

Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar

Harun Özbay^{1,*}, Cemil Közkurt², Adem Dalcalı³, Mehmet Tektaş²

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

² Department of Transportation Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

³ Department of, Electrical and Electronics Engineering Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

*Correspondence: hozbay@bandirma.edu.tr

Özet: Fosil yakıtlar, ulaşım sektörü başta olmak üzere birçok uygulamada birincil enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlara bir alternatif olarak düşünülen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ise gün geçtikçe artmaktadır. Ulaşım sektöründe de benzer etkiyi içten yanmalı motorların yerine alternatif olarak düşünülen elektrikli araçların (EA) kullanımı almaktadır. Bu amaçla, çalışmada öncelikle fosil yakıtların mevcut kullanım durumu, gelecek projeksiyonu ve doğaya etkisi özetlenmiştir. Daha sonra, klasik tip içten yanmalı araç teknolojisinin gelişimi, özellikleri ve verimleri sunulmuştur. Elektrikli araçların tarihsel gelişimi incelenerek, mevcut durumda kullanılan tümü elektrikli, hibrit elektrikli ve yakıt hücresel EA'ların yapıları avantajları ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca, çalışmada EA'larda kullanılan batarya teknolojileri ve elektrik motor çeşitleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Son olarak, içten yanmalı ve elektrikli araçlar çevresel etki, enerji verimliliği, menzil ve seyir dinamikleri yönünden karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlar, hibrit elektrikli araçlar

Abstract: Fossil fuels are used as the primary energy source in many applications, especially in the transportation sector. The use of renewable energy sources, considered as an alternative to these fuels, is increasing day by day. Similar effect in the transportation sector is seen in the use of electric vehicles (EV), which are considered as an alternative to internal combustion engines. For this purpose, firstly, the impact of fossil fuels on environment, the current usage status and future projection of fossil fuels are summarized in the study. Then, the development, features and efficiency of classical type internal combustion vehicle technology are presented. By examining the historical development of electric vehicles, the advantages and disadvantages of all-electric, hybrid electric and fuel cell vehicles are given comparatively. In addition, battery technologies and electric motor types used in EA's are examined in detail. Finally, internal combustion and electric vehicles have been compared in terms of environmental impact, energy efficiency, range and navigational dynamics.

Key words: Electric vehicles, internal combustion vehicles, hybrid vehicle

* Corresponding author. Tel.: +90-266-606-3510 ; fax: +90-266-717-0030.

E-mail address: hozbay@bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0003-1068-244X

Received 31 Mar 2020; accepted 10 Apr 2020

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Küreselleşen dünya, hızla gelişen teknoloji ve artan nüfus, özellikle petrol ürünleri olmak üzere yüksek enerjili ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının hızla tükenmesine yol açmıştır. Küresel birincil enerji tüketimi büyümesi 2017 yılında ortalama %2,2 olmuştur. Bu büyüme ortalaması son 10 yıllık dönemde yıllık %1,7'dir (IEA, 2019). Özellikle araçlar enerji tüketimi konusunda büyük paya sahiptir. Bilindiği gibi, araçların hareket üretmek için bir tahrik sistemine ihtiyacı vardır ve bu hareket genellikle iki yöntemle sağlanır. Birincisi ve en önemlisi bir içten yanmalı motor ve ikincisi de bir elektrik motorudur.

Başlangıçta araçların elektrikli motorlarla çalıştırılabileceği düşünülmeye rağmen, rota tamamen içten yanmalı motorlara çevrilmiştir. Bunun başlıca temel nedenleri, yarı iletken teknolojisinin ihtiyacı karşılayabilecek düzeyde olmaması, düşük pil kapasitesi ve mevcut olmayan şarj istasyonlarıdır. Fakat içten yanmalı motorlar, daha karmaşık sistemlere sahiptirler. Ayrıca, içten yanmalı motorların kullanılması, uzun vadede tüm insanlık ve dünyanın ekolojik dengesi için daha fazla soruna yol açmaya devam etmektedir (IEA, 2019).

Fosil yakıtlar günümüzde, özellikle üretim, ısıtma, ulaşım ve diğer birçok faaliyette birincil enerji kaynağı olarak (yaklaşık %85) en çok kullanılan yakıt çeşididir (IEA, 2019). İnsan ve ürün taşınması, tüketilen birincil enerjinin yaklaşık %20'sini, CO₂ emisyonlarının yaklaşık %23'ünü ve toplam küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %14'ünü oluşturmaktadır (IEA, 2019). Ancak, fosil yakıtlar 2016 yılında tüm tüketimin temel ve baskın payını korumaya devam etmiştir (BP, 2020). Petrol, tüm küresel enerji tüketiminin üçte birini oluşturmuştur ve 2017 yılında da fosil yakıtlar sektörüne göre tüm enerji tüketiminin %85'ini oluşturmaktadır (BP, 2020).

Uluslararası projeksiyonlara göre, dünyadaki petrol rezervlerinin bilinen rezervlerle birlikte ömrünün yaklaşık 50 yıl olduğu öngörülmektedir (Jannatkah, 2020). Son 50 yıllık dönemde içten yanmalı araçlar kullanılmasına rağmen, benzinli araçların verimi %25-28 arasında değişmekte ve dizel

araçların verimi %34-38 arasında değişmektedir (Jannatkah, 2020). Literatürde içten yanmalı motorların verimliliğini artırmak için birçok çalışma yapılmıştır ve maalesef, verimlilik hala %40 seviyesine ulaşmamıştır. Bu kadar verimsiz olmasına rağmen, dünya genelinde kullanılan yakıtın yaklaşık %62'si nakliye araçlarında tüketilmektedir. Azalan rezervlere ve artan talebe bağlı olarak, petrol fiyatlarının 20 yıl içinde 200 \$'a ulaşabileceği tahmin edilmektedir (Bottery, 2008; Weform, 2016).

Özetle, içten yanmalı motorların verimleri oldukça düşüktür ve insan sağlığı ve çevre için de zararlı gaz emisyonlarına (özellikle sera gazı emisyonları) neden olmaktadır (Khan ve Bohnsack, 2020). Çünkü sadece 1 litre dizel yakıt yakmak, atmosfere yayılan 2,7 kilogram sera gazı emisyonuna eşit olması demektir. Ayrıca, içten yanmalı motorlu araçlar yüksek titreşimde çalışmaktadır ve aslında yüksek gürültü kaynaklarıdır. Bunun yanında, sürekli olarak azalan ve sınırlı rezervlere ve özellikle Türkiye gibi ülkeler için fosil yakıtların taşınması ve dolar kuruna bağlı olarak fiyat artışlarına sahip olması da bir diğer olumsuz etkidir. Bu nedenlerle, neredeyse tüm otomobil endüstrisi tekrar elektrikli ve hibrid araçlara yönelmiştir (Luin ve diğ, 2019). Buna paralel olarak, atılacak en büyük adım kuşkusuz, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak için içten yanmalı motorların yerini alabilecek yeni ve yenilenebilir bir enerji kaynağı ile mümkündür. Bunun nedeni, mevcut araçlara güç sağlamak için gereken enerjinin yaklaşık %95 oranında petrolden elde edilmesidir (BP, 2020).

Bazı pratik uygulamalarla mevcut içten yanmalı motorların yakıt tüketimini, titreşimlerini, gürültüsünü ve zararlı gaz emisyonlarını iyileştirmek için birçok çalışma yapılmıştır (Ahmed ve diğ, 2020; Patel ve diğ, 2016). Ayrıca, petrol bazlı yakıtlara alternatif yakıt arayışları devam etmiş, ancak iyi sonuçlar elde edilememiştir.

Günümüzde petrol bazlı yakıtlara ana alternatifler, toplam küresel ulaşım enerjisinin yaklaşık %5'ini oluşturan biyoyakıtlar, sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ve sıvılaştırılmış petrol gazıdır (LPG) (Naik ve diğ, 2018).

