akdeniz.edu.tr

1. GİRİŞ

Elektrikli araçlar, hareket enerjisini elektrikten sağlayan araçlara verilen genel addır. Bu araçların yaygınlaşması ile fosil yakıtlarla çalışan motorlu araçlardan kaynaklanan CO₂ salınımının azalacağı düşünülmektedir. Elektrikli araçların çevresel etkilerinin yanı sıra ekonomik kullanım için çalışmalar devam etmektedir [1]. Hâlihazırda birçok otomobil üreticisi elektrikli araçlar için araştırma-geliştirme faaliyetleri sürdürmektedir.

Günümüzde elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki temel sorunlar, araçların üretim maliyetlerinin ve dolayısıyla pazar fiyatlarının yüksek olması, tam dolum ile tek seferde kat edilebilecek mesafe (menzil) ve batarya dolum (şarj) sürelerinin yüksek olmasıdır [2]. Bu açıdan bakıldığında çalışmalar, menzil artırma, dolum sürelerinin azaltılması veya alternatif dolum yöntemlerinin geliştirilmesi ve maliyetlerin asgariye çekilmesi yönünde ilerlemektedir.

Yakıt tasarrufu sağlaması ve çevre koruma amaçlı üretilen elektrikli araçların hareket sistemi bataryalardan dolayı toplam araç ağırlığının %20'sini oluşturmaktadır [3]. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar aynı zamanda önemli bir maliyet unsurudur. Maliyet düşünülerek batarya kapasitesinin azaltılması menzil sorununa yol açmaktadır. Bu durumda ise ara istasyonlarda hızlı dolum veya tam dolu batarya ile hızlı değiştirme ile aracın zaman kaybı olmadan yoluna devam etmesinin sağlanması planlanmaktadır. Ancak bu durumda da alt yapının son derece sistematik olması gerekmektedir. Bir diğer menzil artırma yöntemi ise aracın hareket halinde iken şarj edilmesidir. Bunun için güneş panelleri gibi anlık enerji üreteçlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak güneş panellerinin verimi ve maliyeti dikkate alındığında bu fikir şu an için pratik görünmemektedir [1].

Aynı zamanda bu çalışmanın konusu olan enerji etkin kullanımda ise var olan batarya ile azami menzil sağlanmasıdır. Bunun için aracın, yeteri dayanımdaki alternatif malzemeden imal edilmiş parçalardan üretilerek hafifletilmesi istenmektedir. Hafif araçlar emsallerine göre daha az yakıt tüketimi ile eşit mesafede yol gidebilmektedir. Başka bir deyişle, tam dolu yakıt deposu ile (fosil veya elektrik) daha fazla yol kat edebilmektedir.

Genel olarak yolcu araçlarının kendi ağırlıklarını ve yolcuları taşımak için tükettikleri enerji, üretimden geri dönüşüme kadar olan ömürleri boyunca kullandıkları enerjinin yaklaşık %86'sıdır [4]. Araçtan atılan her bir kg için tek şarjda 3 km daha fazla yol alınmaktadır [5].

Alüminyum alaşımları, kompozitler ve plastiklerin alternatif olarak havacılık sektöründe kullanıldığı bilinmektedir. Bu malzemelerin araçlar için maliyet/dayanım ora-



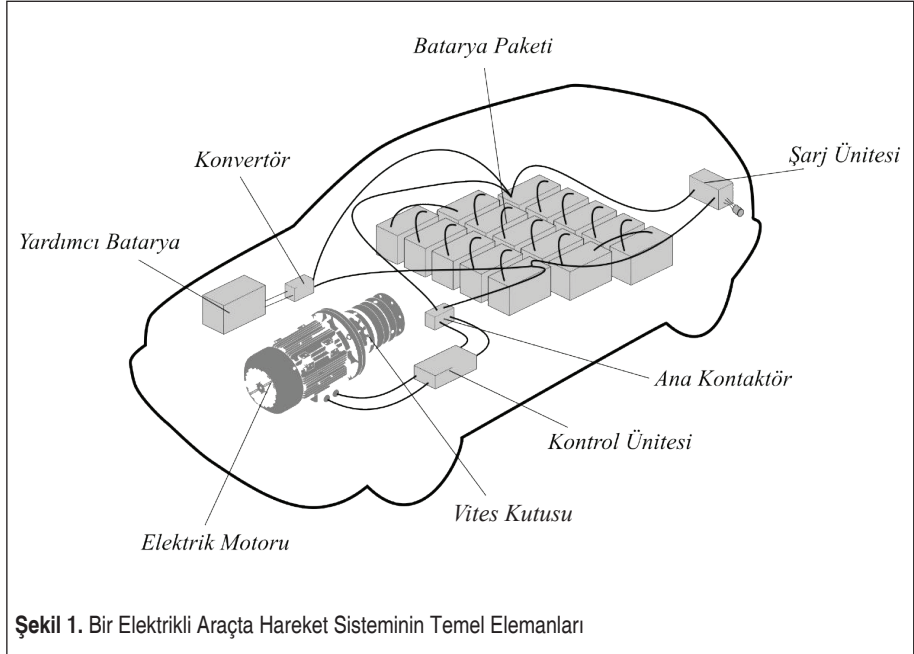
nında optimize edilerek elektrikli araçlarda kullanılması ile güvenilirlikten ödün vermeden hafif araçlar üretilebilecektir.

