

# Ulaşım da Enerji Verimliliği İçin Hibrid ve Elektrikli Araçlar

Hamdi UÇAROL, Emre KURAL

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü

## GİRİŞ

**A**rtan araç sayısına bağlı olarak, ulaşımda kullanılan yakıt miktarının artması, atmosferde kirletici emisyonların ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazı miktarının hızla yükselmesi, dolayısıyla sera etkisinin oluşması ve iklim değişikliği sorunları, ulaşımda enerji verimliliği konusunu gündemde tutmaktadır. Yurdumuzda ve dünyanın diğer ülkelerinde her geçen yıl ulaşım yoğunluğunun artması ve açığa çıkan emisyon miktarlarının da buna paralel olarak yükselmesi, içten yanmalı motor teknolojisinde yapılan iyileştirmeleri, alternatif yakıtlar ve/veya daha verimli alternatif araçların geliştirilmesini gündeme getirmektedir.

Bu çerçevede, yapılan araştırmaların odak noktasında elektrikli tahrik sistemlerinin araçlar içerisinde kullanılmasına olanak sağlayan tümü elektrikli ya da hibrid elektrikli araçlar yer almaktadır.

Hibrid elektrikli araçlar, konvansiyonel bir İYM ve elektrik motorunun birlikte tahrik amaçlı kullanıldığı araçlardır. Aracın üzerinde çeşitli yöntemler ile depolanan elektrik enerjisi sayesinde elektrik motoru kullanılarak, gerek egzoz emisyonları gerekse yakıt tüketimi açısından, konvansiyonel araçlara

göre büyük üstünlükler sağlanmaktadır. Özellikle, şehirci yolcu ve yük taşımacılığında otobüs, midibüs, minibüs, kamyonet gibi ağır ve hafif ticari araçlar ile binek araçlarda hibrid ve elektrikli araç teknolojilerinin kullanımının konvansiyonel teknolojilere göre enerji verimliliği açısından önemli avantajlar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

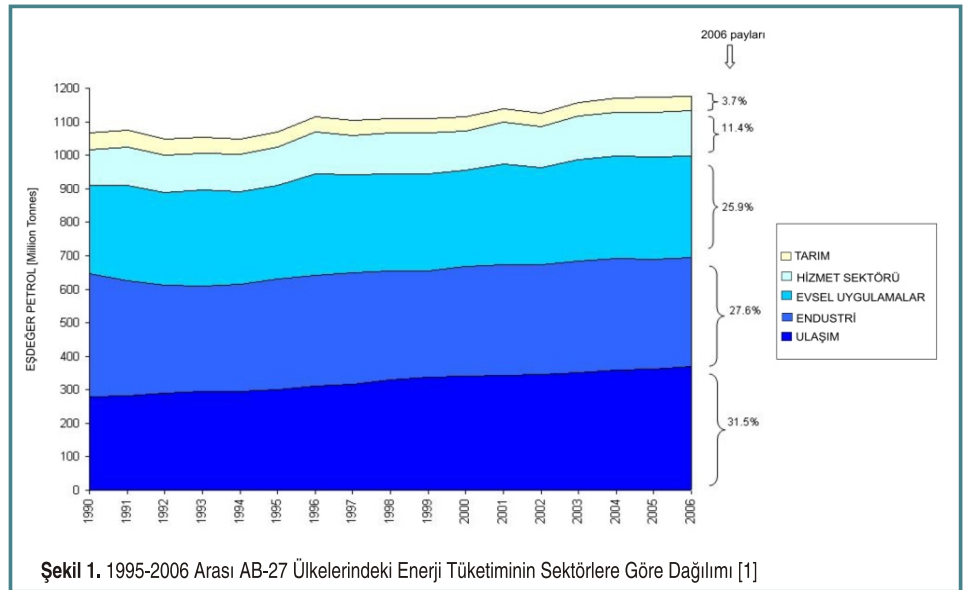
Araçlarda emisyon salınımı ve enerji verimliliği büyük ölçüde birbirleri ile çelişen özelliklerdir. Dolayısı ile bu iki unsurun birbirleri ile ilişkilerini değerlendirmek gerekmektedir.