2. Otomobil ve içten yanmalı motor teknolojisi

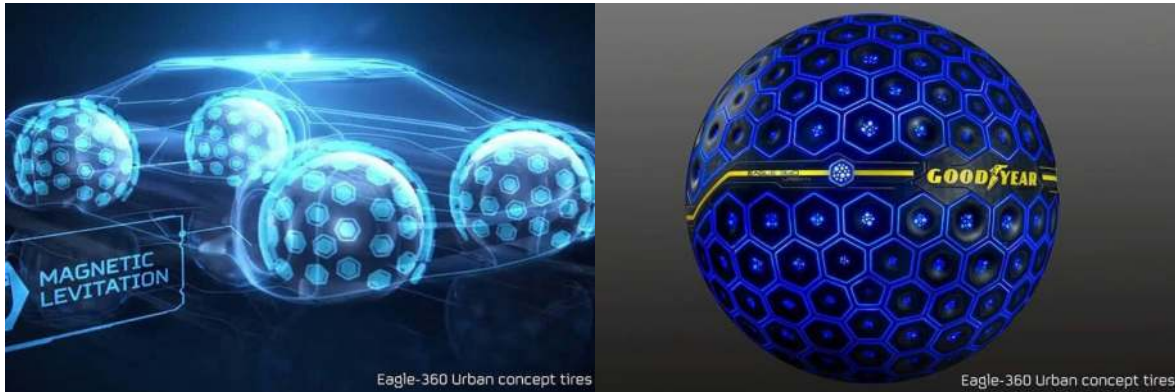
Çağımızın vazgeçilmez ulaşım araçları olan otomobiller, Endüstri 1.0 döneminin tahrik patronu olan dıştan yanmalı buharlı motorlarla hayat bulamamıştır. 19. yüzyılın sonlarında içten yanmalı motor teknolojisinin gelişmesiyle otomobillerde seri üretime başlanmıştır (Alizon ve diğ. 2009) Otomotiv sektörü 20. yüzyılın parlayan yıldızı, Endüstri 2.0 ve 3.0 dönemlerinin de lokomotif olmuştur (Yin ve diğ. 2018).

Günümüzdeki otomobiller en ilkel buluşlardan olan disk şekilli tekerleklerin yuvarlanma hareketi sayesinde yolda ilerlemektedir. Son yıllarda gelecekte otonom araçlarda kullanılmak üzere küre şekilli elektrik motorlu tekerleklerin de konsept olarak tasarlandığı görülmektedir (Anckaert ve diğ. 2017). Şekil 1'de Goodyear Tekerlek ve Lastik Üreticisi tarafından 2016 yılında tasarlanan Eagle-360 konsept küresel tekerlek görülmektedir. Küresel tekerleklerin kullanımı taşıt mekanikliği temellerinin birçoğunu değiştirecek niteliktedir. Günümüzdeki otomobiller üzerindeki disk tekerlekler dönme hareketi üreten içten yanmalı motorlarla, dairesel elektrikli motorlarla ya da her ikisi ile de tahrik edilmektedir.

Otomobillerdeki tahrik sistemi birçok direnç kuvvetine karşı koyabilmektedir. Bu direnç kuvvetleri; yuvarlanma kuvveti, (hava) sürüklenme kuvveti, yokuş kuvveti ve ivme kuvvetidir. Otomobiller bu kuvvetlere karşı koyabilmek üzere gerçekleştirilen teknik

hesaplamalar sonucunda tasarlanır ve üretilir (Gillespie, 1992). Ayrıca yolların eğim, kurp, dever gibi taşıtların seyir dinamiğini etkileyecek yol bileşenlerinin hesapları, otomobillerin teknik özellik ve kabiliyet sınırları da dikkate alınarak yapılabilmektedir. Otomobillerde konfor ve verimi sağlamak amacıyla yoldaki engebelerin titreşimini azaltan aktif ve pasif amortisörler, süspansiyon sistemleri olarak kullanılmaktadır. Yeni nesil bir çok rejeneratif amortisör de yoldaki titreşimlerin elektrik enerjisine dönüştürülmesi için önerilmektedir (Abdelkareem ve diğ. 2018). Yatay kurplarda farklı hızlarda dönen iç ve dış tekerleklerin tek milden döndürülmesini sağlayan mekanik diferansiyel dişli sistemleri taşıtların yolda kayıp savrulmasını önler. EA'larda dönüşlerdeki kayma ve savrulma problemi elektronik diferansiyel adı verilen motorları dönüş açısına göre ayrı hızlarda kontrol edebilen elektronik sürücülerle sağlanır (Tian ve diğ. 2019). Salıncak sistemleri, aktif ve pasif süspansiyon sistemleri de sürücünün konforunu sağlayarak sürüş güvenliğini artırır, yola tutunmayı yükselterek kayma kayıplarını azaltır. Ayrıca otomobil sürücüsünün, yolcuların ve yayaların can güvenliğini sağlamak amacıyla kabin içi ve kabin dışı güvenlik bileşenleri ya da sistemleri kullanılmaktadır. Kabin içinde hava yastıkları, yorgunluk algılama ve uyarı sistemleri, hız sınırlayıcılar, emniyet kemerleri gibi güvenlik sistemleri bulunur. Kabin dışında ise, adaptif hız kontrol sistemleri, kör nokta sensörleri, çarpışmada darbe emen ezilme kutuları gibi sistemler kullanılmaktadır.

Şekil 1. Geleceğin otonom araçları için tasarlanan küresel tekerlek (Goodyear Eagle-360).



İçten yanmalı motorlar benzin, motorin, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), biyodizel, sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) gibi farklı fosil

ya da organik temelli yakıtlarla çalışabilmektedir. Hava ile yakıt karışımının yanma silindirlerinde yakılması sonucunda

oluşan itici kuvvet piston yoluyla krank milinde dönme hareketine dönüştürülür. Yakıtın türüne göre yanma teknolojisi de elektrikli ateşleme ya da sıkıştırılmalı patlatma şeklinde olabilmektedir. İçten yanmalı motora sahip araçlarda, yanma ve aktarma kayıpları sonucunda elde edilen azami enerji verimi yaklaşık %20 olmaktadır. Ayrıca bu araçlarda, atmosfere atılan karbon ve NOx gaz salınımları çevreye zarar verdiğinden içten yanmalı motorların tercih edilmesi gün geçtikçe azalmaktadır.

3. Elektrikli araç teknolojisi

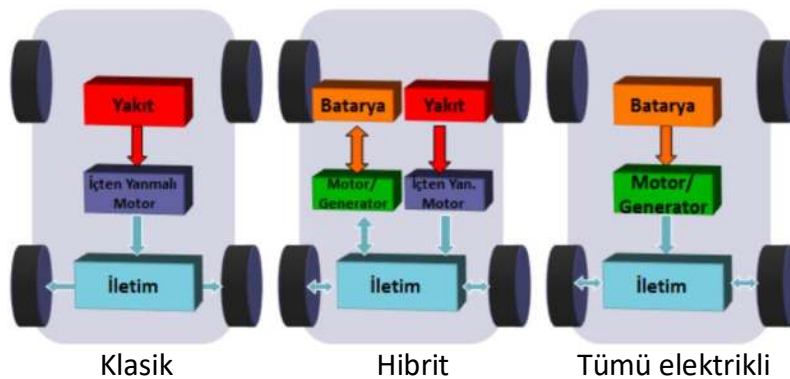
Tarihsel gelişimi 19. yüzyılda başlayan elektrikli araçlar (EA), günümüzde özellikle, içten yanmalı motorların (İYM) sebep olduğu sera gazlarının ve hava kirliliğinin artmasıyla popüler hale gelmiştir. Farklı EA türleri üzerine yapılan çalışmalar her geçen gün hızla artmaktadır. Mevcut şartlarda kullanılan EA çeşitleri üç ana grupta toplanabilir. Genellikle akla ilk gelen enerjisini tamamen batarya grubundan sağlayan Tümü Elektrikli Araçlar (TEA) olarak adlandırılan EA'lar gelmektedir. Son zamanlarda batarya teknolojisindeki gelişmelerin artmasıyla TEA'lara olan ilgi giderek artmaktadır. Fakat hem İYM'yi hem de elektrik motorunu aracın tahrik sisteminde birlikte kullanan Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA) günümüzde en yaygın kullanılan EA'lar sınıfındadır. Diğer EA türü ise hidrojen enerjisi ile çalışan Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar (YHEA) olarak literatürde yer almaktadır (Ehsani ve diğ. 2009). Söz konusu EA türlerinin dışında, güneşten enerjisini sağlayan, doğrudan

elektrik hatlarından enerjisini sağlayan, volan veya ultrakapasitör gruplarından enerjisini sağlayan kısıtlı uygulama alanlarında kullanılan EA türleri de mevcuttur (Westbrook, 2001). Çalışma şekillerine göre klasik, hibrit ve tümü elektrikli araçların mekanik detayları Şekil 2'de sunulmuştur (Ocak, 2013).

