

# OTOMOTİV ELEKTRONİĞİNDEKİ GELİŞMELER

R. Nejat TUNCAY<sup>1,2</sup>

Özgür ÜSTÜN<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Elektrik Mühendisliği Bölümü

Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul

<sup>2</sup>MEKATRO AR-GE ve Tic. A.Ş. TÜBİTAK-MAM, TEKSEB, 41470, Gebze, Kocaeli

tuncay@elk.itu.edu.tr

ustun@elk.itu.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Otomotiv Elektroniği, Otomotiv Mekatroniği, Tümü Elektrikli Araç, Karma Elektrikli Araç*

## ABSTRACT

*Changing social, technical and environmental requirements and priorities of today's life makes more electrical and electronic use in automotive industry. This study presents latest electrical and electronic developments in vehicle technologies under the following headings: 1. Body, comfort and convenience systems 2. Safety and security systems 3. Electric-Electronic power systems, 4. Infotainment systems 5. Comparison between automotive electronics and consumer electronics, 6. Power train. The power train section covers all electric and hybrid electric vehicle topologies. It is seen that conventional mechanical motion control systems are replaced by their electromechanical counterparts. The fast developing electronics and sensor technology would yield intelligent and safe drive schemes and, advanced communication and comfort systems would make the life easier and safer during driving. Developments on hybrid vehicle technology shows that, substantial energy saving is achieved without sacrificing the performance.*

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda özellikle otomotiv endüstrisinde, elektronik sistem kullanımına eğilim çok büyük artış göstermiştir. Bir anlamda, otomotiv sektörünün geleceğinin elektronikte ulaşılan gelişmelere bağlı olduğu söylenebilir. Günümüzde, modern araçlarda kullanılan elektronik sistemlerin ve fonksiyonların sayısı büyük artış göstermektedir. Bu gelişmeyi zorlayan faktörler, daha fazla güvenlik gereksinimi, düşük yakıt tüketimi, daha az kirlilik, sürücünün araç işlevi hakkında daha fazla bilgilendirilmesi ve yardımcı sistemlerin yanı sıra eğlence sistemleri ve konfora yönelimlerdir. 2010 yılında, üretilen ortalama otomobil maliyetinin yaklaşık %40'ını elektronik sistemlerin oluşturacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle, bir çok elektronik parça üreticisi, "otomotiv elektroniği bileşenleri"

adı altında yeni ürün yelpazeleri oluşturmuşlardır. Bu bileşenler, otomobil akü gerilimi, akım sınırları ve ortam koşulları dikkate alınarak imal edilmiş özel yarıiletken eleman ve devrelerdir. Bilindiği gibi aracın içi, dışı ve motor bölgesi, özellikle elektronik elamanlar için oldukça zarar verici sert ortamlardır [1].

Otomotiv teknolojisindeki bu gelişmeler, bir çok bilimsel ve teknolojik bakış açısının otomotiv alanına girmesine yol açmış ve "otomotiv mekatroniği" gibi yeni kavramların oluşmasına olanak vermiştir [2].

Günümüzde "otomotiv elektroniği" ifadesi, karmaşık bir ağ oluşturan, gelişmiş algılayıcıları, kontrol birimlerini, güç elektroniği devrelerini ve aktuatörleri ve, bunlarla bütünleşmiş mekanik hareket sistemlerini içermektedir"[3].

Otomobillerde elektroniğin kullanımı, klasik elektronik sistemlerin yanı sıra bir çok yeniliği de beraberinde getirmektedir. Araç içindeki mekanik işlemlere ilişkin komutların (direksiyon hareketi, fren pedalı v.b.) mekanik iletim düzenekleri yerine elektrik sinyali olarak gönderilmesini öne süren x-by-wire teknolojisi bu ilerlemelerin bir sonucudur. Bu yöntem sayesinde birçok mekanik iletim düzeniği kaldırılmıştır. Mekanik hareket komutu bir algılayıcı tarafından belirlendikten sonra, tel üzerinden elektriksel sinyalle işlemi yapacak olan aktuatör sistemine gönderilmektedir. Modern otomobillerde veri iletişimi bir şebeke ile yapılmaktadır. Şebeke kavramı özel veri yollarının kullanılması sonucunu getirmiştir.

Özetle, ilerleyen elektrik-elektronik teknolojileri sayesinde, daha hafif ve daha çevre dostu araçlar geliştirilmekte, otomotiv teknolojisinde daha yüksek güvenilirlik ve daha üstün kontrol değerleri elde edilebilmektedir.

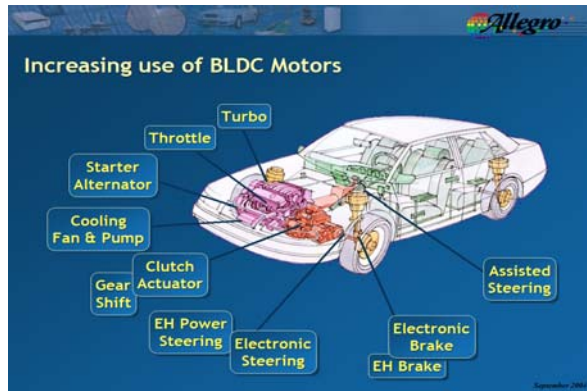
Otomotiv teknolojisi genel olarak beş kısımda incelenebilir:

- Gövde, Konfor ve Kolaylık Sistemleri
- Güvenlik ve Korunma Sistemleri
- Elektrik-Elektronik Enerji Sistemleri

- Bilişim Sistemleri (Infotainment)
  - Güç ve Aktarım Sistemleri (Power train)
- Bağımsız yapısı göz önüne alınarak Güç ve Aktarım Sistemleri, diğer dört başlığın dışında ele alınıp genel amaçlı elektronik teknolojisi ile otomotiv elektroniğinin karşılaştırıldığı kısmın arkasına konmuştur.

## 2. GÖVDE, KONFOR ve KOLAYLIK SİSTEMLERİ

Günümüzde otomobiller artık bir yaşam alanı olarak tasarlanmaktadır. Bu nedenle her türlü konfor ve kolaylık sistemleri araç içinde yer almaya başlamıştır. Bu amaçla çok sayıda algılayıcı ve elektromekanik hareket sistemi kullanılmaktadır. Bir örnek olarak lüks bir arabada yaklaşık 100 adet arasında elektrik motoru ya da aktüatörü bulunmaktadır. Bunların bir kısmı marş motoru, alternatör, benzin pompası gibi aracın çalışması için gerekli temel fonksiyonları yerine getirmekte, bir kısmı da koltuk, kapı camı, tepe güneşliği, ön panel ve anten hareketleri gibi işlemleri gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Otomobilde kullanılan elektrik motorları çoğunlukla doğru akım makinalarıdır. Genel yönelim elektronik olarak kontrol edilen fırçasız D.A. motorlarının, klasik kollektörlü D.A. motorlarının yerini alması şeklindedir. Şekil 1. de fırçasız D.A. makinalarının kullanım yerlerinin bir kısmı gösterilmektedir.[4] Modern araçlardaki ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri de tümüyle elektronik kontrollüdür.