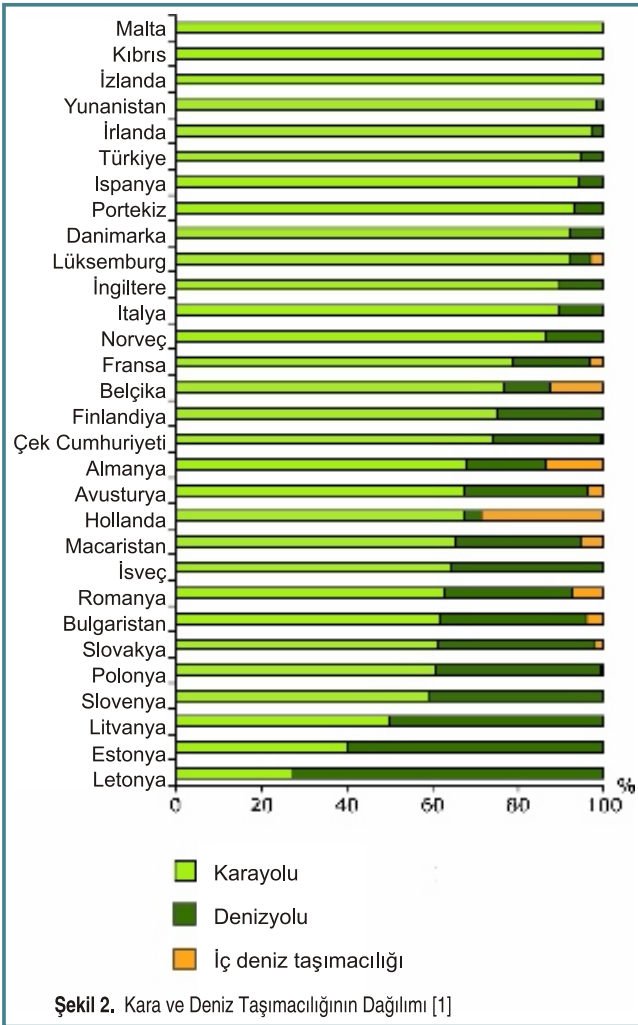
Bu bildiri de, ulaşımda enerji verimliliği konusuna genel bir giriş

yapıldıktan sonra günümüz araçlarına alternatif olarak gündeme gelen hibrid ve elektrikli araç teknolojilerinden bahsedilerek, bu konuda TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü'nde yapılan çalışmalardan örnekler verilecektir.

## TÜRKİYE VE DÜNYADAKİ MOTORLU TAŞITLAR İÇİN EMİSYON STANDARTLARI

Dünyadaki enerji kullanımına bakıldığında artan araç sayısı ve artan ulaşım ihtiyacı ile birlikte ulaştırmanın toplam enerji tüketimindeki payının arttığı görülmektedir. Karayolu taşımacılığı ulaşımda enerji tüketiminin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Şekil 1'de Avrupa





önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtların içten yanmalı motorlarda tahrik gücüne çevrilmesi sonucunda ortaya çıkan emisyonların insan ve çevre sağlığı açısından zararları olduğu bilinmektedir. Bu çerçevede dünyada bölgesel olarak ülkeler çeşitli emisyon standartlarına uyum konusunda anlaşmalara varmışlardır. Örneğin, Avrupa Birliği karayolu taşımacılığı için üretilmekte olan motorlu taşıtların uyması gereken standartları ilgili yönetmelikler ile Tablo 1'de verildiği üzere uygulamaktadır [2]. Bu emisyon

standartları araç tiplerine göre (binek, hafif, ağır) ve araçların yakıt tiplerine göre (benzin, dizel, LPG, CNG, vb.) çeşitlendirilmiş olup belirli zaman aralıkları ile güncellenerek daha da kısıtlayıcı hâle gelmektedir.

Türkiye, Avrupa Birliği yönetmeliklerine uyum sürecinde daha önce yürürlükte olan emisyon standartlarını Avrupa standartlarına göre yeniden düzenlemektedir. Bu çerçevede, Türkiye'de uygulanmış ve uygulamaya başlanmış emisyon standartları araç tiplerine göre Tablo 2'de verilmektedir.