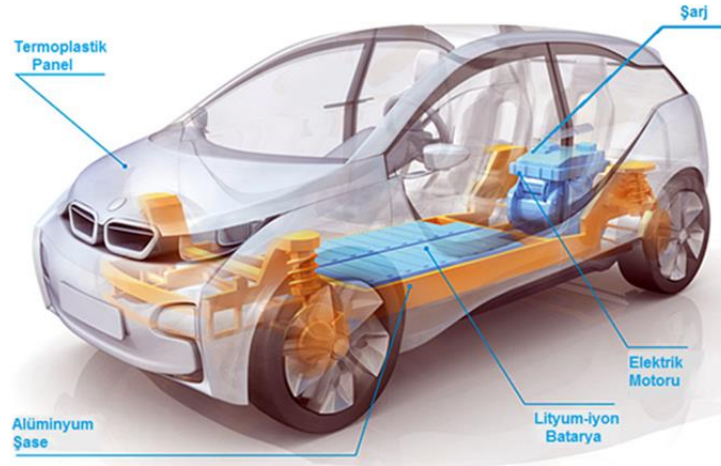
3.1. Tümü elektrikli araçlar

İYM'li araçların çevreye zarar vermesi nedeniyle karbon salınımı sıfır olan TEA'lar, ulaşım sektöründe hızla yer almaktadırlar. Düşünülün aksine, kontrol sistemlerinin karmaşıklığı sayılmazsa, oldukça da basit bir yapıya sahiptirler. Şekil 3'te gösterilen TEA'ların yapısında elektrik motoru, güç dönüştürücüleri içeren kontrolcü ve batarya ünitesi bulunmaktadır (Mahmoudi ve diğ. 2014; Özbay, 2017). TEA bataryaları genellikle araç üzerinde bulunan fiş girişiyle şebekeden şarj edilir. Kontrol ünitesi ise, aracın ileri ya da geri gitme hareketlerinin, hız ayarının yapılmasının, frenleme için rejeneratif frenleme yaparak enerjinin geri kazanılmasının kontrollerini yapan sistemdir (Demir, 2011).

TEA'larda elektrik motoruna aktarılan güç, batarya ünitesinden elde edilen elektrik enerjisinden karşılanır. TEA'larda benzin, dizel veya diğer yakıtların kullanılması söz konusu değildir. Bu nedenle, TEA'lara hiçbir yakıt tüketmediğinden "sıfır emisyonlu araçlar" denilmektedir. TEA bataryalarının şarj edilmesi sırasında tüketilen elektrik enerjisinin üretilmesinde oluşan zararlı emisyonlar, İYM'li araçlara oranla çok daha az seviyede olmaktadır.



Şekil 2. Çalışma şekline göre araçlar.



Şekil 3. TEA'ların basit gösterimi (BMW i3).

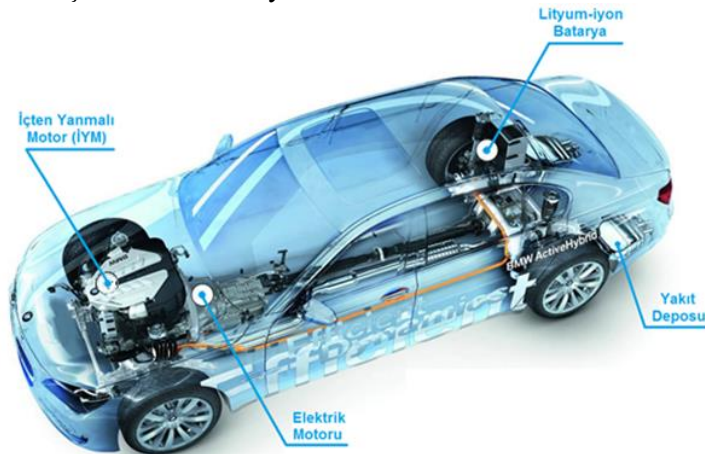
Ayrıca TEA'larda İYM yerine elektrik motoru olduğundan oldukça sessiz çalışırlar (Foley, 2010). Frenleme sırasında ise rejeneratif frenleme ile elektrik motorunu bir generatör gibi kullanarak kinetik enerji bataryalara elektrik enerjisi olarak aktarılmaktadır. Böylece bataryalardaki enerji çok daha verimli kullanılmakta ve mekanik fren sistemi daha uzun ömürlü olmaktadır.

Günümüzde TEA'ların birçok avantajı olmasına rağmen kullanımını sınırlayan birtakım faktörler bulunmaktadır. Bu kısıtlamaların en başında TEA'ların menzillerinin yeterli miktarda olmaması ve batarya maliyetlerinin ise fazla olması gelmektedir (Gomez ve Medhat, 2010). Fakat, teknolojiye gelişmeler hızla ilerlediği için batarya sistemlerindeki gelişim de hızla artmaktadır. Ayrıca gelişen batarya teknolojisi ile çok daha uzun menzilleri çok daha az maliyetle kat etmek mümkün olacaktır (Özbay, 2017). Dolayısıyla, TEA'ların tercih sebebi olmasında bu gelişmeler çok önemli bir yer

almakta ve TEA'ların popülerlikleri de her geçen gün artmaktadır (Morcos, 2000).

3.2. Hibrit elektrikli araçlar (HEA)

Bir HEA'nın iki veya daha fazla güç kaynağına sahip farklı varyasyonları olsa da en yaygın HEA türü, Şekil 4'te de gösterilen bir İYM, bir batarya grubu ve bir elektrik motoru bileşenlerinden oluşur (Emadi ve diğ. 2008). Seri HEA ve paralel HEA olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Seri HEA'da İYM'nin generatörü çalıştırması sonucu üretilen elektrik enerjisi hem batarya gruplarını şarj eder hem de aracın tahrik sisteminde kullanılan elektrik motoruna aktarılır. Dolayısıyla, HEA'nın hareket ettirilmesi için gerekli itici güç sadece elektrik motorundan sağlanmaktadır. Paralel HEA'da ise itici güç hem İYM'den hem de elektrik motorundan aynı anda sağlanmaktadır. Bir veya daha fazla elektrik motorunun ve İYM'nin birlikte bağlandığı bir güç aktarma organı ile araç hareket ettirilmektedir (Uçarol ve Kural, 2009).



Şekil 4. HEA'ların basit gösterimi (BMW 5 active hybrid).

Her iki HEA türünde de araçtaki batarya grupları generatör tarafından şarj edildiği için, batarya grupları TEA'lardaki gibi büyük boyutlarda olması gerekmemektedir. Ayrıca, HEA'larda da rejeneratif frenleme ile aracı yavaşlatırken veya durdururken batarya grupları şarj edilmektedir (Lai, 2001). Paralel HEA'lar tüm enerjiyi dönüştürmek zorunda kalmadıklarından kullanılan elektrik motorları da daha küçük güçlerde olmaktadır (Özbay, 2017). Dolayısıyla paralel HEA'ların daha geniş uygulama alanı bulunmaktadır. Seri HEA'lar ise, bazı gemi ve demiryolu taşıtları gibi özel uygulama alanlarında tercih edilmektedirler. Fakat, her iki HEA'da da amaç, İYM'yi olabildiğince az çalıştırarak emisyon salınımını en aza indirmektir. Özellikle egzoz emisyonunun istenmediği şehir içi sürüşte elektrik motorunun daha çok kullanımı ve hız/güç istenen şehir dışı sürüşte ise İYM'nin daha çok kullanımı modern kontrol teknikleri ile mümkündür (Moreno ve diğ. 2006). Ayrıca, egzoz emisyonlarının daha da düşürülmesi için son zamanlarda HEA'lardaki bataryanın şebekeden şarj edilmesi üzerine çalışmalar artmıştır (Martinez ve diğ. 2017). Böylece bataryanın şarjı için İYM daha az kullanılmaktadır. Bu teknolojiye sahip HEA'lara şarj edilebilir (Plug-in) HEA (PHEA) denilmektedir. Diğer HEA'ların sahip olduğu özelliklerin yanında yapısındaki değişiklik ile şebekeden de şarj edilebilmektedir (Martinez ve diğ. 2017).

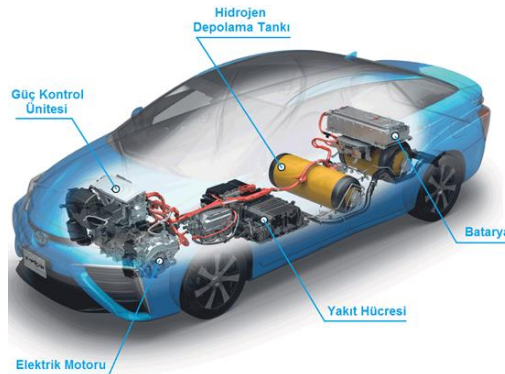
3.3. Yakıt hücreli elektrikli araçlar (YHEA)

Benzer hareket sistemine sahip olan YHEA'lar, yakıt olarak doğrudan hidrojen kullanarak kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler. Şekil 5'ten görüldüğü üzere TEA'larda kullanılan yüksek kapasiteli batarya grubu, YHEA'larda yakıt hücresi ile yer değiştirmiştir. Ayrıca yakıt hücresinin kullanacağı hidrojenin depolanması için de bir tank eklenmiştir (Şenol ve diğ. 2006).