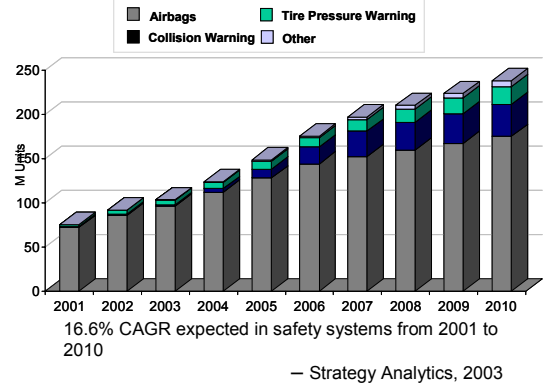
Şekil 1. Bir otomobilde Fırçasız D.A. motor kullanımı

## 3. GÜVENLİK ve KORUNMA SİSTEMLERİ

Modern otomobil teknolojisinin temel odak noktalarından biri kuşkusuz güvenlidir. Sürücü ve yolcu güvenliği başta olmak üzere, yaya ve araç güvenliği de üzerinde en çok araştırma yapılan konular arasındadır. Stratejik pazar araştırmaları araç güvenlik sistemleri pazarının 2000 ile 2010

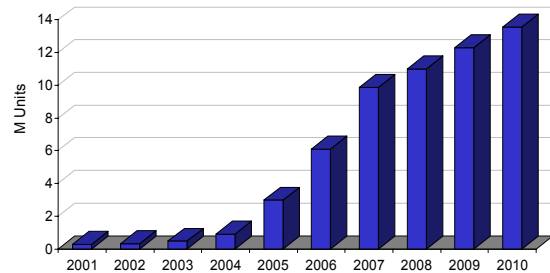
arasında üç kat büyüyeceğini göstermektedir. Bu pazar içerisinde en büyük pay hava yastıklarında olmakla birlikte lastik basınç algılama sistemlerinin ve kaza uyarı ve önleme sistemlerindeki büyümenin oransal olarak daha da fazla olacağı Şekil 2 de gösterilmiştir.

## Future growth in automotive safety



Şekil 2. Otomotiv güvenliğinde pazar payının genişlemesi

Günümüz araçlarında standart bir özellik olan ABS (Anti-lock Braking System) yanında, ASP (Automatic Stability Program), ve ACC (Adaptive Cruise Control) de ilgi çeken konular arasındadır [5]. Bilindiği gibi "Anti Blok Sistem" olarak tanımlanan ABS sistemleri, fren sırasında tekerleğin yol yüzeyinde (patınaj) kaymasına engel olarak freni açıp kapatmakta, böylece aracın daha kısa mesafelerde durmasını sağlamaktadır. ABS sistemlerindeki Pazar payının nasıl büyümeekte olduğu Şekil 3. de gösterilmiştir.



Şekil 3. Tekerlek kaymasını önleme sisteminin pazar payının genişlemesi

ACC sisteminde, normal otomatik sürüşten farklı olarak, öndeki araçla olan uzaklığın ayarlanması ve çarpışmanın engellenmesi de hedeflenmiştir. Bu hedeflerin başarılması için etkin bir kontrol stratejisinin belirlenmesi ve etkin bir iletişim sisteminin kurulması gereklidir. Bu amaçla, araç içine bir radar konulmakta, radar elektromagnetik

dalgalar aracılığıyla öndeki aracın gövdesiyle ya da araca ait radarla iletişim kurmaktadır. Acil frenleme ve çarpışma önleme sistemlerinde ise, frenleme işlemi sürücüye bırakılmaksızın bir kontrolör tarafından yapılmakta ve araç olanaklı olan en yüksek ivme profili ile frenlenmektedir. Bunun yanında blue-tooth veya benzeri haberleşme sistemleri aracılığı ile çok ileride ani fren yapan veya kazaya uğrayan araç hakkındaki bilginin arkadan gelen araçlara iletilmesi için çalışmalar yapılmaktadır [6].

## Duyarga Teknolojisi

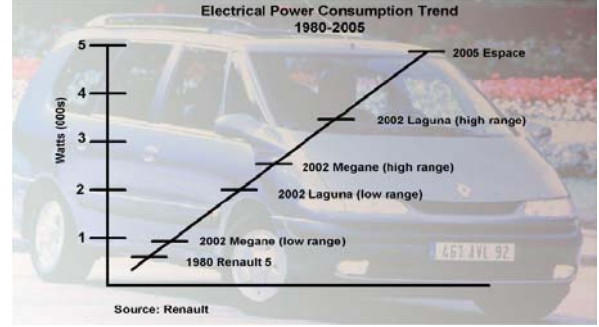
Modern araçlarda çok sayıda ve çok amaçlı duyurgalar bulunmaktadır.

- İvmelenme duyurgası
- Yakıt düzeyi duyurgası
- Yakıt deposu basınç duyurgası
- Tekerlek hızı duyurgası
- Lastik basınç duyurgası
- Sıcaklık belirleme duyurgaları
- Nem duyurgası
- Yük/ağırlık duyurgaları
- Soğutma suyu seviye ve sıcaklık duyurgaları
- Yağ basıncı duyurgası
- Mesafe duyurgaları

Bu temel algılayıcı elamanların yanı sıra, çarpışma duyurgası, koltuk konum duyurgaları gibi bir çok özel tip duyurgalar da bulunmaktadır. Duyurga elemanları CAN veri yolu üzerinden kontrol birimlerine bağlanmıştır [7,8].

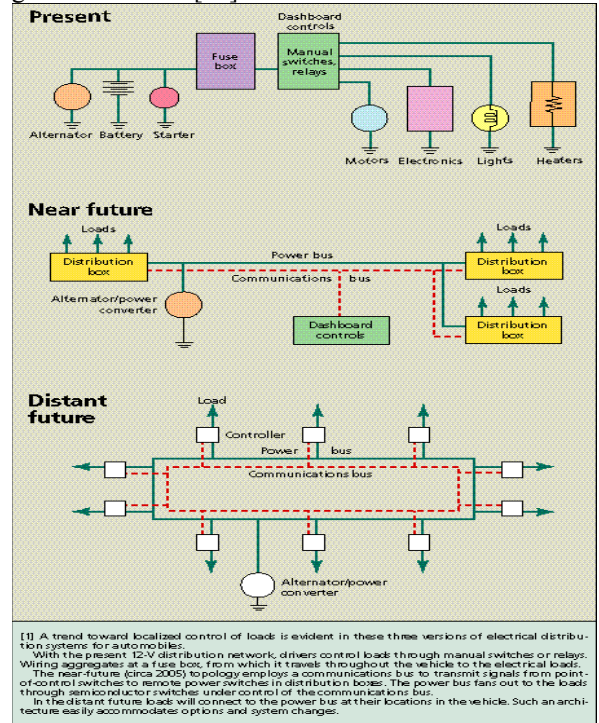
## 3. ELEKTRİK-ELEKTRONİK ENERJİ SİSTEMLERİ

Artan konfor ve güvenlik gereksinmesinin sonucunda araç içersinde kullanılan elektrik enerjisinde artışlar meydana gelmektedir. Direksiyon, fren, kapı, koltuk gibi otomobil parçalarının hareketinde elektrik motorlarının kullanılması, tam otomatik güçlü ısıtma ve soğutma sistemleri, oto bilgisayarlar ve haberleşme donanımları araçlardaki güç gereksinmesini artıran başlıca öğeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 4 den görüldüğü gibi normal otolarda 1-2 kW mertebesinde olan güç, lüks otolarda ve minibüs veya SUV türü araçlarda 5 kW değerini de aşacaktır. Bu gücün 12 V akü ile sağlanması oldukça zor görünmektedir [9].