Elektrikli araçlarda kullanılacak malzemelerin emsallerine göre hafif, seri üretime uygun, uzun ömürlü ve çevreci olması gerekir. Hafif malzemelerin araçlarda kullanımı aracın hızlanma ve sürüş performansına, titreşim ve ses gibi özelliklerinin iyileştirilmesine de katkı sağlamaktadır [6]. Bu çalışma kapsamında, elektrikli araç endüstrisinde kullanılan malzemeler ve malzeme seçiminin önemi incelenmiştir.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Elektrikli araçlar, temiz enerji sunması, fosil yakıtların mevcut ihtiyacı karşılamada yetersiz kalması ve yakıt maliyetinin artması gibi sebeplerden dolayı karayolu ulaşımında alternatif olarak sunulmuştur. Şekil 1’de bir elektrikli aracın yapısı görülmektedir.

Temel olarak bataryaya depolanmış olan enerjinin elektrik motorlarını harekete geçirmek için kullanılması prensibine dayanmaktadır. Günümüzde tamamen elektrikli veya hibrit olarak kullanımı mevcuttur. 2016 yılı itibarıyla birçok otomotiv üreticisi elektrikli araç üretimi yapmaktadır. Elektrikli araçlardaki sorun, fosil yakıtlı araçlara kıyasla, menzilin kısa olmasına karşın maliyetinin yüksek olmasıdır.



Yakıt ekonomisi ile maliyetini amorti edebilse de menzilin kısa olması ve uzun şarj süreleri tercih edilmesinin önündeki engeldir. Nitekim ülkemizdeki satılmış elektrikli araç sayısı 2015 yılı için 91 adetle sınırlı kalmıştır [7]. Dünya genelinde ise elektrikli araç üretiminde ve satışında son yıllarda artış gözlenmektedir. 2015 yılı Ağustos ayı itibarıyla dünya genelinde bir milyonun üzerinde elektrikli araç satılmıştır [8].

Avrupa Komisyonu'nun araç sürücülerinin sürüş ve park alışkanlıkları araştırmasına göre, günlük sürüş mesafeleri Polonya ve İspanya için 70 km'den fazla iken Birleşik Krallık için 40 km, Almanya, İtalya ve Fransa için 50 ila 60 km arasındadır [9]. Tablo 1'de, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Çevre Koruma Ajansı'nın verilerinden alınan bazı elektrikli araçların özellikleri görülmektedir [10].

Tablo 1. Bazı Elektrikli Araçların Özellikleri

Model	Motor	Yakıt Ekonomisi (Birleşik/Şehir içi/ Otoyol)		M	ŞŞ (saat)	YYM (USD)
		MPGe	kWh/100 mil			
Smart ForTwo	55 kW DCPM	107/122/93	32/28/36	68	6	500
Fiat 500e	82 kW AC İndüksiyon	112/121/103	30/28/33	84	4	600
BMW i3 BEV	125 kW AC İndüksiyon	124/137/111	27/25/30	81	4	550
Chevrolet Spark EV	125 kW ACPM	119/128/109	28/26/31	82	7	550
Mitsubishi i-MIEV	49 kW DCPM	112/126/99	30/27/34	62	7	600
Ford Focus Electric	107 kW AC PMSM	105/110/99	32/31/34	76	3,6	600
Volkswagen e-Golf	85 kW AC PMSM	116/126/105	29/27/32	83	7/3,7	500
Mercedes-Benz	132 kW AC İndüksiyon	84/85/82	40/39/41	87	3,5	800
Nissan Leaf (30 kW-h BP)	80 kW DCPM	112/124/101	30/27/33	107	6	600
Tesla Model S(90 kW-h BP)	285 kW AC İndüksiyon	89/88/90	38/38/37	265	12/4,8	750
KIA Soul Electric	81 kW AC PMSM	105/120/92	32/28/37	93	4	600
<p>M : Menzil (%55 şehir içi ve %45 otoyol) (mil, 1 mil=1,609344 km) ŞŞ : Şarj süresi (*Normal/Hızlı şarj) YYM : Yıllık yakıt maliyeti (Amerikan doları) DCPM : Doğru akım sürekli mıknatıs fırçasız motor PMSM : Sürekli mıknatıs senkron motor MPGe : Galon başına mil eşdeğeri</p>						



Elektrikli araçların menzilinı artırmak için batarya kapasitesinin artırılması maliyeti artırmaktadır. Bu nedenle, kullanılan batarya sayısını ve kapasitesini optimize ederek aracın hafifletilmesi menzilinı artıracaktır. Yapılan çalışmalarda, araç ağırlığının %10 azalmasına karşılık %3-%7 oranında yakıt tasarrufu sağlandığı görülmüştür [11,12].

3. ARAÇ ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN MALZEMELER

Otomotiv endüstrinde kullanılan malzemelerin bulunabilir, çevreci, düşük maliyetli ve güvenli olması istenmektedir. Bu açıdan kullanılacak malzemenin görevini yerine getirecek ölçüde etkin bir şekilde seçilmesi önemlidir. Mühendislerin kaliteli çevreci malzemeleri kullanırken maliyeti de göz önüne alarak uygun değerleri elde etmeleri gerekmektedir [13]. Otomotiv endüstrisinin malzemeden beklentileri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Otomotiv Endüstrisinin Malzemeden Beklentileri [13]