Ancak özellikle geleceğin teknolojisi olarak düşünülen YHEA'lar için günümüzde hala çeşitli sorunlar mevcuttur. Bunlardan en önemlisi yakıt hücresi teknolojisinin nispeten pahalı olmasıdır (Özbay, 2017). Ayrıca yakıt olarak kullanılan hidrojenin araca yüklenebileceği hidrojen istasyonlarının sayısı oldukça sınırlıdır. Dolayısıyla YHEA'lar gelecek için uzun vadeli bir çözüm olarak görülmektedir (Larminie ve Dicks, 2000).

4. EA'ların avantaj ve dezavantajları

Çevreye verilen zararın en aza indirilmesi için yapılan çalışmalar EA'ların yaygınlaşmasını tetiklemektedir. Bunun için gerekli teknolojik gelişimin büyük bölümü tamamlanmasına rağmen henüz yeterince talep görmemektedir. Bunun sebebinin öncelikle yüksek maliyet ve yedek parça yetersizliği olduğu görülmektedir. EA talebindeki artışa bağlı olarak üretim miktarının artması sonucu maliyetlerin düşmesi ve yedek parça ulaşımının da artması muhtemeldir. Dolayısıyla EA teknolojilerinin birçok önemli avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Tablo 1'de, TEA, HEA, PHEA ve YHEA teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları özetlenmiştir (AVERA, 2010).



Şekil 5. YHEA'ların basit gösterimi (Toyota Mirai).

Tablo 1. EA'ların avantaj ve dezavantajları

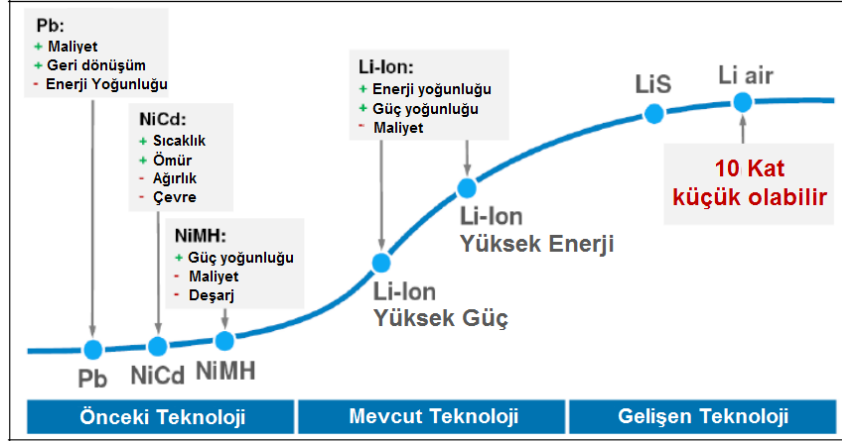
Teknoloji	Avantajları	Dezavantajları
TEA	– Sıfır egzoz emisyonu	– Kısıtlı menzil
	– Sessiz çalışma	– Batarya teknolojisinin geliştirilmeye olan ihtiyacı
	– Hızlı batarya şarjı	– Kamusal alanlarındaki şarj istasyonu alt yapısının kısıtlı olması
	– Rejeneratif frenleme ile geri enerji kazanımı	
	– Düşük yakıt ve işletme maliyetleri	
HEA	– Düşük yakıt masrafı	– Yüksek üretim maliyetleri
	– Az yakıt tüketimi sonucu düşük egzoz emisyonu	– İki farklı motorun güç aktarımındaki karmaşıklık
	– Rejeneratif frenleme ile geri enerji kazanımı	– Kısıtlı yedek parça ulaşımı
	– Şebekeden şarj imkânı	
	– Yakıt tüketiminde azalma sonucu sıfır egzoz emisyonu olanağı	– Daha yüksek üretim maliyeti
PHEA	– Optimum yakıt kullanımı ile performans verimliliği	– İki farklı motorun güç aktarımındaki karmaşıklık
	– Rejeneratif frenleme ile geri enerji kazanımı	– Bataryaların maliyeti ve değişimi
		– Batarya ve güç elektroniğinin ekstra getirdiği ağırlıklar
		– Çok yüksek üretim maliyeti
		– Hidrojen üretimi ve depolama işlemindeki zorluklar
YHEA	– Petrole bağımlılığının olmaması	– Hidrojenin yakıt ikmalindeki zorluk
	– Sıfır egzoz emisyonu	– Kullanılan kodların ve standartların hala geliştirilme aşamasında olması
	– Rejeneratif frenleme ile geri enerji kazanımı	– Hidrojen kullanımındaki yüksek basınç dolayısıyla artan güvenlik tedbirleri
	– IYM'ye göre daha yüksek enerji verimliliği	

5. EA'larda kullanılan bataryalar

Günümüzde çok çeşitli EA batarya teknolojileri mevcuttur. Kurşun-Asit (Pb) bataryalar, araçların elektrik ihtiyacını tedarik etmede yıllarca kullanılmıştır. 1980'lerde ilk modern EA'ların devreye girmesiyle birlikte, daha güçlü bataryalara duyulan ihtiyaç artmıştır. Böylece ilk olarak Nikel-Kadmiyum (NiCd) bataryalar ve sonrasında ise HEA'larda kullanılmak üzere Nikel-Metal-Hidrit (NiMH) bataryalar geliştirilmiştir. Fakat bu batarya teknolojilerinin hiçbirisi EA'ların yeterli sürüş mesafesi için gerekli enerji yoğunluğuna sahip değildir (SEI, 2007).

Son zamanlarda ise, Lityum iyon (Li-ion), Lityum iyon polimer (Li-Po), Sodyum Nikel Klorür (NaNiCl), Lityum demir fosfat (LiFePO₄), Çinko Hava (Zn-air), Lityum sülfür

(LiS), Lityum hava (Li-air) ve ultra-kapasitör üzerine yapılan çalışmalar sonucu EA'larda bu bataryalar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle, silikon, kükürt ve hava (oksijen) içeren lityum bataryalar ise gelecekte en umut verici bataryalar olarak görülmektedir. Ayrıca nano-teknolojideki gelişmeler de batarya gelişiminde önemli rol oynamaktadır (Duleep ve diğ. 2011). Şekil 6'da EA bataryalarının teknoloji yol haritası görülmektedir (Özbay, 2017).



Şekil 6. EA bataryalarının teknoloji yol haritası.

6. EA'larda kullanılan elektrik motorları

Elektrikli araçlarda ihtiyaç duyulan tork, kullanılan elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır. Bu yüzden elektrikli araçlarda, performans direkt olarak kullanılan elektrik motorunun seçimi ile ilişkilidir. Bu ilişkiden dolayı, elektrik motorunun seçimi büyük önem arz etmektedir. Elektrikli araçlarda asenkron, senkron, DA ve anahtarlamalı relüktans motorlar tercih edilmektedir (Rahman ve diğ. 2000; Dalcı, 2018; Abdelghani ve Boumediene, 2019; Zhang ve diğ. 2019; Grilo ve diğ. 2012).

Sabit mıknatıslı klasik tip DA motorlar, ikinci bir uyarıma gerek duymadıklarından uyarım kaynağına olan ihtiyaç ortadan kalkmakta ve böylelikle bu kısımda oluşacak güç kaybı önlenmektedir. DA motorların diğer bir tipi de alan sargılı motorlardır. Sabit mıknatıslıdan farklı olarak hem stator hem rotorunda sargılar bulunmaktadır. Bu tip motorların komütatör ve fırçaya sahip olması bakıma fazla ihtiyaç duymalarına neden olmaktadır. Anahtarlamalı relüktans motor senkron motorun bir türü olup sürekli yarı iletken anahtarlarla kontrol sağlanmalıdır. Bu tür motorlarda sadece statorda sargı olup rotor masif demir veya sac paketinden meydana gelmektedir. Bu durum rotorda daha az elektriksel güç kaybı olmamasına öncülük etmektedir. Bu motorlar düşük üretim maliyeti, dayanıklı yapısı ve kolay soğutma olanağı mevcuttur (Vatani ve diğ. 2019). Ancak relüktans motorların tork dalgalanmaları bu motorların dezavantajlı olmalarına neden olmuş ve elektrikli araçlarda kullanımını sınırlandırmıştır (Nanda ve Kar, 2006). Diğer bir alternatif olan asenkron

motorlar kolay üretim, az bakım ihtiyacı, düşük maliyet gibi faktörlerden dolayı sanayide yoğunlukla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, asenkron motorlar, elektrikli araç için yüksek kontrol kabiliyeti, basit ve kararlı tasarıma sahip olduklarından EA'larda sıklıkla tercih edilen motorlardır (Palacky ve diğ. 2014; Damiano ve diğ. 2014). Amacına uygun olarak tasarlanan bir asenkron motor, kalıcı mıknatıslı motorlardan daha güvenilir ve sağlamdır. Asenkron motorlar, kalıcı mıknatıslı motorlara kıyasla neredeyse ömrü boyunca herhangi bir düşüş olmaksızın nominal performans gösterebilirler. Ancak asenkron motorlarda ise güç yoğunluğunun mıknatıslı motorlara göre çok daha az olması bu motorların kullanımını kısıtlamaktadır (Ehsani ve diğ. 2003).