Şekil 4. Araçlarda elektrik güç gereksinmesinin artışı

Araç içindeki yüklerin sayısının ve güçlerinin artması kablo ağacı sorununu da birlikte getirmiştir. Şekil 5. de bugün kullanılan yıldız biçimi besleme ve gelecekte bunun yerini alması muhtemel yapılar gösterilmektedir [10].



Şekil 5. Araçlarda kullanılan ve önerilen bara yapıları

Gelişmiş bir otomobil için öngörülen yüklerin, 14 Voltluk bir sistemle karşılanmasının mümkün olmadığı ve en uygun gerilimin 42 Volt olabileceği belirlendikten sonra ortaya iki seçenek çıkmıştır. Bu seçeneklerden birisi, eski mevcut sistemi tamamen terk ederek doğrudan 42 Volt gerilimli bir bara oluşturmak, akü gerilimlerini ve tüm elektrikli donanımı buna uygun seçmektir. Diğer seçenek ise 14 V barayı tutmak ve bunun yanında 42 V luk yeni bir bara oluşturmaktır [11]. Bu sistem çift gerilimli karma oto elektrik sistemi olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemin başlıca avantajı, hem büyük güçlü yüklerin 42 Voltluk baradan beslenebilmesi hem de mevcut sistemin küçük güçlü yükleri beslemeye devam edebilmesidir [12].

Bilindiği gibi otolarda bulunan birçok küçük güçlü elektrikli cihaz halen kullanılan 14 Volt bara gerilimi için tasarımılandırılmıştır. Bunları 42 Voltluk sistemlere dönüştürmek için önemli miktarda kaynak ve zaman gerekmektedir. Çift gerilimli sistem aynı zamanda iki gerilim barası arasında çift yönlü enerji akışına olanak sağlamakta, böylece akü sistemlerinden birisinde bir arıza meydana geldiğinde, acil enerji gereksinmesi diğer sistem tarafından sağlanabilmektedir. Bu durum özellikle ilk hareket sırasında önem kazanmaktadır.

## 5. BİLİŞİM ve EĞLENCE

Günümüz ve yakın gelecekteki otomobil modellerinde erişilmek istenen hedeflerden biri de, arabanın iç ve dış sistemlerle bir ağ aracılığıyla haberleşmesidir. Bu anlamda otomobil teknolojisi, modern uçak teknolojisine ulaşmayı amaçlamaktadır. Eski arabalarda kullanılan her sensör için ayrı bir iletim kablosu yerine, günümüz otomobillerinde tüm sensörler ve kontrolörler bağlantılı oldukları ağ üzerinden haberleşmektedirler. Bu nedenle otomobil içi ağ (in-vehicle network) kavramı kullanılmaya başlanmıştır. Bu ağın çeşitli aygıtlar sayesinde dış dünyadaki ağlarla iletişim kurması sağlanmaktadır. Bir veri yolundan beklenen temel özellikler:

- Görece kısa mesajların etkin olarak iletimi
- Yalın ve saydam iletişim ilkeleri
- Yüksek hızlı denetime olanak veren kısa yanıt zamanı
- Düşük uygulama masrafı şeklinde özetlenebilir.

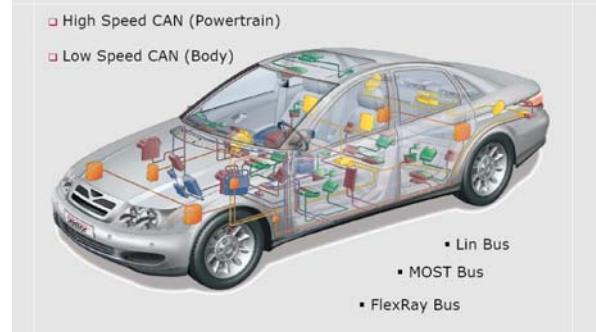
Günümüz otomobillerinde kullanılan ve kullanılması düşünülen veri yolu sistemleri şunlardır.

- CAN Bus
- LIN Bus
- MOST Bus
- FlexRay

CAN (Controller Area Network) veri yolu Bosch tarafından geliştirilmiş olan, günümüzün en çok kullanılan sistemidir [13]. Zaman tetiklemeli bir seri veri yolu olan CAN sisteminin, aracın güç ve aktarım düzenekleri için yüksek hızlı, gövde ve konfor-kolaylık sistemleri için düşük hızlı türü kullanılmaktadır. Şekil 6 ve 7. de araç iletişim sistemi gösterilmiştir. CAN sisteminin avantajlı yanları aşağıdaki gibi özetlenebilir [14]:

- 40 m bus uzunluğuna kadar 1Mbps'lık yüksek veri hızı
- Çok yüksek sağlamlık ve güvenilirlik.
- Uzaktan ileti desteği

- Fiziksel hatası olduğundan kuşkulanan bağlantı noktalarının otomatik devre dışı bırakılması
- Hatalı verinin otomatik olarak yeniden gönderilmesi



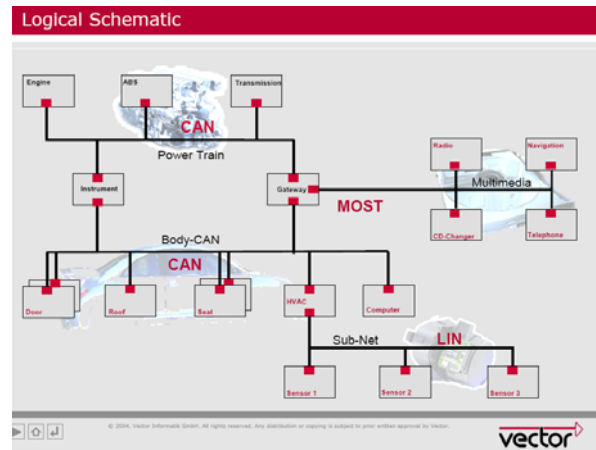
Şekil 6. Araç iletişim ağ sistemi

LIN veri yolu bir seçenek olarak gerçekleştirilmiş daha ucuz ve daha az problem çıkarması amaçlanmış bir veri yolu sistemidir.

Veri yollarının en önemli özellikleri, otomobilin sert koşullarına uyum sağlaması ve oluşabilecek elektromagnetik girişim sorunlarından en az etkilenmesidir.

MOST daha çok otomobil içinde bulunan medya ve eğlence araçlarının bağlanması amacıyla kurulmuş bir ağdır.