İhtiyaç	Eylem	Malzemenin önemi
Kaynakların korunması Çevrenin korunması	Tüketimin azaltılması Araç ağırlığının azaltılması	Hafif metallerin kullanımı Etkinlik/Ağırlık oranı Düşük sürtünmeli malzeme çifti
	Kirletici gazların azaltılması - Kullanımda - Üretimde	Toksik olmayan malzeme kullanımı Düşük emisyonlu işlem
	Geri dönüşüm	Geri dönüştürülebilir malzeme Yeniden kullanılabilir plastik malzeme uygulamaları Yenilenebilir organik malzeme kullanımı
Düşük fiyat	Geliştirme ve üretimde maliyetin düşürülmesi	Düşük fiyatlı malzeme kullanımı Düşük maliyetli üretim süreci

Günümüzde ortalama bir yolcu aracının yaklaşık olarak %75’i, büyük bir çoğunluğu düşük karbonlu olmak üzere metallerden oluşmaktadır [14]. 2020 yılında kadar bir araçta kullanılan malzemelerin %55 metal, %18 plastik, %7 kauçuk ve kalan kısmının da çeşitli malzemelerden oluşacağı tahmin edilmektedir [3].

Otomotiv endüstrisinde geliştirilen malzemelerin iki ayrı odak noktası söz konusudur. Bunlar aracın hareket sistemini ve gövdesini oluşturan parçalardır. Elektrikli araçların hareket sistemi güç kaynağı (batarya), aktarma organları ve elektrik motorundan oluşmaktadır. Dolayısıyla hareket sisteminde kullanılan malzemeler direkt olarak bu elemanlardan etkilenmektedir. Gövdesinde ise araç güvenliğini, konforu ve çevresel koşulları dikkate alarak çeşitli malzemeler kullanılmaktadır.

Literatürde, araç ağırlığını azaltabilmek için yüksek dayanımlı çelikler, alüminyum, magnezyum, plastikler ve kompozitler gibi birçok malzeme önerilmektedir [15].

3.1 Metaller

Çelikler

Çelik ve döküm ortalama bir aracın dörtte üçünü oluşturduğu için daha etkin kullanımı ile ağırlık azaltılmasında önemli bir rol oynar. Çelikler çarpışmada darbe enerjisini sönmüleme özelliğinden dolayı otomobillerde önemli bir malzemedir [16]. Çeliklerin iyi şekillenebilir olması ve birleştirme özelliğinin üstün olması otomotiv tasarımında ilk tercih haline gelmesini sağlamıştır [17]. Otomobillerde büyük oranda kullanılan çeliklerin dayanımlarının yüksek olmasına karşın, yoğunluklarının da yüksek olması nedeniyle düşük yoğunluklu alternatif malzemeleri gündeme getirmiştir. Ancak halen çelikler araçlarda en çok kullanılan malzemedir.

Çeliklerin birim kütesinden daha fazla verim almak için mekanik özellikleri geliştirilerek kullanılmaktadır. Bunlara genel olarak geliştirilmiş yüksek dayanımlı çelikler (AHSS) ismi verilmektedir. Yüksek dayanımlı çeliklerin çift fazlı (DP), faz dönüşümü kaynaklı plastiklik (TRIP), karışık fazlı (CP) ve martenzitik (MART) çelik türleri mevcuttur [18]. Yüksek dayanımlı çelikler (HSS) akma dayanımları 210 MPa ila 550 MPa arasında değişirken, ultra yüksek dayanımlı çeliklerin (UHSS) akma dayanımları 550 MPa'dan fazladır. Geleneksel çeliklere nazaran %50 daha fazla maliyetli olmalarına rağmen, hedef dayanım için daha ince sac kalınlığına ulaşabilirler [19]. Yüksek dayanımlı çeliklerin, kütle tasarrufu sağlamanın yanında, çarpışmada güvenlik açısından etkin olması diğer demir olmayan metallerle rekabet edebilmesine olanak tanır [18].

Alüminyum

Otomobilde alüminyum döküm yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum, otomobil jantlarında, konsolda, fren sisteminde, süspansiyonda, yönlendirme (direksiyon) sisteminde ve gösterge panelinde kullanılmaktadır [19].

Alüminyumun maliyeti ve fiyat istikrarı sac kullanımının önündeki en büyük engeldir. Otomotiv sektöründe alüminyumun kullanımı için önemli çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle alüminyumun otomobil gövdesinde kullanımı ağırlık azaltılması açısından önemlidir. Çelik yerine alüminyum kullanılması durumunda toplam araç ağırlığından %20-%30 oranında tasarruf edilebilmektedir [19].

Alüminyum, gövdede çeliklere benzer şekilde üretilebileceği gibi, yürüyen aksam olarak döküm, ekstrüzyon ve kaynaklı birleştirme ile üretilebilir [20]. Tablo 3'te alüminyum ve çeliklerin bazı özellikleri kıyaslanmıştır.



Tablo 3. Paslanmaz Çeliklerin, 6061 Alüminyum Alaşımının ve Yüksek Dayanım Çeliğinin Karşılaştırılması [21]

Özellik	DP ¹	Östenitik Paslanmaz Çelik			6061 Al Alaşımı		HSLA
		Tavlanmış	C850 ²	C1000 ³	T4 ⁴	T6 ⁵	
Yoğunluk [g/cm ³]	7,8	7,9	7,9	7,9	2,7	2,7	7,83
Akma Dayanımı σ [N/mm ²]	640	370	600	880	130	275	410
σ/ρ oranı	82	46,8	76	111,4	48,1	100	52,4
1) Çözelti tavlama yapılmıştır 2) Soğuk işlenmiş durumda C850 (850<Çekme Dayanımı<1000) 3) Soğuk işlenmiş durumda C1000 (1000<Çekme Dayanımı<1150) 4) Isıl işlem uygulanmıştır 5) Çökeltme işlemi uygulanmıştır DP: Çift Fazlı Paslanmaz Çelik HSLA: Yüksek dayanımlı düşük alaşım çeliği							