Kalıcı mıknatıs teknolojisinde yaşanan gelişmelere paralel olarak, nadir toprak malzemelerin elektrik motorlarında kullanımı artmaktadır. Yüksek güç yoğunluklarından dolayı, düşük ağırlık ve hacim istenen uygulamalarda nadir toprak mıknatıslar tercih edilebilir. Sabit mıknatıslı senkron motorlar verimlerinin yüksek olması, hacimlerinin ve ağırlıklarının az olması, tork yoğunluklarının ve tork/ağırlık oranlarının yüksek olmasından dolayı elektrikli araçlarda tercih edilebilmektedir. Bu tip motorlarda ise nadir toprak malzemelerin dengesiz olan fiyat politikası, mıknatısların demanyetizasyon riski ve zamanla mıknatıslık özelliğini kaybetmesi sabit mıknatıslı motorları sınırlamaktadır (Ocak, 2013; Zhang ve diğ. 2016). Genel olarak motorların tork yoğunluğunu Tablo 2 ile özetleyebiliriz (Ehsani ve diğ. 2003).

Tablo 2. Motorların tork yoğunlukları

Makine Tipi	Tork/ Hacim (Nm/m³)	Tork/Bakır (Nm/kg)
Sabit mıknatıs	28860	28,7-48
Asenkron	4170	6,6
Anahtarlama relüktans	6780	6,1

Tablodan sabit mıknatıslı motorların yüksek tork yoğunluğuna sahip oldukları görülmektedir. Kalıcı mıknatıs motorlar, asenkron ve anahtarlama relüktans motorlara oranla daha düşük ağırlıklarda daha yüksek tork ihtiyacını karşılayabilmektedirler.

7. İçten yanmalı ve EA'ların karşılaştırılması

Bu kısımda içten yanmalı motorlara sahip araçlar ile elektrikli araçlar birçok farklı açıdan ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır.

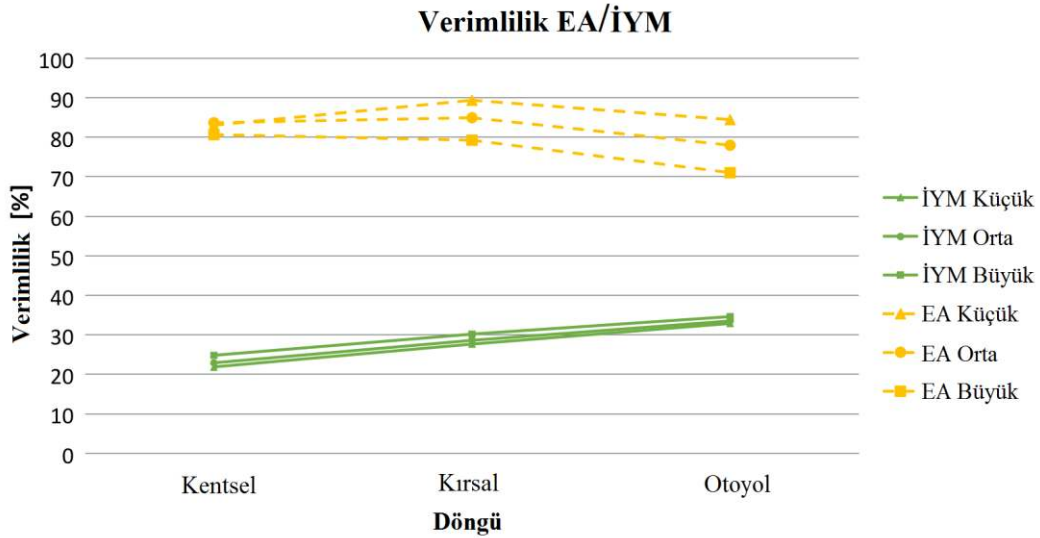
7.1. Çevresel etkiler

Literatürdeki çalışmalarda, girdi faktörleri (malzeme, enerji üretim yöntemi) ve çıktı faktörleri (emisyon ve atıklar) arasındaki ilişkiyi değerlendirerek çevresel etkilerin incelenmesi amacıyla “yaşam döngüsü değerlendirmesi” yaklaşımı kullanılmaktadır (Manzetti ve Mariasiu, 2015). Bu yaklaşımdan da anlaşılacağı üzere çevre etkisini değerlendirirken sadece üretimde, kullanımda veya kullanım sonrası safhaları ele almak yanlış bir değerlendirmeye neden olmaktadır. Günümüzde, içten yanmalı motorlu araçların alternatifleri olan bataryalı ve hibrit elektrikli araçların kullanımının artması ile hava kirliliği, fosil yakıt tüketimi ve küresel ısınma gibi problemlere çözüm oluşturulabilir. Ancak, elektrik üretim kaynağının bu süreçten bağımsız olduğu unutulmamalıdır. Çünkü yenilenebilir enerji kaynağı dışındaki kaynakların kullanımı ile üretilen elektriğin bahsedilen problemleri arttırdığı bilinmektedir. Elektrikli araçların çevresel değerlendirmesinde, batarya en önemli çevresel etken olarak karşımıza çıkmaktadır. (Matheys ve diğ, 2006; Manzetti ve Mariasiu, 2015). Araç batarya bileşenlerinin atık yönetimi ve bunların geri dönüşümünün sağlanması çevre problemlerini sınırlamak açısından önem arz etmektedir.

Avrupa'nın mevcut elektrik üretimi altyapısı ile 150000 km'lik ömre sahip bir elektrikli aracın dizel ve benzinli araçlara kıyasla küresel ısınma potansiyelinde %10 ile %24'lük, 200000 km'lik ömre sahip bir elektrikli araçta ise benzinli araca nazaran %27-29 oranında azalma sağladığı rapor edilmiştir (Hawkins ve diğ, 2012). Ancak belirtilen etkinin sağlanması için, üretim süreçleri (elektronik ekipman, batarya vb.) ve elektrik üretimindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının etkisi büyüktür.

7.2. Enerji Verimliliği

İçten yanmalı motorların verimi %25-38 arasında değişmektedir. İçten yanmalı motora sahip araçlarda verim, artan araç ağırlığı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Ekstra ağırlık, daha yüksek tork talebi anlamına geldiğinden, seçilen motorun daha optimum yükte çalışmasını sağlamaktadır. Bunun sonucunda araç, daha düşük yakıt tüketimi ile hareket etmesi mümkündür. Fakat artan ağırlıkla daha yüksek bir verimlilik elde edilmesine rağmen, daha ağır bir araç daha fazla enerji tüketmektedir. Elektrikli araçlar ise maksimum %89'dan minimum %71'e kadar çok yüksek bir verimlilik göstermektedir. EA'ların yüksek verimliliği, elektrikli motorun tüm çalışma bölgelerinde çok yüksek motor verimliliği nedeniyle mümkün olmaktadır. İYM'ler ve EA'lar arasındaki enerji kullanımındaki bu büyük farklılıklar ve verimlilikleri Şekil 7'de verilmiştir (Gustafsson ve Johansson, 2015). Farklı büyüklükteki EA'lar kentsel döngüde benzer verimliliğe sahipken, kırsal ve otoyol döngülerinde daha yüksek yükler daha büyük kayıplara neden olduğundan mevcut iç kayıplara bağlı olarak verim düşmesi görülmektedir. Bu aynı zamanda, farklı büyüklüklerdeki içten yanmalı araçların verim eğrilerinin eğiminin neden EA'lardan daha yüksek olduğunu açıklar (Howey ve diğ, 2011). Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek, içten yanmalı motorlarda olduğu gibi ekzotermik bir reaksiyon gerekli değildir. EA'ların enerji dönüşümünde sürtünme yoluyla ısı ortaya çıkmaktadır, fakat içten yanmalı motora sahip araçlardaki yanma işleminden çok daha düşüktür.



Şekil 7. İYM'ler ve EA'lar arasındaki verimlilik.

Ayrıca EA'lar, içten yanmalı araçlarda kullanılan en uygun çalışma noktası için kullanılan vites dişlileri yerine sadece bir vites kullanma imkânı ile şanzımanda da daha yüksek bir verimliliğe sahiptir (Thomas, 2009).