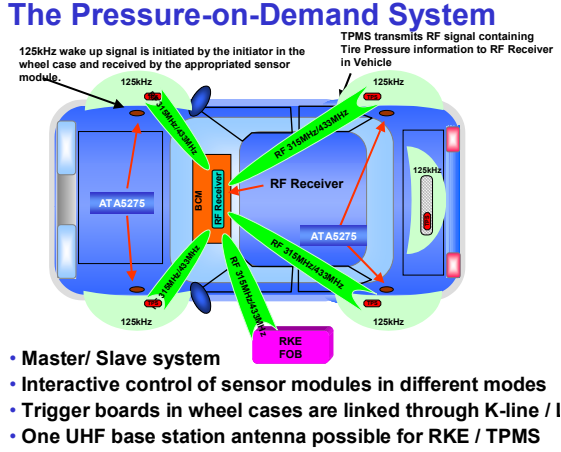
FlexRay geleceğin otomobillerinde kullanılması planlanan, özellikle güvenilirlik bakımından x-by-wire uygulamaları için uygun olan bir veri yolu yapısıdır. Bu veri yolunu geliştirmek ve pazara sürmek için BMW, DaimlerChrysler, Motorola, Philips, GM ve Bosch şirketlerinin içinde bulunduğu bir konsorsiyum oluşturulmuştur [15].



Şekil 7. Araç iç iletişim sisteminin şematik görünümü ve kontrol edilen birimler

FlexRay sistemi üzerinde AR-GE çalışmaları devam etmektedir. Sistemin ne zaman ticari olarak tamamlanacağı, fiyat ve teknik yönlerden CAN sisteminin yerini alıp alamayacağı henüz belirginleşmemiştir.

Araç içinde ve dışında bulunan aktuatör ve algılayıcıların bir kısmının haberleşme bilgilerini radyo dalgalarıyla göndermeleri kaçınılmazdır. Bunlardan ilginç bir örnek lastik basıncını sürekli olarak algılayıp sürücüye haber veren sistemdir. Şekil 8. de gösterilen bu sistemde oto jantlarına tutturulan basınç algılayıcıları telsiz bir sistemle sürücüye lastik basıncı bilgilerini göndermektedir. Bu sistem ABD’de zorunlu hale gelmiştir.



Şekil 8. Lastik basıncı algılama sistemi

Araç konum bilgileri ve yön bulma modern otomobillerin aranan özellikleri haline gelmiştir. Bu amaçla Küresel Konumlama Sistemi (GPS-Global Positioning System) kullanılmaktadır. GPS yönteminde uydu haberleşmesi ile, bir aracın üç boyutlu konum bilgisi elde edilir. Otonom konumlama, farksal konumlama, ters farksal konumlama, sunucu –yardımlı konumlama ve kullanıcı yardımıyla etkinleştirilmiş konumlama gibi bir çok GPS konumlama yöntemi vardır. Bu sistem sayesinde araçlar yönlerini ve yerlerini bularak, gideceği yere nasıl varacaklarını kararlaştırabilirler. Sürücünün yön bulabilmesini sağlamak üzere kadranda bulunan LCD ekranına yol harita bilgileri gönderilebilmekte, bu harita üzerinde aracın bulunduğu yer işaretlenmektedir [16].

Aracın dış dünya ile haberleşmesi ve telefon görüşmeleri “Bluetooth” sistemi ile gerçekleştirilmeye başlanmıştır.

Araç içi eğlence, otomotiv elektroniğinin sunduğu bir başka önemli olanaktır. Gelişen teknoloji ve artan gereksinimler, sürücünün yanı sıra yolcuları da kapsama almıştır. Özellikle görsel-ışitsel eğlence aygıtlarını ve bu aygıtların yolcu ile etkileşimini hedef alan arka koltuk eğlence sistemleri (Rear Seat Entertainment Systems) kavramı bu düşünce sonucu ortaya çıkmıştır. Örnek olarak, ön koltukların arkasına ekranlar ve hoparlörler yerleştirilmekte, bu sayede arkada oturanların araç

içinde değişik bir ortama sahip olmaları sağlanmaktadır.

## 6. OTOMOTİV ELEKTRONİĞİNİN GENEL KULLANICI ELEKTRONİĞİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Otomotiv elektroniği yıllarca genel elektronik endüstrisine bağlı kalmış olmakla beraber son yıllarda, otomobillerde kullanıma uygun özel bir elektronik türünün ortaya çıkması kaçınılmaz olmuştur. Bunun temel nedeni artık genel tüketici elektroniğinin otomotiv ortamıyla bağdaşan uyumlu elaman gereksinimine yanıt verememesidir. Bu konuyla ilgili bazı örnekler şunlardır:

- İşlemci saat hızları otomobillerde oldukça düşük kalmıştır. Bunun nedeni, otomobil içindeki yüksek elektromagnetik uyumluluk (EMC) gereksinimidir.
- Yarıiletken mimarisi genel tüketici elektroniğinde çok daha küçüktür. Bu anlamda otomobil elektroniği, genel tüketici elektroniğinin iki nesil gerisinden gelmektedir.
- Benzer şekilde baskılı devre teknolojisi de otomotivde görece olarak gecikmiştir. Otomotivde baskılı devreler daha kalın ve sayıca daha azdır.

Ancak günümüzde ve gelecekte, otomotiv elektroniğinin daha yüksek hızda gelişeceği görülebilir. Otomotiv elektroniği günümüze kadar, daha çok “muhafazakar” biçimde ele alınmış, düşük gerilim ve yüksek akım değerleri, ve yüksek elektromagnetik uyumluluk isteği, gelişme hızını engellemiştir. Ancak otomobile özel yüksek teknoloji elektronik sistemler gün geçtikçe artmaktadır. Örneğin Bosch ve ortağı Ogaki Ceramics, otomobiller için 140°C sıcaklığa ve 80g’ye varan ivmelere dayanabilen, tümüyle kurşunsuz, çok tabakalı bir baskılı devre teknolojisi geliştirmiştir. Bu devrelerden, ilk imal edildiği 1995 tarihinden bu yana yaklaşık 70 milyon adet üretilmiştir.

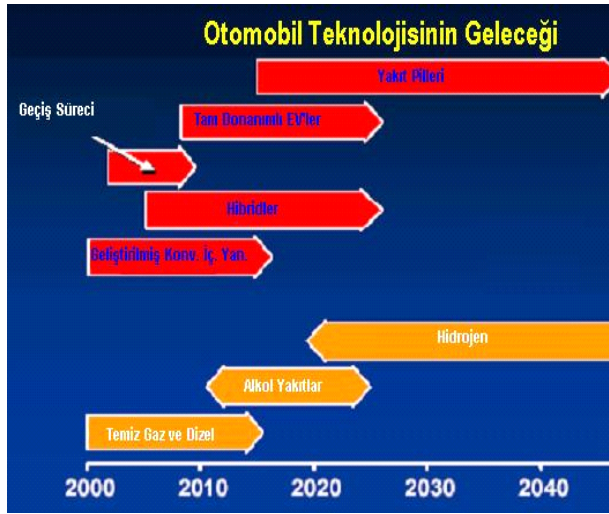
## 7. GÜÇ VE AKTARIM SİSTEMLERİ

Bir otomobilin tahrik sistemi: içten yanmalı motor, vites kutusu, bağlantı elemanları, diferansiyel ve tekerleklerin bütününden oluşur.