Taşımacılıktan kaynaklanan enerji tüketiminin azaltılması ve taşıtlardan yayılan kirletici emisyonların azaltılması için en önemli unsurlardan biri de bu taşıtları kullanan toplumun bilinçlendirilmesidir. 2009 yılı başından itibaren yürürlükte olan "Yeni binek otomobillerin yakıt ekonomisi ve CO<sub>2</sub> emisyonu konusunda tüketicilerin bilgilendirilmesine ilişkin yönetmelik" buna katkıda bulunmak için atılmış adımlardan biridir. Bu yönetmelikte açıklandığı üzere araçların bütün promosyon literatürleri resmi yakıt tüketim ve resmi spesifik CO<sub>2</sub> emisyon

Birliği'ne üye 27 ülkenin toplam enerji tüketiminin 1995-2006 yılları arası sektörlere göre dağılımı eşdeğer petrol ağırlığı olarak görülmektedir. Bu dağılımda ulaştırma, 2006 yılındaki %31.5'lik oran ile en büyük paya sahiptir. Şekil 2'de ise kara ve deniz yolu ulaştırmalarının paylarının Avrupa'daki ülkelere göre dağılımları görülmektedir. Bu grafikte görüldüğü üzere karayolu taşımacılığı, hemen hemen tüm ülkelerde en büyük paya sahiptir.

Karayolu taşımacılığında kullanılan motorlu kara taşıtlarının günümüzdeki en

Tablo 1. Hafif Hizmet Taşıtları için AB Emisyon Standartları (g/km)

Standart	Tarih	CO	HC	HC+NOx	NOx	Partikül Madde
Dizel Motorlu Taşıtlar						
Euro 1	1992.07	2,72	-	0,97	-	0,14
Euro 2	1996.01	1	-	0,7	-	0,08
Euro 3	2000.01	0,64	-	0,56	0,5	0,05
Euro 4	2005.01	0,5	-	0,3	0,25	0,025
Euro 5	2009.09	0,5	-	0,23	0,18	0,005
Euro 6	2014.09	0,5	-	0,17	0,08	0,005
Benzin Motorlu Taşıtlar						
Euro 1	1992.07	2,72	-	0,97	-	-
Euro 2	1996.01	2,2	-	0,5	-	-
Euro 3	2000.01	2,3	0,2	-	0,15	-
Euro 4	2005.01	1	0,1	-	0,08	-
Euro 5	2009.09	1	0,1	-	0,06	0,005
Euro 6	2014.09	1	0,1	-	0,06	0,005

**Tablo 2.** Motorlu Araçlar İçin Türkiye'deki Emisyon Standartları

		Önceki durum		Mevcut durum	
		Standart	Tarih	Standart	Tarih
Benzin Motorlu Hafif Hizmet Taşıtları	Yeni tip onayı	Euro 3	01.01.2001	Euro 4	01.01.2008
	Tüm tip onayları	Euro 3	30.09.2001	Euro 4	01.01.2009
Dizel Motorlu Hafif Hizmet Taşıtları	Yeni tip onayı	< Euro 1	01.01.2001	Euro 4	01.01.2008
	Tüm tip onayları	< Euro 1	31.12.2002	Euro 4	01.01.2009
Ağır dizel araç	Yeni tip onayı	Euro I	01.01.2001	Euro IV	01.01.2008
	Tüm tip onayları	Euro I	31.12.2002	Euro IV	01.01.2009

verilerini içermelidir. Resmi yakıt tüketimi değeri, 100 km başına litre (1/100 km) veya 1 litre başına km (km/l) ya da bunların birleşimine uygun hâlde en fazla ondalık basamak olarak açıklanmalıdır. Bu değerler 80/181/AT Yönetmeliği hükümleri ile uyumlu olacak şekilde değişik birimler cinsinden de ifade edilebilir (galon ve mil). Yönetmelikte araçların spesifik CO<sub>2</sub> emisyon değeri (g/km) cinsinden Tablo 3' te verilen değerlere göre sınıflandırılmaktadır.

## ULAŞIMDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN ALTERNATİF TEKNOLOJİLER

Emisyon regülasyonları, yasal zorunluluklara uyum ve bunu takiben küresel rekabetin gerekliliği olarak daha verimli araçlar üretme

**Tablo 3.** Motorlu Taşıtların CO<sub>2</sub> Emisyon Değerlerinin Sınıflandırılması

Resmi Spesifik CO <sub>2</sub> Emisyon Sınıfı	Resmi Spesifik CO <sub>2</sub> Emisyonu E <sub>c</sub> (g/km)
A	$E_c < 100$
B	$101 \leq E_c < 125$
C	$126 \leq E_c < 150$
D	$151 \leq E_c < 175$
E	$176 \leq E_c < 200$
F	$201 \leq E_c < 225$
G	$E_c > 225$

zorunluluğu, araç üreticilerini gerek konvansiyonel sistemlerde yeni çözümler üretmeye gerekse alternatif teknolojilere yönlendirmektedir. Özellikle son yıllarda içten yanmalı motorlarda, egzoz sonrası işleme teknolojileri ile araçların emisyon değerlerinde önemli azalmalar gerçekleştirilmektedir. Neredeyse her araçta bulunan katalizörlerin yanı sıra, partikül madde salınımına karşı kataliz dizel partikül filtresi, azotoksit azaltımına yönelik SCR (Selective Catalyst Reduction) şu an araçlarda kullanılan başlıca sistemlerdir. Bunun yanı sıra, dizel motorlarda kullanılan yüksek basınçlı enjektör sistemleri ve hassas kontrol edilebilen enjeksiyon stratejileri ile yakıt verimliliği sağlamak mümkün olup beklenen emisyon regülasyonlarına uyum da gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, benzin ve dizel motorlarda kullanılan egzoz gazı geri beslemesi teknolojisi, emisyon azaltımına yönelik kullanılan teknolojiler arasındadır. İçten yanmalı motorlardaki gelişmelere paralel olarak, kullanılan malzeme teknolojilerindeki ilerlemeler, şanzıman sistemleri, lastik teknolojisindeki birçok gelişme, güvenlik unsurunu göz ardı etmeksizin araçlarda enerji verimliliğine yönelik iyileştirmeler arasında yer almaktadır. Tüm bu iyileştirmeler, araçlarda elektronik

ve elektromekanik sistemlerin kullanımını arttırmakta, araçlar birçok sensör ve aktüatör ile donatılmış birer sistem haline gelmektedir.

Araçlarda enerji verimliliğine yönelik yapılan çalışmaların bir kısmı da yakıt teknolojilerini ilgilendirmektedir. Bu noktada regülasyonların belirlediği kükürt ve kurşun oranları gibi gerek çevreci yakıtların gerekse aracın komponentlerine zarar vermeyecek tipte yakıtların kullanımı önem kazanmaktadır. Özellikle dizel yakıtlarda, setan sayısı, kükürt, yağlayıcılık, su ve partikül gibi kirletici etkenler, benzinde ise oktan sayısı, gümüş korozyonuna sebep veren kükürt oranı, yakıt kalitesini belirleyen parametreler olarak göze çarpmaktadır.

Son yıllarda yakıt teknolojilerini yakından ilgilendiren bir diğer konu ise, alternatif yakıtların araçlarda kullanımı ve araç alt yapısının bu yakıtlara uyumlu hâle getirilmesi üzerine yapılan çalışmalardır. Biyodizel ve biyoetanol kullanımının, Avrupa'da sınırlı olarak (%5) izin verilmesi ve sınırlı oranlarda karışım için (%5.75 biyo yakıt) regülasyonların bulunmasına rağmen, araştırma ve geliştirme trendleri yakın gelecekte daha yaygın kullanımların ortaya çıkacağını göstermektedir. Özellikle, esnek karışıma izin verebilen araçlar (Flexible Fuel Vehicle FFV)

teknolojinin yöneldiği noktalardan biridir. Ancak alternatif yakıt kullanımının daha yaygınlaşması, kullanılan yakıt tipinin korozif etkileri ve diğer farklılıkları göz önünde bulundurulduğunda, beraberinde araçlardaki bazı modifikasyonların ortaya çıkmasına sebebiyet verecektir.

Son yıllarda enerji verimliliği bakış açısı ile araç teknolojilerinin yöneldiği noktalardan bir diğeri de elektrikli araç teknolojisi. Bu çerçevede, yapılan araştırmaların odak noktasında elektrikli tahrik sistemlerinin araçlar içerisinde kullanılmasına olanak sağlayan tümü elektrikli ya da hibrid elektrikli araçlar yer almaktadır.