Küçük boyutlu EA'nın verimliliği, şehir (kentsel) döngüde orta büyüklükten daha düşüktür, ancak diğer iki döngüde daha büyük araçlara göre daha verimli olduğu görülmektedir. Bu durum, mevcut kütleye bağlı olarak rejeneratif frenlemenin etkisinden kaynaklanmaktadır. Daha büyük kütleye sahip araçlar hızlandığında daha yüksek kinetik enerji depolarlar, dolayısıyla frenleme sırasında daha fazla enerji bataryalarda geri kazanılır. Fakat daha büyük kütle için daha büyük batarya gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Ancak büyük boyutlu bataryanın doğal olarak daha fazla kayıpları olacaktır. Bu da kentsel ve otoyol döngülerinde verim kaybına yol açacaktır (Gondelach ve Faaij, 2012).

İYM'lerdeki krank mili, piston, silindir, kam mili, sübap gibi parçaların ve diferansiyel, şanzıman gibi aktarma organlarının otomobillerin verimini düşürmemesi için yüksek doğruluk ve düşük pürüzlülük sağlayan hassas CNC üretim sistemlerinde üretilmesi gerekir (Közkurt ve diğ., 2017). Elektrikli motorlar, az hareketli parçaya sahip olduklarından enerji verimliliği açısından İYM'lere bir kez daha üstünlük sağlamaktadır.

7.3. Menzil ve seyir dinamikleri

Elektrikli araçlardaki menzil değerleri bataryaların şarj kapasitelerine ve motorun

çektığı akıma bağlıdır. Motorun çektiği akım, motorun anma gücüne, motorun sürücüsüne, aracın sürülme tarzına, sürüklenme katsayısına ve ağırlığına bağlıdır. Batarya kapasitesi bu parametrelerden bağımsız olarak ağırlığın izin verdiği oranlarda artırılabilir. Bu yüzden bataryaya yapılan yatırım ile menzil doğru orantılıdır denebilir. Elektrikli araçlarda enerji verimliliği yüksek olsa da enerji depolama maliyetleri henüz fosil yakıt motorlu araçların seviyelerine düşmemiştir. Ancak hızlı şarj istasyonları, paylaşımlı hareketlilik araçları gibi uygulamalar yaygınlaştıkça, elektrikli araçlar daha düşük maliyetlerle trafikte seyredebileceklerdir. Hızlı şarj istasyonlarının artışı daha düşük menzilli dolayısıyla daha ucuz araçların kullanımını yaygınlaştırabilecek, paylaşımlı hareketlilik uygulamaları da araç sahiplenme maliyetlerini azaltarak daha fazla insanın elektrikli araçlardan faydalanabilmesini sağlayabilecektir (Feigon ve Colin, 2016). Elektrikli araçların menzillerinde son yıllarda önemli artışlar olmuştur. Tablo 3'te verilen üretimdeki TEA menzil verilerinde de görüldüğü gibi değerler 198 km ile 600 km arasında değişmektedir. Buna göre günümüzde şehirler arası yolculuklarda elektrikli araçların kullanımı oldukça yeterli düzeye gelmiştir.

Tablo 4'te fosil yakıtlı ve hibrit araçlardan bazılarının verileri görülmektedir. Elektrikli araçlarla hızlanma süresi, tüketim ve menzil değerleri açısından karşılaştırma yapıldığında elektrikli araçların hızlanma sürelerinde ve eşdeğer tüketimde üstün olduğu görülmektedir.

Menzil açısından fosil yakıtlı ya da hibrit araçların daha üstün olduğu görülmektedir.

Geleceğin otonom araçlarına yönelik küresel tekerlek tasarımı (Goodyear Eagle-360) yatay kurplarda ve park esnasında otomobilin köşegenleri doğrultusunda değişken açılarda ya da eni doğrultusunda direksiyon mekanizması kullanmadan hareket etmesine olanak tanır. Böylelikle hem mekanizmadan bağımsız bir çalışma hem de dönüşteki alan gereksinimin ortadan kalkmasıyla otoparklarda alan açılması sağlanmış olur. Bu avantajlarına rağmen küresel tekerlek bir motorun rotor kısmını oluşturduğundan dış etmenlere karşı korunması için maliyetli malzemeler ile kaplanması gerekebilir. Tekerleğin kaplama kalınlığı arttıkça elektrik motorunun hava aralığı artacağından verimi de düşecektir. Ayrıca kaplama malzeme manyetik yataklama zorlukları nedeniyle olabilecektir. Tekerleğin küresel yapısından dolayı temas yüzeyi azalacağından zemine tutunma kabiliyeti de düşecektir. Malzeme teknolojisini gelişmesiyle hayata geçirilmesi mümkün olabilecek küresel tekerlekler gelecekte sıra dışı bir taşıt dinamiği vaad etmektedir.

Rejeneratif amortisörler, elektrik enerjisine ihtiyaç duyan TEA'larda menzili uzatmak adına daha fazla gündeme gelme potansiyeline sahiptirler. Rejeneratif süspansiyon teknolojisi elektrik motorlarına benzer sistemlerden oluştuğundan bu sistemlerin verimlilikleri EA motorlarının gelişimine paralel olarak artabilir. Ancak rejeneratif amortisörlerle ilgili gelecekteki sorunlardan en önemlilerinden biri, yeterli hareket, sınırlı ağırlık ve boyutlara sahip kompakt bir rejeneratif amortisör geliştirmektir (Abdelkareem ve diğ., 2018).

Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar araç içinde farklı konumlara yerleştirilebilmektedir. Ön kaput altı, arka bagaj altı ya da kabin altı olmak üzere değişen bu konumlardan en çok kullanılanı kabin altı konumdur. Bu seçenek aracın ağırlık merkezini yere yaklaştırarak yatay kurplarda daha yüksek hızlarla devrilmeden ilerlemeyi sağlamaktadır. Fosil yakıtlı araçlarda ise şanzıman ve motor gibi yüksek ağırlık oluşturan bileşenler yapısı gereği elektrikli araçlara göre ağırlık merkezinin hem daha yüksekte hem de daha önde olmasına sebep olmaktadır. Geometrik olarak ağırlık merkezinin orta altta olması

dinamik açıdan da avantaj oluşturmakta ve bu seçeneklerdeki bir aracın seyir dinamikleri daha stabil olmaktadır.

EA'ların karavan, otobüs, UTV, jet ski, mobil konteynır gibi gelecekteki farklı kullanım alanlarına yönelik tasarımlarını yapan firmalar da bulunmaktadır (Nikola, NeuronEV). Bu tasarımlara bakıldığında trafikte seyrederken ofis ortamı ya da konaklama ortamı sunan konteynır şeklinde araçların olduğu görülmektedir. Seyir halinde çalışma ya da konforlu dinlenme de EA'lar ile mümkün görülmektedir.

7.4 AUS ile adaptasyon

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); sürücü, yolcu ve trafik güvenliğinin artırılması, kazaların önlenmesi, seyahat sürelerinin azaltılması, enerji verimliliğinin sağlanması ve çevreye verilen zararların azaltılması amacıyla kurulan bir sistemdir. Bu sistemde kullanıcı, araç, altyapı ve merkez arasında çok yönlü veri iletişimi sağlanarak belirtilen amaçlara ulaşılmaya çalışılmaktadır (Tektaş ve diğ., 2016). AUS'un kullanımı ile trafikte geçen zaman ve trafikte ortalama durma süresi azaltılabilmekte iken acil durumlara tepki hızında ise ciddi artış sağlanabilmektedir (Singh & Gupta, 2015). Akıllı ulaşım teknolojileri; toplu ulaşımın iyileştirilmesi, otomobillerin otomasyonu ve otonom araçların geliştirilmesi gibi kritik teknolojilere katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda otomatik plaka okuma sistemleri, otomatik navigasyon sistemleri, otomatik geçiş sistemleri, dinamik trafik ışığı kontrol sistemleri gibi uygulamaları yıllar içerisinde kullanıma sunulmuştur.

Alternatif enerji kaynakları ile enerji üretimi ve elektrikli araçların artması ile petrol tüketiminin buna bağlı olarak azalacağı aşikârdır. Bu durumda AUS'un temel amaçlarından olan insan ve çevre dostu sistemler kapsamında karbon salınımının azaltılması önemlidir. Ayrıca AUS'da, yazılım içeren uygulamalar ile araç-arac, araç-sürücü, araç-merkez haberleşmeleri ile trafik güvenliğine katkı sağlanabilmektedir (Tektaş ve Tektaş, 2019). Tüm bu dinamikler değerlendirildiğinde elektrikli araçların AUS uygulamalarına daha kolay adaptasyonun sağlanacağı düşünülmektedir.