Tahrik sisteminin denetimi ve gözlenmesinde elektronik sistemlerden yoğun bir şekilde yararlanılmaktadır. İçten yanmalı motorların denetimi bir Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU) tarafından yapılmaktadır. Yakıt-hava karışımı, motor hız ve gaz pedalı bilgisine göre elektronik olarak ayarlanmaktadır. Günümüzde İYM performansı, artık mekanik tasarımlarla değil

çoğunlukla elektronik kontrol birimlerinin geliştirilmesiyle arttırılmaktadır. Amaçlanan bir diğer yenilik, giriş ve çıkış supaplarının eksantrik mil ile değil, her supabın ayrı ayrı kontrolüne olanak veren elektromekanik hareket sisteminin kullanılmasıdır. Bu sayede supapların ayrı ayrı istenen zamanlarda ileri geri hareketleri sağlanacak, böylece, İYM performansının eksantrik mili tarafından sınırlanan özellikleri ortadan kalkacaktır. Günümüzdeki gelişmiş arabalarda kullanılan bir diğer özellik, vites değiştirme işleminin mekanik olarak değil elektriksel sinyal aracılığıyla yapılmasıdır (shift-by-wire). Bu düzenekte, vites konum bilgisi vites kolundan alınarak, şanzımana elektriksel olarak iletilmekte, vites değiştirme işlemi elektromekanik ya da elektro-hidrolik olarak yapılmaktadır [17].

Otomobil tahrik teknolojisinin geleceği ile ilgili olarak 2040 yılına yapılan öngörü çalışmaları Şekil 9. da gösterildiği gibi iki yönde ilerlemelerin devam edeceğine işaret etmektedir. Bunlardan ilki yakıt pili ile beslenen elektrikli araçlar, ikincisi ise doğrudan H yakan teknolojidir. Aynı çalışmada karma elektrikli araçların ise 2005-2025 aralığında kullanımda kalacağını göstermektedir.



Şekil 9. Otomobil teknolojisinin geleceği

Bir araçtaki Güç ve Aktarım Sistemi, mekanik enerjinin üretilip tekerleklere kadar iletiildiği organlara verilen isimdir. Güç üretim ve aktarım sistemlerine göre araçların basit bir sınıflandırılması aşağıdaki gibidir [18]:

- Klasik İçten Yanmalı Motor (Internal Combustion Engine, ICE) ile tahrik edilen araçlar
  - Motor türü
    - Benzin Motoru
    - Dizel Motoru
    - H motoru
  - Transmisyon türü

- Manuel Vites
- Otomatik Vites
- Tümü Elektrikli Araçlar
  - Akü Beslemeli
  - Yakıt Pili Beslemeli
    - Tekerlekleri Diferansiyel Üzerinden Tahrik Edilen
    - Tekerlekleri Doğrudan Tahrik Edilen (Elektronik Diferansiyelli)
- Karma Elektrikli Araçlar
  - Seri Karma
  - Paralel Karma
  - Seri-Paralel Karma
  - Karışık Karma

Klasik araçlarda mekanik enerji içten yanmalı motorlar tarafından üretilir, vites kutusu, transmisyon mili ve diferansiyel üzerinden tekerleklere taşınır. Hidrojen yanmalı motorlar ise henüz araştırma aşamasında olup benzer yapıdadır, ancak yakıt olarak hidrojen kullanılmaktadır. Buna karşılık Tümü Elektrikli Araçlarda (Electric Vehicle, EV) tekerlek tahrik gücü elektrik makineleri tarafından sağlanır. Karma Elektrikli Araçlarda (Hybrid Electric Vehicle, HEV) ise Seri Karma yapısı dışında bu güç, içten yanmalı motor ve elektrik motoru tarafından müştereken sağlanır. Yukarıdaki sınıflandırmadan görüldüğü üzere elektrikli araç teknolojisi başlıca iki küme içerisinde incelenebilir:

Birinci küme elektrikli araçlarda, herhangi bir içten yanmalı makina kullanmaksızın elektrik enerjisi ya aküler tarafından sağlanır ya da yakıt pilleri tarafından elektrikli araçta üretilir. Tekerleklerin tahriki yalnızca elektrik motorlarıyla yapılır. Bu küme, elektrikli araç (Electrical Vehicle, EV) olarak tanımlanır.

İkinci grup elektrikli araçta ise elektrik motorunun yanında, içten yanmalı bir makina da bulunur. Bazı tasarımlarda içten yanmalı motor, bir elektrik generatörünü tahrik eder ve elektrik enerjisi araçta üretilir, tekerlekleri elektrik makinası tahrik eder. Bazı tasarımlarda ise, elektrik motoru ve içten yanmalı motor, tekerlekleri ortaklaşa olarak tahrik eder. İki tahrik sistemini de beraber bulundurduğu için bu grup elektrikli araç Karma Elektrikli Araç (Hybrid Electrical Vehicle, HEV) olarak isimlendirilir. Bu grubun bir ileri aşaması şu anda Toyota Prius ve Honda Civic otolarında kullanılan Karışık Karma topolojisidir. Bu konular aşağıda ele alınacaktır.

Gerek EV gerekse HEV sistemlerinde, araç hızının ve ivmesinin ayarlanması gerekmektedir. Bu ise tahrik motorunun moment ve hızının kontrol edilmesiyle sağlanır. Böyle bir kontrol ancak motor

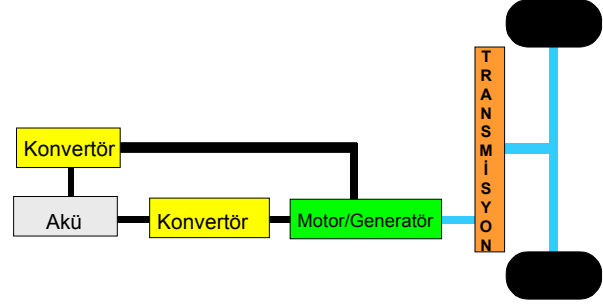
girişinde bir güç elektroniği devresinin kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir. Uygulamada, çok çeşitli motor ve güç elektroniği çeviricisi kullanılmaktadır.

Akülerin doldurulması özel teknikler ister ve bu amaçla da, gerek HEV ve gerekse EV türü araçlarda çeşitli güç elektroniği devreleri kullanılmaktadır. Bu konu da aşağıda ele alınacaktır.

Elektrikli tahrik sistemleri kullanan EV ve HEV lerde araç hızlanırken, düz yolda veya yokuş yukarı çıkarken elektrik makinası motor olarak çalışır ve mekanik enerji üretmek tekerlekleri çevirir, araç yavaşlarken veya yokuş aşağı giderken aynı makina generatör olarak çalışır ve bir yandan fren momenti üretirken aynı zamanda tekerleklerden aldığı mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirerek aküde depo eder. Böylece enerji geri kazanımlı yüksek verimli bir çalışma elde edilir. Bu durum yalnızca yakıt tasarrufu sağlamaz, aynı zamanda karma elektrikli araçların atmosfere saldırdığı atıkları da önemli ölçüde azaltır. Bilindiği gibi tüm elektrikli araçlar da zaten egzoz gazı sorunu bulunmamaktadır [19].