Magnezyum

Magnezyum düşük yoğunluğuna karşın sunduğu yüksek dayanım ile otomotiv sanayinde, araç ağırlığının düşürülmesi amacıyla çelik, döküm ve alüminyumla alternatif olarak kullanılmaktadır. En düşük yoğunluktaki çeliğin yaklaşık 7,2 g/cm³, alüminyumun 2,7 g/cm³ olduğu göz önüne alındığında magnezyum 1,8 g/cm³ yoğunluğu ile önemli bir alternatiftir [22]. Hâlihazırda magnezyum, otomobillerin direksiyonlarında, göstergelerde, kapı çerçevesinde ve koltuklarda kullanılmaktadır [4]. Şunu da belirtmek gerekir ki, magnezyumun çeliğe göre dörtte bir yoğunluğa sahip olması aracın ağırlığının %75 azalacağı anlamı taşımamaktadır [23]. Magnezyum ince kesitlerde eğilmeye karşı yüksek mukavemet, rijitlik, dayanım ve enerji sönmeme özelliklerini sağlarken yüksek oranda kütle tasarrufu sağlayabilir [22].

Magnezyum alaşımları, alüminyum alaşımları ile benzer sıcak deformasyon özelliklerine sahip olduğu için kalıpta üretilebilir. Kalıpta dövme ve döküm ile nihai parça şekline yakın üretim yapılabilir. İnce sac olarak üretimi mümkün olduğu için kütle tasarrufuna uygundur. Aynı zamanda magnezyum alaşım parçaların eritme kaynağı ve sürtünme karıştırma kaynağı yöntemleri ile de üretimi mümkündür [4].

3.2 Kompozitler

Lif destekli polimer matris (FRP) kompoziti, araçların hafifletilmesinde kullanılırken, dayanım, korozyon direnci ve darbe sönmeme gibi avantajları da beraberinde

getirir. Ancak yüksek maliyet, yavaş üretim hızı, geri dönüşümündeki sıkıntılar ve otomotiv endüstrisinin kompozit konusundaki tecrübesizliği yaygınlaşmasını engellemektedir [24]. Polimer matris için en çok kullanılan lif takviyeleri karbon ve cam fiberdir. Cam takviyeli polimer matris kompozitinin (GFRP) kullanımı ile %20 - %35 civarında, karbon takviyeli polimer matris kompozitinin (CFRP) kullanımı ile %40 - %60 civarında ağırlık tasarrufu sağlanacağı tahmin edilmektedir [25].

3.3 Polimerler

Plastiklerin petrol bazlı malzemeler olmasından dolayı kullanımında bazı sorunlar bulunmaktadır. Fiyatı petrol fiyatlarından direkt olarak etkilenmektedir. Ayrıca, kullanılan plastik malzemenin çevresel etki açısından yeniden kullanılabilir türden olması gerekir. Araçlarda kullanılan plastiklerin yüzde fazla çeşidi bulunmakta ve özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Plastiklerin otomotiv sanayinde seçimi, görüntü, rijitlik, dayanım, ağırlık ve maliyet ekseninde değerlendirilmektedir [3].

3.4 Köpük

Danimarkalı tasarım ekibi olan EcoMove tarafından geliştirilen ve ARPRO® Inrekor™ köpük şase ile hafifletilmiş bir elektrikli araç örneği batarya hariç 400 kg ağırlığındadır. Bu ağırlık eşdeğerdeki geleneksel bir araç ağırlığının yaklaşık olarak üçte birine denk gelmektedir [5].

3.5 Doğal Malzemeler

Hafif ve düşük maliyetli olan doğal lifler iç ve dış otomobil parçasında cam ve mineral dolgu yerine kullanılabilme imkânına sahiptir. Geçen yıllarda Avrupalı otomobil üreticileri doğal lifli kompozitlerin kapı panellerinde, koltuklarda, tavan döşemesinde, bagaj konsolunda ve ön göğüs konsolunda kullanımını uygun görmüşlerdir. Kenaf bitkisi, kendir, keten, jüt ve sisal gibi doğal lifler otomobil parçalarının güçlendirilmesinde kullanılırken düşük ağırlık, düşük maliyet, düşük CO₂ salınımı ve daha az petrol bağımlılığı gibi faydalarının yanı sıra çevre dostudur [19].

4. MALZEME SEÇİMİ

Otomotiv endüstrisinde çok sayıda malzeme çeşidi kullanılmaktadır. Bu malzemelerin alt sınıfları ve her sınıftaki malzemenin farklı mekanik özellikleri bulunmaktadır. Fonksiyon, malzeme, şekil ve üretim yöntemi bir bütün olarak düşünülmektedir [26]. Seçilen malzemenin tasarım ilkeleri gereği fonksiyonu yerine getirmesi, zorlama şekline uygun olması, şekillendirme ilkelerine uygun olması, montaj ve imalata uygun olması, maliyetinin uygun olması ve çevresel etkilerinin standartlara uygun olması



gerekir. Tüm bunların tek bir malzemede bir araya gelmesi ender bir durum olduğundan, bu ilkeleri mümkün olduğunca sağlayan bir malzemenin seçilmesi gerekir.