Tablo 3. 2020 yılında üretilen ve sonrasında üretimi planlanan bazı TEA'ların teknik özellikleri (Fuel Economy. EV database. Edmunds. Plugincars. TOGG. Tesla)

Otomobilin markası ve modeli	Batarya kapasitesi (kWh)	0–100km hızlanma (s)	Toplam Menzil (km)	Tüketim (kWh / 100 km)	Eşdeğer ortalama tüketim (litre / 100 km _e)	Motor gücü (Kw)	Motor tipi	240 V'da Şarj Süresi (Saat)
Tesla Model 3 Standard Range Plus	50	5,6	402	14,91	1,67	211	AA 3 Faz	8,5
Hyundai İoniq Electric	38,3	9,9	274	24,38	1,77	100	AA DMSM	5,8
Tesla Model 3 Long Range	75	4,6	531	16,16	1,81	211	AA 3 Faz	10
Hyundai Kona Electric	67,1	7,9	415	16,78	1,96	150	AA DMSM	9
Chevrolet Bolt EV	60	6,7	417	18,02	1,99	150	AA DM	10
Kia Soul Electric	64	7,6	391	18,64	2,06	201	AA DMSM	9,5
BMW i3	42,2	7,3	246	18,64	2,06	125	AA İnd.	7
Volkswagen e-Golf	35,8	9,6	198	18,64	2,06	100	AA DMSM	5,3
Kia Niro Electric	67,1	7,8	385	18,64	2,1	150	IDMSM	9,5
Tesla Model S Long Range	100	3,8	600	18,64	2,12	193	AA 3 Faz	12
MINI Cooper SE Hardtop 2 door	32,5	7,3	177	19,26	2,18	135	DA DM	4
Jaguar I-Pace	90	4,8	377	27,34	3,09	147	AA 3 Faz	13
Porsche Taycan Turbo	93,4	3,2	323	30,45	3,41	170	AA DM	10
TOGG AWD**	-	4,8	500	-	-	294	-	-
Tesla Cybertruck AWD**	-	2,9	800	-	-	-	AA 3 Faz	-
Tesla Semi**	~1000	20,7	805	124,27	13,96	-	AA 3 Faz	-

*litre/100km_e : Bir galon benzin başına gidilen mil eşdeğeri (MPG_e - Mile per gallon gasoline equivalent) ölçü biriminin karşılığı (EPA, 2011)

**Henüz aracın satışı olmadığından veriler değişebilir

Tablo 4. 2020 yılında üretilmekte olan bazı şarjlı hibrit, hibrit ve İYM tahrikli araçların teknik özellikleri (Fuel Economy. Edmunds. Plugincars.)

Marka / Model	Batarya kapasitesi (kWh)	0 – 100 km hızlanma (s)	Toplam menzil (km)	Ortalama yakıt tüketimi (litre / 100 km)	Elk.+Yakıt eşd. ort. tüketim (litre / 100 km)	Güç (kW)	Elektrik Motor tipi	Tahrik tipi
Toyota Prius Prime	8,8	10,9	1030	4,36	1,77	37	AA İnd.	Şarjlı Hibrit
Ford Fusion Energi Plug-in Hybrid	7,6	8,5	982	5,6	2,28	68	AA DM	Şarjlı Hibrit
Toyota Prius Eco	-	10	1019	4,2	-	53	-	Hibrit
Honda Insight	-	8,4	887	4,52	-	79	-	Hibrit
Ford Fusion Hybrid FWD	-	9,3	946	5,6	-	104	-	Hibrit
Nissan Altima AW	-	8,7	773	7,84	-	138	-	İYM
Volkswagen Arteon	-	6,8	1138	9,41	-	197	-	İYM
Ford Fusion FWD	-	9,2	681	9,41	-	170	-	İYM
Ford Escape AWD	-	-	708	8,4	-	184	-	İYM
Ford F150 Pickup 4WD Limited	-	-	1100	12,38	-	331	-	İYM

8. Değerlendirme

EV teknolojisi, otomotiv sanayinde yaşanan gelişmelere paralel olarak temiz enerji kaynağı ve enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmalardan dolayı hızlanmıştır. Özellikle petrol kaynaklarının tükenme noktasına gelmesi ve artan çevresel kaygılar, araçlar için alternatif tahrik sistemlerinin gerekliliğini arttırmıştır.

Elektrikli araçlar fosil yakıtlı araçlara göre kısa sürede hızlanma, tüketim maliyeti, enerji verimliliği, enerji geri kazanımı, basit mekanik tahrik, sessiz çalışma ve gürültü kirliliğinin azaltılması gibi avantajları da sunmaktadırlar.

Enerji kullanım miktarını en aza indirmek ve enerji verimliliğini en üst düzeye çıkartmanın yolu EA'lar olduğu görülmektedir. Menzil söz konusu olduğunda İYM ön plana çıksa da verimsiz çalışması nedeniyle gelecekte tercih sebebi olmaktan da çıkacaktır. Özellikle batarya teknolojisinin gelişmesiyle EA'lar için problem olan menzil konusu da aşılabacaktır. Bu yüzden birçok büyük marka tarafından fosil yakıtlı araçlardan, elektrikli araçlara geçişin hızlandırıldığı görülmektedir. Türkiye de bu geçişte hamlesini yaparak yerli ve milli elektrikli araçlarını yakın gelecekte seri olarak üretmeyi hedeflemektedir.

Elektrik motorları, tahrik sistemlerinin en önemli elemanlarından biri olarak tanımlanabilir. Günümüze kadar elektrikli araçlarda pek çok farklı tipte tahrik motoru kullanılmıştır. Elektrikli araçlarda asenkron, senkron, DA ve anahtarlama relüktans tip elektrik motorları tercih edilebilmektedir. Bu motorların birbirlerine göre bakım gereksinimi, maliyet, dayanıklılık, verimlilik gibi avantajları mevcuttur. Elektrikli araçlar söz konusu olduğunda elektrik motorundan, yüksek bir kalkış performansı ve seyir halinde yüksek verimlilik beklenmektedir. Bu beklentiler doğrultusunda, elektrikli araçlar için seçilecek bir elektrik motorunda hem kalkış torku hem de nominal verim için makul olan en yüksek değerleri dengeli şekilde sağlayabilecek bir seçim gerçekleştirilmelidir.

EA teknolojilerinin sürdürülebilir olması günümüzde ulaşım tercihlerini değiştirdiği gibi gelecekte bu ulaşım sektöründe en büyük payı oluşturacaktır. Uluslararası rekabette geriye düşmemek, cari açığa katkı sağlanması, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve gelecekte daha da önem kazanacak olan akıllı ulaşım sistemleri (AUS) uygulamalarına adaptasyon amacıyla EA teknolojilerinin tercih edilmesi önem arz etmektedir.

Kaynaklar

- Abdelghani, D. & Boumediene, A.** (2019). Independent control of two induction motors fed by the nine- switch inverter for use in ev applications. *Journal of Engineering Science and Technology*. 14(5), 2991-3006.
- Abdelkareem, M. A., Xu, L., Ali, M. K. A., Elagouz, A., Mi, J., Guo, S., ... & Zuo, L.** (2018). Vibration energy harvesting in automotive suspension system: A detailed review. *Applied energy*, 229, 672-699.
- Ahmed, S.A., Zhou, S., Tsegay, A.S., Zhu, Y., Malik, A., Ahmad, N. & Legese, Z.** (2020) Effects of CO2 ratio in Biogas on Performance, Combustion and Emissions of a Dual-Fuel Diesel Engine. *International Energy Journal*, 20, 15-38.
- Alizon, F., Shooter, S.B. & Simpson, T. W.** (2009). Henry Ford and the Model T: lessons for product platforming and mass customization. *Design Studies*, 30(5), 588-605.
- Anckaert, D., Fontaine, S., Besnoin, E., & Delu, J.** (2017). Reinventing the Wheel Innovations in the Tyre Industry. *ATZ worldwide*, 119(1), 36-41.
- AVERA.** (2010). Battery Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicles are the keys to a sustainable mobility, European Association for Battery. Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicles <http://www.avere.org/www/Images/files/about_ev/Brochure.pdf>, erişim tarihi 2. 11. 2011.
- Bottery, M.** (2008). Educational leadership, the depletion of oil supplies and the need for an ethic of global sustainability. *School Leadership and Management*, 28(3), 281-297.
- BP** <<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/primary-energy.html>>, erişim tarihi 05.03.2020.
- Dalcalı, A.** (2018). Optimal Design of High-Performance Interior PM Motor for Electric Vehicle. *The International Journal of Energy & Engineering Sciences*, 3(2) 26-35.
- Damiano, A., Gatto, G., Marongiu, I., Porru, M. & Serpi, A.** (2014). Real-time control strategy of energy storage systems for renewable energy sources exploitation. *IEEE Trans. on Sustainable Energy*, 5(2), 567-576.
- Demir, A.** (2011). Güncel ve Gelecekteki Otomobil ve Otopark Trendleri. *Uluslararası Otopark Politikaları ve Uygulamaları Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye.
- Duleep, G., Essen, H.V., Kampman, B. & Grünig, M.** (2011). Impacts of electric vehicles, Deliverable 2, Assessment of electric vehicle and battery technology. CE Delft.
- Edmund** <<https://www.edmunds.com/>> erişim tarihi 19.03.2020.
- Ehsani, M., Gao, Y. & Emadi, A.** (2009). Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design. CRC press.
- Ehsani, M., Gao, Y., & Gay, S.** (2003). Characterization of electric motor drives for traction applications. *Proceedings of The 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. Roanoke, VA, USA.
- Emadi, A., Young, J. L. & Kaushik, R.** (2008). Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 55(6), 2237-2245.