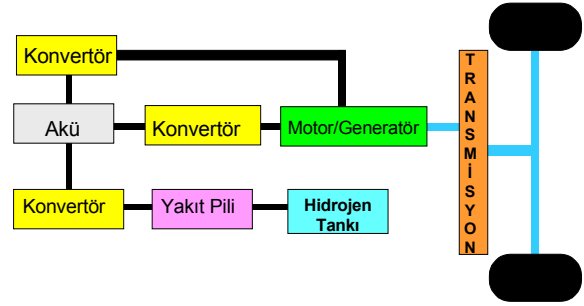
### **Tümü Elektrikli Araç**

Tümü elektrikli araçlar 20. yüzyılın başından beri bilinmekte, sessiz ve temiz sürüş gerektiren bir çok uygulamada da yerini almış görünmektedir. Bu uygulamaların başlıcaları kapalı ve büyük mekanlarda ulaşım sağlayan araçlar ve “forklift” lerdir. Sabaha karşı dağıtım yapan araçlar ve golf arabaları yine EV örnekleri arasındadır. Şekil 10 dan görüldüğü gibi elektrik enerjisi, akümülatörde depo edilmiştir. Aküden beslenen DA barası, bir güç elektroniği devresi üzerinden elektrik motorunun beslenmesini sağlamaktadır. Günümüzde başlıca iki elektrik makina türünün öne çıktığı görülmektedir. Bunlar Asenkron Makina ve Fırçasız Doğru Akım Makinalarıdır. Elektrik makinasının girişinde kullanılan güç elektroniği devresi yapı olarak bir çevirici niteliğinde olmakla birlikte, her iki motor için tamamiyle farklı çalışma durumları söz konusudur. Kontrolün türü de çeşitlenebilir. Asenkron motor için vektör kontrol ve doğrudan moment kontrolü yöntemleri daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Fırçasız doğru akım makinası için sensörsüz kontrolün yaygınlaşmaya başladığını ifade etmek yanlış olmayacaktır [20]. Yukarıda da belirtildiği gibi, hızlanma sırasında motor konumunda çalıştırılan elektrik makinası frenleme süresince generatör konumuna geçirilir ve elektrik enerjisi üretmesi sağlanır. Böylece bir taraftan araç yavaşlatılırken diğer taraftan üretilen elektrik enerjisi de aküde depolanır.



**Şekil 10. Tümü elektrikli araç şematik gösterimi**

Tümü Elektrikli Araç uygulamalarının en zayıf yanı akü teknolojileridir. Mevcut akü teknolojilerinin kısa bir karşılaştırılması ilerdeki metinde verilmiştir. Akülerin anlık enerji verme yeteneklerinin sınırlı oluşu, doldurulmalarının uzun zaman alması, ağırlık ve hacimlerinin küçültülememiş olması ve tüm sistem maliyetinin yüksekliği, bu gün tümü elektrikli araç teknolojisinin ticari bir başarı sağlayamamış olmasının başlıca nedenidir. Akü teknolojisine destek olarak, özellikle ani yüksek akımları verebilmek ve çok kısa zaman içinde yeniden dolabilme özellikleri bulunan süper kapasitörler geliştirilmiş bulunmaktadır. Birkaç deney aracına takılmış olmasına karşın, süper kapasitör ile aküye destek olan veya akünün tamamen yerini alan topolojiler, gerek performans yönünden gerekse maliyet açısından henüz istenen düzeye ulaşamamıştır. Üzerinde çalışılan ve ümit vadeden gelişmelerden birisi olarak görülmektedir.



**Şekil 11. Yakıt pilli tümü elektrikli araç**

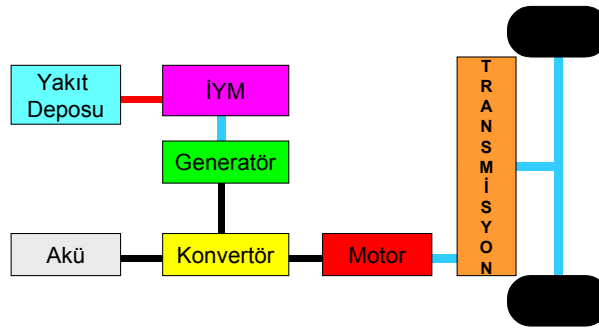
Tümü elektrikli araçlar için en büyük beklenti elektrik enerjisinin yakıt pilleri tarafından araç üzerinde üretilmesidir. Bilindiği gibi yakıt pillerinde, Hidrojen ve Oksijen elektrokimyasal reaksiyona girer ve bunun sonucunda bir yandan elektrik enerjisi üretilirken ısı enerjisi de meydana gelir. Meydana gelen sıcaklığın 70-80 C derece civarında olması nedeniyle PEM teknolojisi uygulamaya en uygun teknoloji olarak belirlemiştir. Kanada kökenli Ballard firması Daimler-Chrysler tarafından satın alınmış ve bu teknoloji, yakıt pili ile beslenen çeşitli ebatlardaki deney araçlarına uygulanmıştır. Bu gün için Avrupa, ABD ve Japonya'da yakıt pili ile çalışan birçok araç, deney

amaçlı olarak kullanıma alınmıştır. Henüz piyasada satılan bir ürün bulunmamaktadır. Yakıt pili teknolojisinin en zayıf yanı hidrojenin üretilmesi, depolanması ve taşınmasıdır. Bu sorunların çözümünün çok kısa bir süre içinde gerçekleşmeyeceği anlaşılmaktadır. Bu durum otomotiv firmalarının karma elektrikli araç teknolojisine daha çok yönelmelerine yol açmıştır [21]. Tablo 1. de yakıt pillerinin özellikleri verilmiştir

### Karma Elektrikli Araç

#### Seri-Karma Elektrikli Araç

Şekil 12. den görüldüğü gibi, seri karma yapısı, EV yapısına en yakın durumdur. Akü + DC/DC çevirici + evirici/doğrultucu ve elektrik makinası olarak tümüyle EV yapısı ile örtüşmektedir. Tek farklılık elektrik enerjisinin ICE tarafından döndürülen bir generatör tarafından araç üzerinde üretiliyor olmasıdır. Araç hızlanırken veya düz yolda giderken elektrik makinası motor olarak tekerlekleri çevirmekte, akü dolu ise enerjisini aküden almakta, eğer akü boş ise içten yanmalı motor çalışarak generatör üzerinden aküyü doldurmaktadır. Böylece, akünün dışarıdan doldurulma gereksinmesi ortadan kalkmaktadır. Aracın frenlenmesi tıpkı EV türünde olduğu gibi enerji geri kazanımlı frenleme yoluyla yapılmakta, böylece önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu yapının bir diğer avantajı içten yanmalı motorun sürekli olarak en verimli olduğu hızda çalıştırılmasıdır.



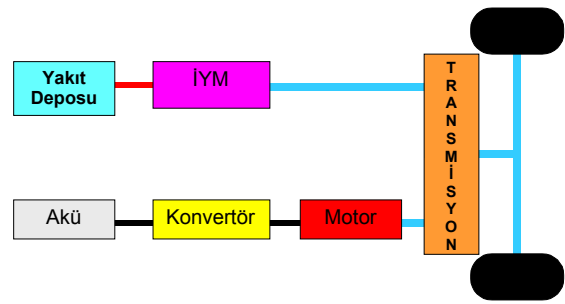
**Şekil 12. Seri-Karma Elektrikli aracın blok şema gösterimi**

Seri karma elektrikli araç uygulamasına Türkiye'den bir örnek de, TOFAŞ için TÜBİTAK MAM tarafından yapılan Doblo ELİT-1 projesidir.