Malzeme seçiminde genel olarak 4 temel aşama söz konusudur: belirleme, inceleme, sıralama, araştırma. Belirleme aşamasında malzemedeki beklentiler ve gereksinimler belirlenir. İnceleme aşamasında gereksinimleri sağlamayan, fonksiyonu yerine getirmeyen malzemeler elenir. Kalanlar sıralama aşamasında değerlendirmeye tabi tutulur. Araştırma aşamasında aday malzemeleri detaylı özellikleri değerlendirilerek seçim tamamlanır [26].

Yasal düzenlemeler, kirletici gaz salınımlarının azaltılmasını, gelişmiş yolcu güvenliğini, yakıt ekonomisini, işyerlerindeki gaz salınımlarının azaltılmasını, güvenliği ve zehirleyici malzemelerin bertarafını zorunlu tutmaktadır [19].

Elektrikli araçlar çevreci olarak sunulan özel araçlardır. Bu araçların imalat, kullanım ve geri dönüşüm süreçlerinde çevresel etkileri ön plandadır. Bu açıdan, kullanılan malzemelerin yatırım maliyeti ile birlikte çevresel etkileri de dikkate alınmalıdır. Ancak bu araçların yüksek pazar fiyatlarında sunulması satışlarını olumsuz etkileyeceğinden, bu araçların piyasaya sunulma nedeni olan düşük kirletici gaz salınımı ve temiz enerji hedefine ulaşılması zorlaşacaktır. Çevreci, ucuz ancak hantal malzemeler ise aracın menzilinün kısa olmasına sebebiyet verdiği için malzeme geliştiricileri ve otomotiv üreticilerinin çözmesi gereken bir sorundur. Şu durumda bir elektrikli aracın üretiminde, fonksiyonu yerine getirecek, çevreci, düşük maliyetli ve hafif malzemeler tercih edilmelidir.

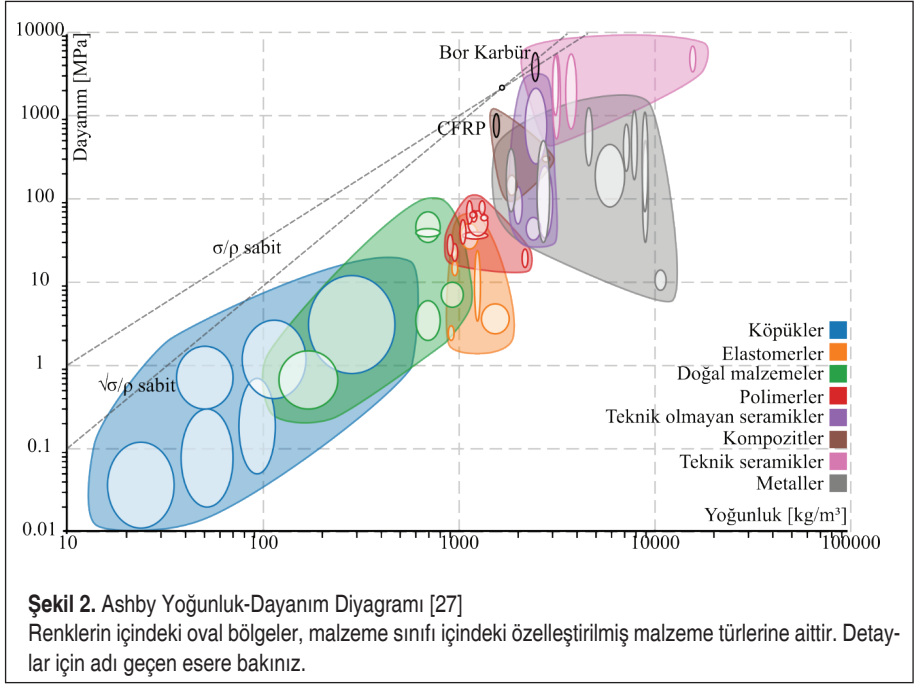
Bir araçta her parçanın fonksiyonu ve gereksinimi farklıdır. Öncelikle ilgili parçanın gereksinimi belirlenmelidir. Bu parçanın fonksiyon, şekil ve işleme gereklilikleri dikkate alınarak malzeme seçilmesi uygundur.

Hafif Malzemeler

Malzeme seçimi için, otomobil parçasının taşıyacağı yükü emniyetle karşılayacak olan hafif malzemelerin belirlenerek kütle tasarrufu sağlanır. Elektrikli araçlarda kullanılan malzemelerin hafif olması enerji gereksinimini azaltacağı için çevresel etkiler açısından önemlidir. Şekil 2’de görülen Ashby yoğunluk-dayanım diyagramında [26] çeşitli malzemeler bir arada sunulmuştur.

Çevresel Etkiler Açısından Malzeme Seçimi

Elektrikli araçların çevreci araçlar olarak sunulması kullanılan malzemeler ve imalat süreci üzerindeki baskıları artırmaktadır. Dolayısıyla bir elektrikli araçta seçilecek malzemenin, üretim, kullanım ve geri dönüşüm aşamalarında çevresel etkileri değerlendirilmektedir [19].



Tercih edilen malzemelerin, hammaddeden geri dönüşüme kadar, emisyon ve enerji gereksinimlerini karşılayacak nitelikte olması için birçok otomobil üretici tasarım aşamasında yaşam döngüsü analizi yapmaktadır [28].