EPA. (2011). New Fuel Economy and Environment Labels for a New Generation of Vehicles. Regulatory Announcement EPA-420-F-11-017. U.S. Environmental Protection Agency.

EV Database <<https://ev-database.uk/>> erişim tarihi 19.03.2020.

Feigon, Sharon, and Colin Murphy. Shared mobility and the transformation of public transit. No. Project J-11, Task 21. 2016.

Foley, A. M., Leahy, P., Mckeogh, E. & Gallachoir, B. O. (2010). Electric Vehicles And Displaced Gaseous Emissions. *Proceedings of the Vehicle Power and Propulsion Conference*, Lille, 1-3.

Fuel Economy <<https://www.fueleconomy.gov/>> erişim tarihi 19.03.2020.

Gillespie, T. D. (1992). Fundamentals of vehicle Dynamics. SAE International

Gomez, J.C. & Medhat, M.M. (2008). Impact of EV Battery Chargers on the Power Quality of Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 18(3), 975- 981.

Gondelach, S.J.G. & Faaij, A.P.C. (2012). Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term. *Journal of Power Sources*, 212, 111-129.

Goodyear Eagle-360, 120 years of innovation. <<https://www.goodyear.hk/120-years-of-innovation/>> erişim tarihi 09.04.2020

Grilo, N., Sousa, D. M. & Roque, A. (2012). AC Motors for Application in a Commercial Electric Vehicle: designing aspects. *Proceedings of 16th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*. Tunisia.

Gustafsson, T. & Johansson, A. (2015). Comparison between battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles fueled by electrofuels. Master's Thesis in Sustainable Energy Systems, Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

Hawkins, T., Singh, B., Bettez, G.M. & Stromman, A. H. (2012). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53-64

Howey, D.A., Botas, R.F.M., Cussons, B. & Lytton, L. (2011). Comparative measurements of the energy consumption of 51 electric, hybrid and internal combustion engine vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(6), 459-464.

IEA < <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>>, erişim tarihi 04.03.2020.

Jannatkhah, J., Najafi, B. & Ghaebi, H. (2020). Energy and exergy analysis of combined ORC–ERC system for biodiesel-fed diesel engine waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*, 209, 112658.

Khan, S.A. & Bohnsack, R. (2020). Influencing the disruptive potential of sustainable technologies through value proposition design: The case of vehicle-to-grid technology. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120018.

Közkurt, C., Ertaş, H. A., & Yücel, S. (2017). Analysis of Graphical Approach for Cam Profile Determination. *Journal of New Results in Science*, 6(1), 32-46.

Lai, J. (2001). Electric Vehicles and Power Electronics. Universidad Technica Federico Santa Maria, Valparaiso, Chili, 1-41

Larminie J. & Dicks A. (2000). Fuel Cell Systems Explained. *John Wiley&Sons Ltd*, London.

Luin, B., Petelin, S. & Mansour, F.A. (2019). Microsimulation of electric vehicle energy consumption. *Energy* 174, 24-32.

Mahmoudi, C., Flah, A. & Sbitta, L. (2014). An overview of electric Vehicle concept and power management strategies. *Proceedings of the International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb*, Tunisia.

Manzetti, S. & Mariasiu, F. (2015). Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1004–1012.

Martinez, C.M., Hu, X., Cao, D., Velenis, E., Gao, B. & Wellers, M. (2017). Energy management in plug-in hybrid electric vehicles: recent progress and a connected vehicles perspective. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(6), 4534-4549.

Matheys, J., Timmermans, J.M., Autenboer, W.V., Mierlo, J. V., Maggetto, G., Meyer, S., Groof, A.D., Hecq, W. & Bossche, P. V. D. (2006). Comparison of the Environmental impact of 5 Electric Vehicle Battery technologies using LCA. *Proceedings of 13th International Conference on Life Cycle Engineering*, Belgium, 97-102.

Morcos, M.M. (2000). Battery Chargers for Electric Vehicles. *IEEE Power Engineering Review*, 20(11), 8-11.

Moreno, J., Ortuzar, M. E. & Dixon L. W. (2006). Energy Management System for an Hybrid Electric Vehicle, Using Ultracapacitors and Neural Networks. *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 53(2), 614-623.

Naik, R.T., Babu, M.K.G. & Das, L. M. (2016). Performance Studies on CNG Enriched with LPG Operated Variable Speed Spark Ignition Engine. *Asian Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 1(3), 1-6.

Nanda, G. & Kar, N.C. (2006). A survey and comparison of characteristics of motor drives used in electric vehicles. *Proceedings of Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Canada, 811-814.

Neuron EV <<https://www.neuronev.co/>> erişim tarihi 19.03.2020

Nikola <<https://nikolamotor.com>> erişim tarihi 19.03.2020

Ocak, C. (2013). Elektrikli araçlar için üç kademeli yeni bir fırçasız da motoru tasarımı, analizi ve uygulaması. Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özbay, H. (2017). Şebeke Etkileşimli Yenilenebilir Enerji Destekli Hızlı Batarya Şarj Sisteminin Gerçekleştirilmesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.

Palacky, P., Brandstetter, P., Chlebis, P., Sladeczek, V., Simonik, P. & Slivka, D. (2014). Control algorithms of propulsion unit with induction motors for electric vehicle. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 14(2), 69-76.

Patel, C., Agarwal, A.K., Tiwari, N., Lee, S., Lee, C. S. & Park, S. (2016). Combustion, noise, vibrations and spray characterization for

Karanja biodiesel fuelled engine. *Applied Thermal Engineering* 106, 506-517.

Plugincars <<https://www.pluginCars.com/>> erişim tarihi 09.04.2020.

Rahman, K. M., Fahimi, B., Suresh, G., Rajarathnam, A. V. & Ehsani, M. (2000). Advantages of Switched Reluctance Motor Applications to EV and HEV: Design and Control Issues. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 36(1), 111-121.

SEI. (2007). Sustainable Energy. Hybrid electric and Battery Electric Vehicles-Technology, costs and Benefits. *Sustainable Energy Ireland*, Dublin.

Şenol, R. Üçgöl, İ. & Acar, M. (2006). Yakıt Pili Teknolojisindeki Gelişmeler ve Taşıtlara Uygulanabilirliğinin İncelenmesi. *Mühendis ve Makine*, 47(563), 37-50.

Singh B. & A.Gupta, A. (2015) Recent trends in intelligent transportation systems:A review. *Journal of Transport Literature*, 9(2), 30-34.

Tektaş M. & Tektaş N. (2019). Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) uygulamalarının sektörlere göre dağılımı. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 2(1), 32-41.

Tektaş M., Korkmaz K. & Erdal H. (2016). Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceği Ekonomik ve Çevresel Faydaları. *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi, Özel sayı*, 561-677.

Tesla. <<https://www.tesla.com>> erişim tarihi 19.03.2020

Thomas, C. E. (2009). Fuel cell and battery electric vehicles compared. *International journal of hydrogen energy*, 34(15), 6005-6020.

Tian, H., Zhu, W., & Wang, S. (2019). Adaptive electronic differential control of vehicle by torque balance. *Mobile Networks and Applications*, 1-7.

TOGG, Türkiye'nin Otomobil Girişim Gurubu <<https://www.togg.com.tr/content/otomobil>> erişim tarihi 19.03.2020

Uçarol, H. & Kural, E. (2009) Ulaşım da Enerji Verimliliği için Hibrid ve Elektrikli Araçlar. *Mühendis ve Makine*, 50(594), 66-71.

Vatani, M., Mirsalim, M. & Zadeh, S. V. (2019). A New Double-Layer Switched Reluctance Motor with a Low Torque Ripple. *Proceedings of 27th Iranian Conference on Electrical Engineering*, Iran.

Weform

<<https://www.weforum.org/agenda/2016/04/the-number-of-cars-worldwide-is-set-to-double-by-2040>>, erişim tarihi 05.03.2020.

Westbrook, M. H. (2001). The Electric Car: development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars. IET Power and Energy Series 38.

Yin, Y., Stecke, K. E. & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 848-861.

Zhang, Y., Cao, W., McLoone, S. & Morrow, J. (2016). Design and flux-weakening control of an interior permanent magnet synchronous motor for electric vehicles. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 26(7).

Zhang, Q., Deng, J. & Fu, N. (2019). Minimum Copper Loss Direct Torque Control of Brushless DC Motor Drive in Electric and Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Access*, 7, 113264-113271.