#### Paralel-Karma Elektrikli Araç

Bu tür araçlarda elektrik motoru ve içten yanmalı motor bir debriyaj üzerinden diferansiyeli ortak olarak beslenirler. İstendiğinde yalnızca elektrik motoru, istenildiğinde yalnızca benzin veya dizel

motor çalıştırılıp mekanik enerji tekerlekleri çevirebilir. Şehir içinde sık sık dur kalk yapılan yerlerde yalnızca elektrik motoru kullanılarak gürültü ve egzoz yayını yok edilir. Hızlı sürüş yapılan kırsal alanlarda veya yokuş yukarı giderken ya da ani ivmelenme gereken durumlarda her iki motor birlikte aracı tahrik eder. Böylece birbirini yedekleyen ve destekleyen iki güç kaynağı elde edilmiş olur. Şekil 13. de paralel-karma elektrikli aracın tahrik sistemi blok şema halinde gösterilmiştir. Paralel-karma elektrikli araç, enerji geri kazanımlı frenleme özelliğine sahiptir. Buna rağmen olumsuz sürüş koşullarının devam etmesi halinde akünün dışarıdan şarj edilmesi gerekmektedir. Bu olumsuz özelliği gideren topoloji seri-paralel tahrik sistemidir.

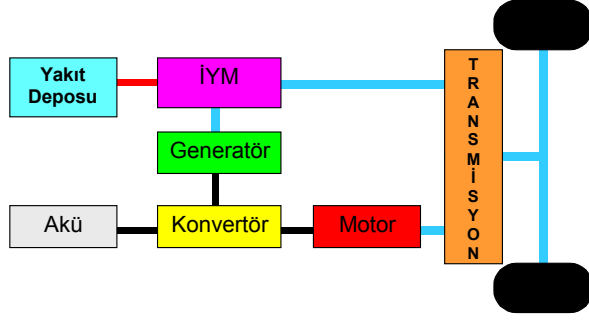


**Şekil 13. Paralel Karma Elektrikli aracın blok şema gösterimi**

#### Seri-Paralel Karma Elektrikli Araç

Bu tür araçlarda içten yanmalı benzin veya dizel motoru mekanik bir mil üzerinden hem diferansiyeli, hemde elektrik generatörünü tahrik etmektedir. Generatör tarafından üretilen elektrik enerjisi, aynen seri-karma sistemde olduğu gibi bir aküde depo edilmekte ve daha sonra bir çevirici (konvertör) üzerinden bir elektrik makinasını beslemektedir [22]. Bu makina, aynen paralel karma sistemde olduğu gibi, içten yanmalı motorla aynı mekanik mili paylaşmaktadır. Bu sistem hem seri hemde paralel tahrik sistemlerinin olumlu özelliklerini taşımaktadır. İçten yanmalı motor normal şartlarda en verimli noktada çalışarak, generatör üzerinden aküyü ve elektrik motorunu beslemekte, ilave bir moment gerektiği zaman ise mil üzerinden elektrik motoruna destek olmaktadır. Bu anlamda, akünün elektriksel olarak üstlendiği fazlalık gücü karşılama görevine mekanik olarak ortak olmaktadır. Enerji geri kazanımlı frenleme yapıldığında elektrik makinası motor konumundan generatör konumuna geçirilmekte ve sisteme depo edilen mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülüp aküde depo edilmektedir. Şekil 14. de seri-paralel karma elektrikli araçtaki tahrik sistemi blok şema halinde gösterilmiştir.





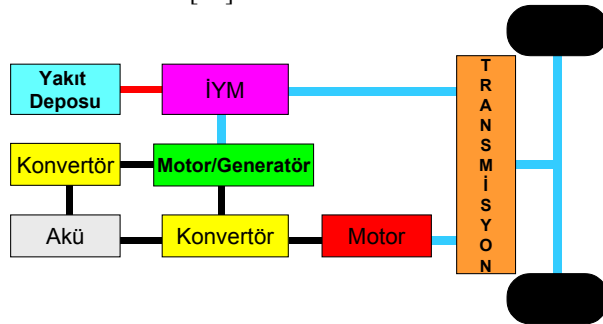
Şekil 14. Seri-paralel karma elektrikli araç

Araçta ani olarak hızlanmayı sağlayacak veya başka nedenlerle, ek bir enerji gereksinmesi olabilir. Özellikle askeri araçlarda bu gereklilik ortaya çıkar. Bu takdirde sisteme bir süper-kondansatör eklenmesi önerilmektedir. Birkaç deney aracında böyle bir süper kondansatör kullanılmıştır.

#### Karışık Karma Elektrikli Araç

Bu sisteme karışık karma denmesinin nedeni seri paralel sistemde kullanılan generatörün yerine gerektiğinde motor gerektiğinde generatör olarak çalışan bir elektrik makinasıyla değiştirilmiş olmasıdır. Şekil 15. de gösterilen bu sistem, seri paralel karma tahrikli sistemin tüm avantajlarını bünyesinde bulundurmaktadır. Yani büyük güç gerektiğinde elektrik motoru ve içten yanmalı motor birlikte tekerlekleri döndürmekte, sessiz ve temiz çalışma gerektiğinde yalnızca elektrik motoru ile sürüş sağlanmakta, akü devamlı olarak içten yanmalı motor desteği ile üretilen elektrik enerjisi ile doldurulabilmektedir. Bunlara ek olarak, iki sistem arasında bulunan elektrik makinası motor olarak çalıştırılıp içten yanmalı motor için marş görevi de görebilmektedir.

Bugün piyasada satılmakta olan karma elektrikli araçların başlıcaları olan Toyota Prius ve Honda Civic bu tür Karışık-Karma elektrikli araçlardır. Aşağıda bu otomobillerin çalışma felsefeleri ve çeşitli performans değerleri karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır [23].



Şekil 15. Karışık Seri-Paralel Karma Elektrikli araç



Şekil 16. Honda Insight kavramsal hybrid arabanın görünümü

#### Honda:

##### Insight:

Seri üretim sonucu piyasaya ilk çıkan HEV'dir (2000). Piyasadaki benzin tüketimi en az olan araçtır. (66 mpg, EPA otoban). 1.0 lt, 12V, 3 silindirli benzinli motora (50 kW 5000 rpm'de, 90 Nm 4800 rpm'de) ve 10 kW (3000rpm'de) PM elektrik makinasına sahiptir. EM desteği ile araç 5700 devirde 55 kW güç ve 1500 devirde 107 Nm moment üretebilmektedir. 144 V, 6.5 Ah kapasiteli aküleri kullanılmıştır. Manuel ve otomatik vitesli iki versiyonu piyasada. Manuel vitesli versiyonunun kontrol panelinde vites değişiminin ekonomik noktalarını bildiren bir uyarı koyulmuş olup fiyatı ABD'de 19.000 USD'dan başlamaktadır, 2005'te 2000 adet satılması hedeflenmektedir

##### Civic Hybrid:

1.3 lt, 8V, 4 silindirli benzinli motora (63 kW 5700 rpm'de, 118 Nm 118 rpm'de) ve 4000 rpm'de 10 kW'lık güçte PM elektrik makinasına sahip ve. 144V'luk, 6 Ah'lik aküleri bulunmaktadır. EM desteği ile 5500 rpm'de 70 kW güç, 1500 rpm'de 157 Nm moment üretebilmektedir. Aracın benzin tüketimi, EPA standardına göre, 45(şehir içi)/51(otoyol) mpg (1.6 Civic Sedan 32/38 mpg tüketiyor). Fiyatı 19.800 USD'den başlıyor. ABD'de 2005 yılında 30.000 adet satılması beklenmektedir.