### Tümü Elektrikli ve Hibrid Elektrikli Araçlar

Tümü elektrikli ve hibrid elektrikli araçlar günümüzde çevresel duyarlılığın artması, kentsel hava kirliliği ve küresel sera gazı oluşumunu önleme isteği, fosil yakıtların hızla tükenmesi ve fosil yakıtların dış kaynaklara bağımlı olması nedenleriyle ulaşım araçlarında alternatif enerji kaynaklarının kullanılması zorunluluğundan doğmuştur.

Tümü elektrikli araçlar, konvansiyonel çekiş sistemindeki içten yanmalı motorun yerine araç üzerinde depolanan elektrik enerjisinin aracın çekiş sisteminde kullanıldığı

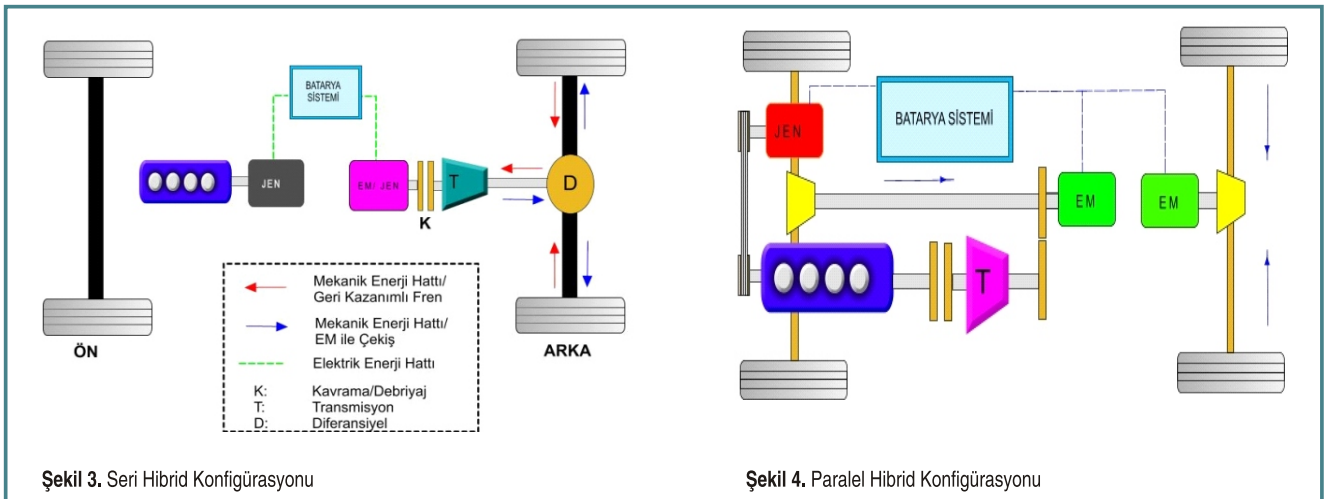
sistemlerdir. Araçlarda harcanan elektrik enerjisi, araçlarda bulunan bataryaların şebekeden şarj edilmesi ile tekrar sağlanmış olur. Özellikle düzenli kullanım koşullarının söz konusu olduğu araç filolarına uyarlanması ve araçların şarj işlemlerinin güneş ve rüzgar enerjisi ile üretilen alternatif elektrik enerjisi kaynaklarından sağlanması ile bu araçların enerji verimliliği açısından katkıları daha da artmaktadır.

Hibrid elektrikli araçlar ise, konvansiyonel bir içten yanmalı motor ile elektrik motorunun birlikte tahrik amaçlı kullanıldığı araçlardır. Aracın üzerinde çeşitli yöntemler ile depolanan elektrik enerjisi sayesinde elektrik motoru kullanılarak, gerek egzoz emisyonları gerekse yakıt tüketimi açısından, konvansiyonel araçlara göre büyük üstünlükler sağlanmaktadır. İçten yanmalı motorun sadece tahrik amaçlı değil aynı zamanda elektrik motorunu generator olarak çalıştırarak elektrik enerjisi üretebilmesi ve konvansiyonel bir araçta ısı şeklinde kaybedilen frenleme enerjisinin araç üzerinde depolanabilmesi, araca bu temel özellikleri kazandıran sebeplerdir. Araçta iki farklı tahrik sisteminin kullanılması, iki farklı kaynağın verimleri açısından optimize edilerek, konvansiyonel bir araca göre yakıt

tüketimi ve emisyon açısından verimli hâle gelmelerine sebebiyet vermektedir. Kullanılan elektrik motorunun getirdiği bir başka avantaj da, bu araçların gürültü emisyonunun diğer araçlara göre çok daha az olmasıdır.