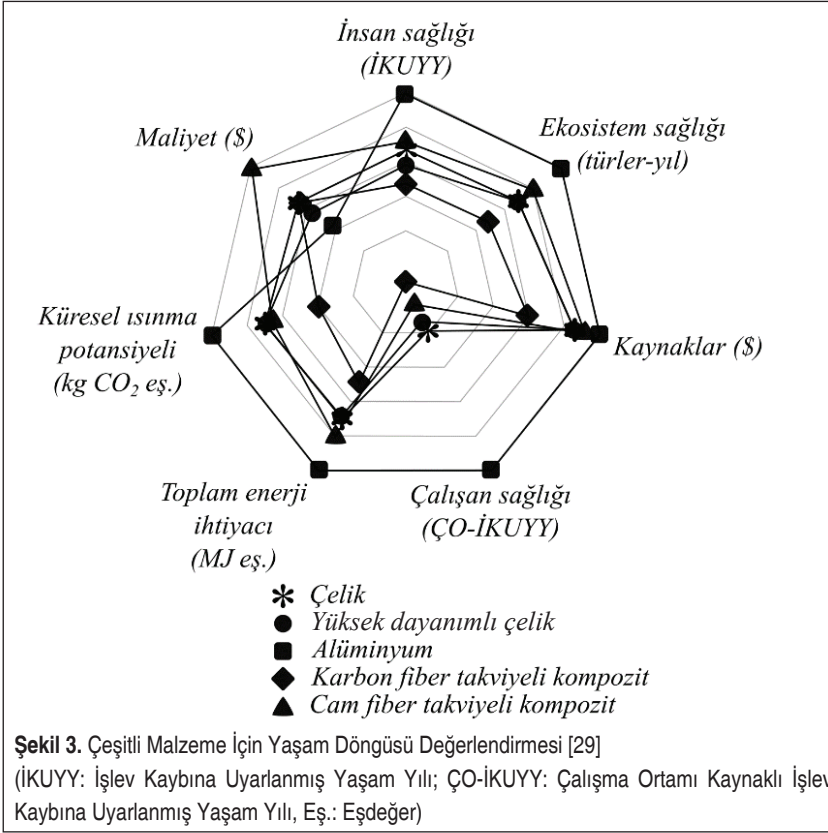
Şekil 3'te, otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemelerin yaşam döngüsü değerlendirilmesi görülmektedir.

Güvenlik

Araçların güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için çarpışma testlerinden geçmesi gerekir. Çarpışma esnasında, çarpışmanın şekline göre aracın farklı parçalarında farklı zorlanmalar meydana gelir. Araç güvenliği açısından zorlamaya maruz kalan parçanın sadece malzemesi değil, aynı zamanda geometrisi de önem kazanır [28].

Otomobillerde güvenlik için daha çok içi boş profiller tercih edilir [30]. Çarpışma açısından seçilen malzemenin profil olarak kullanmaya uygun ve enerji sönmüleme özelliğinin iyi olması beklenir. Tablo 4'te, enerji sönmüleme özelliği açısından bazı malzemeler kıyaslanmıştır.

Tablo 4'e bakıldığında, genel olarak, alüminyum köpükleri alüminyum alaşımlarına ve ultra yüksek dayanımlı çeliklere göre daha iyi performans sağlarken, kompozitler



ve magnezyum diğer malzemelere göre çok daha iyi sönümleme özelliğine sahiptir [31].

Maliyet

Malzemenin birim satış fiyatının yüksek olması, malzemenin yüksek maliyetli olması anlamına gelmemektedir. Yüksek dayanımlı bir malzeme emsaline göre daha az ağırlıkla mukavemet sağlayacağından birim satış fiyatı tek başına bir ölçüt değildir.

Bir ürün maliyeti, hammadde fiyatı, işleme, işletme, bakım ve geri dönüşüm maliyetleri dikkate alınarak belirlenir [32]. Seçilecek malzeme için yaşam döngüsü maliyeti analizi yapılmalıdır. Bir elektrikli aracın, fosil yakıtlı araçlara göre satış fiyatı yüksek olabilir; ancak yaşam döngüsü maliyeti dikkate alındığında, toplam maliyeti daha düşük olabilir. Elektrikli araçların satın alım fiyatı yüksek olmasına karşın kullanım (işletme) maliyeti fosil yakıt fiyatlarının yüksek olması nedeniyle daha düşüktür. Ülke bazında bakıldığında ise fosil yakıtlı araçların oluşturduğu kirliliğin etkisini azaltmak

Tablo 4. Bazı Malzemelerin Enerji Kırılımı [31]

	Malzeme*		Yoğunluk	Enerji Kırılımı/ Birim Hacim [MJ/m ³]	Enerji Kırılımı/ Birim Kütle [MJ/kg]
Al Köpük	Cymat Köpük	(0,2)	560	6,3	0,01
	Alulight Köpük	(0,35)	1000	11,2	0,011
	Alporas Köpük	(0,1)	250	1,394	0,006
	ERG Köpük	(0,1)	250	2,7	0,011
	Duracore Köpük	(0,35)	1000	17	0,017
UYDS	DP500		7800	70	0,009
	DP600		7800	66,5	0,009
	TRIP800		7800	132,3	0,016
	CP-W800		7800	64	0,008
	MS-W1200		7800	52	0,007
Al	AA5454-H2		2680	26,5	0,01
	AA5454-H4		2680	23,8	0,009
	CFRP		1570	188,4	0,120
	Magnezyum		1945	55,35	0,028
Al: Alüminyum, UYDS: Ultra Yüksek Dayanımlı Çelikler, CFRP: Karbon Fiber Takviyeli Kompozit * Köpükler için parantez içindeki değerler bağıl yoğunluklardır.					

için yapılan çalışmaların maliyeti, daha az kirlilik oluşturacağı düşünülen elektrikli araçların yaygınlaşması ile daha az olacaktır.

Bir başka açıdan bakıldığında ise elektrikli araçta kullanılacak malzemenin imalat maliyeti yüksek olmasına karşın, hafif ve çevreci bir malzeme ise kullanım ve geri dönüşüm maliyetleri açısından değerlendirildiğine daha ekonomik olacaktır.

Alüminyum ve magnezyum alaşımlarının maliyeti, mevcutta kullanılan çelik ve dökme demire göre yüksektir. Üretim zamanı, işlenebilirlik, değişik sac kalınlıklarında kullanılabilirlik, ölçü toleransları, daha az parça montajı ihtiyacı ve son parça şekline yakın üretim gibi özellikler değerlendirildiğinde, dökme demir ve çeliklere kıyasla, alüminyum döküm ve magnezyum parçalar daha az maliyete sahip olabilir. Dövülebilir alüminyum ve magnezyum parçalar, demir içerikli parçalara göre daha pahalı olabilir. Maliyeti yüksek olabileceğinden, hafif metallerin seçiminde karar verirken işlevsellik dikkate alınmalıdır.



5. SONUÇ

Elektrikli araçların yaygınlaşması için, menzilin artırılması, maliyetinin azaltılması ve şarj sorunun çözülmesi gerekir. Bu araçların aynı kapasitedeki batarya ile daha fazla yol kat edebilmeleri için ağırlıklarının azaltılması gerekir. Ağırlığının azaltılması ile menzili artacak olan elektrikli araçlar daha az batarya kapasitesine ihtiyaç duyacağından önemli bir maliyet unsuru olan bataryaların miktarının azaltılması sağlanabilir.

Bu araçların üstlendikleri görev açısından çevresel etkisine bakıldığında, emisyonlarının olabildiğince düşürülebilmesi için kullanılan malzemenin üretim, kullanım, bakım ve geri dönüşüm aşamalarının değerlendirilmeye alınması gerekir. Malzemenin sadece hafif olması kullanıma uygun olduğu anlamına gelmez. Hammaddeyi ürüne dönüştürmek için uygulanan işlemlerinde çevreci olması gerekir. Ayrıca, kullanılan malzemelerin ömürlerini tamamladıktan sonra geri dönüştürülebilir olması gerekir.

Seçilen malzemenin hafif olması kullanım aşamasında yakıt tasarrufu sağlayacak olmasından dolayı avantajlı görünse de üretim ve geri dönüşüm maliyetleri veya çevresel etkilerinin bertaraf edilmesi için kullanılacak kaynakların maliyeti dikkate alındığında, eşdeğer malzemeye göre toplam maliyetinin yüksek olması söz konusudur.

Elektrikli araçların kullanım esnasında güvenliği tehlikeye atmaması için zorlamalara uygun malzemelerin kullanılması önemlidir. Güvenliğin sağlanabilmesi için malzemenin yanı sıra geometrisi de önemlidir. Dolayısıyla malzemenin kullanılacağı yere göre şekillendirilebilme, dayanım ve enerji sönümleme gibi ihtiyaçları karşılaması gerekir.

Sonuç olarak, seçilecek malzemenin hammaddeden geri dönüşüme kadar tüm aşamaları dikkate alınarak seçim yapılması gerekir.

KAYNAKÇA

1. **Larminie, J., Lowry, J.** 2003. *Electric Vehicle Technology Explained*, John Willey & Sons LTD, Oxford.
2. **Chan, C. C.** 2001. *Modern Electric Vehicle Technology*. Oxford University Press, New York.
3. **Rouilloux, G., Znojek, B.** 2012. "Plastics. The Future for Automakers and Chemical Companies," https://www.atkearney.com/documents/10192/244963/Plastics-The_Future_for_Automakers_and_Chemical_Companies.pdf, son erişim tarihi: 20.04.2016.
4. **Watarai, H.** 2006. "Trend of Research and Development for Magnesium Alloys-Reducing the Weight of Structural Materials in Motor Vehicles," *Science and Technology Trends*, vol. 2.
5. **Ashley, S.** 2012. "Lightweight Sandwich Structures for EV Chassis," <http://articles.sae.org/11744/>, son erişim tarihi: 20.04.2016.