Özellikle, şehiriçi toplu yolcu taşımacılığında sıklıkla kullanılan otobüs ya da midibüs segmenti, hibrid araç kullanımı için diğer araçlara göre daha fazla avantaj sağlamaktadır. Araçların rotalarının belirli ve tahmin edilebilir olması, ortalama araç hızının ve ivmelenme değerlerinin düşük kalması ve araçta yeni komponentlerin yerleşimine izin verecek geniş alanların daha rahat bulunabilmesi, bu tip araçların hibridleştirilmesini daha cazip kılmaktadır [3]. Günümüzde, Avrupa ve Amerika'da yolcu taşımacılığında kullanılan hibrid otobüs sayısı her geçen gün hızla artmaktadır [4,5].

Günümüzde hibrid elektrikli araçlarda kullanılan güç aktarma organlarında iki temel diziliş ön plana çıkmaktadır. Bu konfigürasyonlardan ilki olan seri konfigürasyonda İYM ile tekerlekler arasında mekanik güç iletimi olmazken, İYM üzerinde bulunan bir jeneratör, elektrik motorunda kullanılacak elektrik enerjisini üretmektedir (Şekil 3). Paralel



## Ulaşım da enerji

konfigürasyonda ise, İYM'nin sağladığı enerjinin bir kısmı tekerleklerle iletilirken, bir kısmı da, elektrik motoru üzerinden batarya şarjında kullanılabilir, tahrik sırasında ise yük durumuna göre, İYM ve elektrik motoru beraber veya tek olarak da çalıştırılabilir (Şekil 4).

Her iki konfigürasyonun, aracın kullanım amacı başta olmak üzere, kullanıldığı coğrafya, araç özelliklerine bağlı olarak çeşitli artıları ve eksileri bulunmaktadır. Örneğin seri araçlarda iki elektrik makinesi (elektrik motoru

ve jeneratör) bir arada kullanılması daha geniş yer ihtiyacı ve enerji çevriminden doğan kayıpların artmasına sebep olurken, yol yüklerinden bağımsız hâle getirilmiş bir içten yanmalı motorun çalışma noktalarının daha verimli noktalara kaydırılması mümkündür. Bunun yanında, sadece çekişin elektrik motoru ile sağlanması araç üzerinde titreşim ve gürültü problemlerinin azalmasına sebebiyet verecektir [3].

Hibrid elektrikli araçların avantajını ortaya koyan unsurların başında, farklı

moment karakteristiğinden iki farklı çekiş sisteminin bir arada kullanılması, enerji tasarrufu ve emisyonların ötesinde sürüş konforunun artırılmasından, gürültü-titreşim özelliklerinin iyileştirilmesine kadar farklı alanlarda avantaj sağlamaktadır. Sürüş sırasında, içten yanmalı motorun kapatılabilmesi, sıfır emisyonlu araç (Zero Emission Vehicle ZEV) konseptinin de yaygınlaştırılması adına önem arz eder.

Hibrid araç teknolojisinde ortaya koyulan avantajların mertebesi,



Şekil 5. Araç Entegrasyon Projeleri

Şekil 6. Alt Sistem Geliştirme Projeleri

elbetteki araç üzerinde seçilen konfigürasyon ile yakından ilgilidir. Hibridleştirme oranı olarak adlandırılan bu durum, örneğin sadece aksesuar yüklerinin elektrikli hale getirilmesinden, yüksek güç ve enerji depolama ünitelerinin kullanıldığı full-hibrid konseptine kadar geniş bir skalaya sahiptir. Görülmektedir ki hibridleştirme oranının artması, getirdiği avantajların yanı sıra, araç üzerine eklenen yeni bileşenlerin ağırlığı, kompleksleşen sistemler, üretim ve bakım maliyetlerinin artması gibi unsurları da beraberinde getirmektedir [6].

**TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsünde Hibrid ve Elektrikli Araç Teknolojileri Çalışmaları**  
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü bünyesinde faaliyet gösteren Araç Teknolojileri Grubu, gelecekte yaygın olarak kullanılmasını düşünen bu teknolojinin geliştirilmesi ve günlük kullanıma uyarlanması konularında öncü rol oynaması adına bu teknoloji üzerine araştırma-geliştirme çalışmalarını yürütmekte ve gerekli alt yapı faaliyetlerini gerçekleştirmektedir. Hibrid elektrikli araçlar konusunda gerek araç entegrasyonu gerekse bileşen geliştirme anlamında farklı projelere imza atılmıştır. Entegrasyon projelerine birkaç örnek vermek gerekirse, Türkiye'nin ilk hibrid elektrikli aracı olan ELİT 1 - Seri Hibrid Elektrikli Araç Geliştirilmesi ve Prototip Üretimi projesi, Hafif Ticari Hibrid Elektrikli Araç Geliştirilmesi ve Prototip Üretimi projesi ile Ulaşım Sektöründe Sera Gazı Azaltımı projesi sayılabilir (Şekil 5). Bu entegrasyon projelerinin yanı sıra hibrid elektrikli

araç alt bileşenlerinin geliştirilmesi ve prototip üretimine yönelik çeşitli proje örneklerini de saymak mümkündür. Örneğin elektrikli sürüş sistemi için Elektrik Motoru ve Sürücüsü Geliştirilmesi, Hibrid Kontrol Ünitesi Geliştirilmesi ve Hibrid Elektrikli Araçlar İçin Sürücü Arayüzü Geliştirilmesi bunlardan birkaçıdır (Şekil 6).

Enerji verimliliği konusundaki birincil nesil olarak değerlendirilebilecek elektrikli araç teknolojilerinin devamında, ikincil nesil olarak yakıt pilli ve hidrojen teknolojileri sayılabilir. Bunların yanında, homojen karışımli sıkıştırılmalı ateşlemeli (HCCI) ve kontrollü otomatik ateşlemeli motorlar da hâlen üzerinde çalışılmakta olan ve önemli oranda yakıt tasarrufu ve emisyon avantajları sağlayan sistemler olarak göze çarpmaktadır.

## SONUÇ

Ulaştırma sektörünün önemli bir parçasını oluşturan kara taşımacılığında enerji verimliliğini arttırmak üzere alternatif yakıtlar, içten yanmalı motor teknolojilerinde yapılan iyileştirmeler ve alternatif tahrik sistemlerine sahip araçların geliştirilmesi gündemdedir. Kuzey Amerika ve Japonya yoğun olmak üzere Avrupa ülkelerinde ulaşımda kullanılan yakıt miktarının azaltılması ve ulaşımda kullanılan fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına başlanmıştır. Bununla birlikte fosil yakıtların çevreye yaydığı emisyonları azaltmak için çeşitli yönetmeliklere uyum sağlamayı kabul etmiş ülkelerde

günümüz araçlarında iyileştirmeler yapmak bir zorunluluk haline gelmiştir. Giderek teknik açıdan sağlanması zorlaşan bu standartlar alternatif yakıtlı ve alternatif tahrikli araçlar üzerine araştırma-geliştirme faaliyetlerini tetiklemektedir. Buna paralel olarak TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü hibrid ve elektrikli araçlar, alt sistemleri ve alternatif yakıtlar konularında çalışmalarına devam etmektedir. ■

## KAYNAKÇA

1. Avrupa Çevre Ajansı, <http://www.eea.europa.eu/tr>
2. Direktif 88/77/EEC, "Motor Vehicles With Trailers: Emission of Gaseous Pollutants From Diesel Engines", European Directive.
3. Rahman, Z., Butler, K. L., Ehsani, M. 1999 "Design Studies Of A Series Hybrid Heavy-Duty Transit Bus Using V-Elph 2.01", Vehicular Technology Conference, Volume 3, pp2268-2272 Houston, USA, 16-20 May.
4. M.J. Bradley & Associates, Inc., 2000, "Hybrid-Electric Drive Heavy Duty Vehicle Testing Project Final Emissions Report", Technical Report, Northeast Advanced Vehicle Consortium.
5. M.J. Bradley & Associates, Inc., 2000, "Engine Certification Recommendations Report", Technical Report, Northeast Advanced Vehicle Consortium.
6. Holger Jené, Ernst Scheid, Hans Kemper, 2006, "Hybrid Electric Vehicle (HEV) Concepts - Fuel Savings and Costs", ICAD 2006 Konferansı, İstanbul.