6. Center for Automotive Research. 2011. Automotive Technology: Greener Products, Changing Skills-Lightweight Materials & Forming Report, U.S. Employment and Training Administration, <http://www.drivingworkforcechange.org/reports/lightweightMaterials.pdf>, son erişim tarihi: 21.04.2016.
7. Habertürk. 2015. “Elektrikli Otomobil Sayısı Artıyor,” <http://www.haberturk.com/ekonomi/otomobil/haber/1150121-elektrikli-otomobil-sayisi-artiyor>, son erişim tarihi: 26.03.2016.
8. **Cobb, J.** 2015. “One Million Global Plug-in Sales Milestone Reached,” <http://www.hybridcars.com/one-million-global-plug-in-sales-milestone-reached/>, son erişim tarihi: 23.03.2016.
9. **Pasaoglu, G., Fiorello, D., Martino, A., Scarcella, G., Alemanno, A., Zubaryeva, A., Thiel, C.** 2012. Report EUR 25627 EN: Driving and Parking Patterns of European Car Drivers - A Mobility Survey, Joint Research Centre of the European Commission, Netherlands, https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/Driving_and_parking_patterns_of_European_car_drivers-a_mobility_survey.pdf, son erişim tarihi: 16.03.2016.
10. U.S. Department of Energy. Fuel Economy Guide, DOE/EE-1249, <https://www.fueleconomy.gov/feg/pdfs/guides/FEG2016.pdf>, son erişim tarihi: 30.04.2016.
11. **Pagerit, S., Sharer, P., Rousseau, A.** 2006. “Fuel Economy Sensitivity to Vehicle Mass for Advanced Vehicle Powertrains,” SAE Technical Paper 2006-01-0665, 2006, <https://doi.org/10.4271/2006-01-0665>.
12. **Ashley, S.** 2010. “Shedding Pounds on a Magnesium Diet,” *Automotive Engineering International*, p. 34–36.
13. **Wilhelm, M.** 1993. “Materials used in Automobile Manufacture - Current State and Perspectives,” *Journal de Physique IV Colloque*, vol. 3, p. 31–40.
14. **Ashley, S.** 2013. “Lightweight Materials Compete for Automakers’ Attention,” <http://articles.sae.org/12090/>, son erişim tarihi: 21.04.2016.
15. **Kollamthodi, S., Duncan, K., Ian, S., Craig, D., Hausberger, S.** 2015. The Potential for Mass Reduction of Passenger Cars and Light Commercial Vehicles in Relation to Future CO2 Regulatory Requirements, Report for the European Commission – DG Climate Action, Ricardo-AEA, https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/ldv_downweighting_co2_report_en.pdf, son erişim tarihi: 21.04.2016.
16. **Marsh, M.** 2000. “Development of Auto Body Sheet Materials for Crash Performance,” Conference of Materials and Structures for Energy Absorption, 9 May 2000, London.
17. **Magnusson, C., Andersson, R.** 2001. “Stainless Steel as a Lightweight Automotive Material,” <http://www.bssa.org.uk/cms/File/Conf%2003%20SS%20as%20a%20Lightweight%20Automotive%20Material.pdf>, son erişim tarihi: 18.03.2016.
18. **Kuziak, R., Kawalla, R., Waengler, S.** 2008. “Advanced High Strength Steels for Automotive Industry,” *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 8 (2), p. 103–117.



19. **Ghassemieh, E.** 2011. "Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects," in *New Trends and Developments in Automotive Industry*, Marcello Chiaberge (editor), DOI: 10.5772/1821.
20. **Cole, G. S., Sherman, A. M.** 1995. "Lightweight Materials for Automotive Applications," *Materials Characterization*, vol. 35 (1), p. 3–9.
21. **Cunat, P. J.** 2000. "Stainless Steel Properties for Structural Automotive Applications," *Metal Bulletin International Automotive Materials Conference*, 21-23 June 2000, Cologne.
22. **Easton, M., Beer, A., Barnett, M., Davies, C., Dunlop, G., Durandet, Y., Blacket, H. T., Beggs, P.** 2008. "Magnesium Alloy Applications in Automotive Structures," *Journal of Minerals, Metals, and Materials*, vol. 60 (11), p. 57–62.
23. **Easton, M., Gibson, M., Beer, A., Barnett, M., Davies, C., Durandet, Y., Blacket, S., Chen, X., Birbilis, N., Abbott, T.** 2012. "The Application of Magnesium Alloys to the Lightweighting of Automotive Structures," 4th International Conference on Sustainable Automotive Technologies, Springer, p. 17–23.
24. **Thilagavathi, G., Pradeep, E., Kannaian, T., Sasikala, L.** 2010. "Development of Natural Fiber Nonwovens for Application as Car Interiors for Noise Control," *Journal of Industrial Textiles*, vol. 39 (3), p. 267–278.
25. **Das, S.** 2001. *The Cost of Automotive Polymer Composites: A Review and Assessment of DOE's Lightweight Material Composites Research*, U. S. Department of Energy, U.S.
26. **Ashby, M. F.** 2011. *Materials Selection in Mechanical Design*, 4th Edition, ISBN: 978-1-85617-663-7, Elsevier, Elsevier-Butterworth-Heinemann, Oxford.
27. Wikipedia. 2016. "Material Selection," https://en.wikipedia.org/wiki/Material_selection. son erişim tarihi: 20.04.2016.
28. **Davies, G.** 2003. *Materials for Automobile Bodies*, ISBN: 9780080969800, Butterworth-Heinemann, Elsevier-Butterworth-Heinemann, Oxford.
29. **Lloyd, S., Scanlon, K., Lengacher, D.** 2012. "Improving Life Cycle Assessment by Considering Worker Health and Comparing Alternatives Based on Relative Efficiency," *Sustainable Automotive Technologies, Proceedings of the 4th International Conference*, 21–23 March 2012, Melbourne, Edited by: Subic A, Wellnitz J, Leary M, Koopmans L. 2012, Springer, New York, p. 305-311.
30. **Rathnaweera, G., Yvonne Durandet, D., Ruan, M. H.** 2012. "Performance of Advanced High Strength Steel and Aluminium Alloy Tubes in Three-Point Bending," *Sustainable Automotive Technologies*, p. 25–32.
31. **Carruth, M.** 2011. *Design Optimization Case Study: Car Structures*, WellMet2050, University of Cambridge, Cambridge.
32. **Asiedu, Y., Gu, P.** 1998. "Product Life Cycle Cost Analysis: State of the Art Review," *International Journal of Production Research*, vol. 36 (4), p. 883–908.