##### Accord Hybrid Sedan:

Honda 2005'te piyasaya süreceği Accord Hybrid Sedan'dan 3. Nesil Hibrit olarak tanımlanmaktadır. Honda'nın sitesinde aracın 3.0 lt, V6 motora ve elektrik makinası desteği ile 255 Hp güce sahip olacağından bahsedilmiş, bundan fazla teknik açıklama yapılmamıştır. Honda 2005'te Accord Sedan'dan 20.000 adet satmayı beklemektedir..

## **Ford:**

### ***Escape Hybrid SUV<sup>1</sup>***

Ford, 2004 yılında yalnızca 3-4 bin adet piyasaya sürdüğü Escape Hybrid modelini 2005 yılında 20.000 adet satmayı planlamaktadır. 2,3 lt, I4 motor 6000 rpm'de 100 kW güç ve 4500 rpm'de 175 Nm moment üretiyor. 3000-5000 rpm'de 70 kW güç üreten 400V'luk PM AC senkron motor desteği ile araç 115 kW'lık sürüş gücüne ulaşmaktadır. Araç 4 tekerlek çekiş özelliğine sahiptir.

Escape Hybrid, 40 km/h hıza kadar yalnızca elektrik motoru ile çalışmakta, araç düşük hızlardayken ve araç durduğunda benzinli motor kapatılmaktadır. 40 km/h hızın üzerinde benzinli motor hareketi sağlamakta, bir yandan da aküleri şarj etmektedir. Ford, düşük dönüş hızlarında yüksek moment elde edebilen elektrik motoru ile yüksek dönüş hızlarında yüksek moment elde eden benzinli motorun birbirlerinin eksiklerini kapatabilecek şekilde birleştirdikleri öne sürülmektedir. Aracın, vb güç desteğine ihtiyacı olduğu durumlarda gereken ekstra güç elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır. Sonuçta, maksimum 100 kW gücündeki benzinli motor, elektrik motoru desteği birlikte 115 kW'lık bir sürüş gücü sağlamaktadır. Aracın 4x4 modelinin fiyatı 28.500 USD'dan başlıyor.

## **Lexus:**

### ***Lexus RX 400h Luxury SUV Hybrid***

Satışı Toyota tarafından yapılan Lexus RX 400h Luxury SUV Hybrid araç henüz daha piyasaya çıkmadan 9.000 adet satılmıştır. 2004 sonbaharında piyasaya sürülmesi hedeflenen aracın talepler nedeniyle çıkışı 2005 baharına ertelenmiştir. Talebin nedeni Lexus'un bu zamana kadar piyasaya sürülmüş en lüks ve hızlı hibrit araç olmasıdır.

Test verilerinde 0-100km'yi 8 saniyeden az bir zamanda gerçekleştiren, aynı zamanda oldukça konforlu bir SUV olarak tanımlanan araç, Amerika'da genelde araçtan beklenen performans ve kullanım özelliklerini hibrit teknolojiyle birleştiren ilk araç olduğu için daha piyasaya çıkmadan bu kadar satılmıştır.

Aracın 3.3 lt, V6 motoru ve buna destekte bulunan, *önde* ve *arkada* PM elektrik makinası bulunmakta. Toplam destek ile birlikte aracın gücü 200 kW seviyelerindedir. Araç ilk hareketine bu elektrik motorları ile başlamaktadır. Toyota Prius'ta da olduğu gibi, LX 400H'de de akülerin şarjı için ayrı bir *generatör* kullanılmıştır. Bu sayede araç *normal* halde seyrederken akülerin şarjına imkan tanınmıştır. Araç *hızlanmaya* başladığında, generatör de araç ile birlikte benzinli motor

tarafından desteklenmeye devam etmektedir. Generatörde üretilen güç, akülerden alınan güç ile birlikte ön ve arka tarafta bulunan, motor konumunda çalışan elektrik makinaları ile tekerleklerle iletilmektedir. *Frenleme* sırasında da ön ve arka tekerleklere bağlı makinalar generatör modunda çalışmaya başlayarak enerji geri kazanımlı frenleme sağlanmaktadır. Araç, yine Prius gibi elektronik kontrollü otomatik vitese sahiptir.

Lexus normal koşullarda iken sadece ön taraftaki motor devrededir, arkadaki motor ise *çekiş ihtiyacı*, *hızlanma* ya da *viraja girme* gibi durumlarda, gerektiğinde devreye otomatik girmektedir.

Aracın hibrit olmayan modelinin satış fiyatı 37.000 USD, hibrit modelin ise 50.000 USD düzeyinde kalması beklenmektedir.

**Not:** Lexus Hybrid ile ilgili detaylı teknik bilgiye ve hibrit sistemin nasıl çalıştığı ile ilgili animasyonlara

[www.lexus.com/models/hybrid/overview/hybrid\\_de\\_mo.html](http://www.lexus.com/models/hybrid/overview/hybrid_de_mo.html) adresinden ulaşılabilir.

## **8. AKÜ TEKNOLOJİSİ**

Elektrikli araç teknolojisinin geleceğinin büyük ölçüde akü teknolojisinin geleceğine bağlı olduğu görülmektedir. Elektrik enerjisinin depolanmasında bu güne kadar meydana gelen gelişmeler, elektrikli araçların tahrik gereksinmesini istenen biçimde karşılayacak şekilde oluşabilmiş değildir. Akü teknolojisinin elektrikli araçlara uygun olması için aşağıdaki ölçütlerin yüksek değerlerde olması gerekmektedir. Bunlar : enerji yoğunluğu (Wh/kg), güç yoğunluğu (W/kg), doldurulma güç yoğunluğu (W/kg), ömür veya toplam çevrim sayısı, birim maliyet (Wh enerji başına ilk yapım maliyeti (USD/Wh)). Enerji yoğunluğu kısaca depolanabilen enerjinin göstergesi olup, birim ağırlık için akülerin ne kadar süreyle enerji verebileceğini gösterir. Güç yoğunluğu ise akünün anlık enerji verebilme yeteneğinin bir göstergesidir. Akünün ömrü denildiğinde, dolma ve boşalma olarak tanımlanan bir tam devrimden en çok kaç defa tekrar edilebileceği anlaşılır. Akünün birim maliyeti depolanan enerjinin maliyeti demektir. Bunlara ek olarak, Wh/ hacim, sıcaklık ve titreşim gibi ortam koşullarına dayanıklılık, güvenilirlik ve patlama ve yanma risk ve mukavemeti gibi büyüklükler de akü teknolojilerinin karşılaştırılmasında göz önüne alınan parametreler arasındadır. Tablo 2. de "Derin Döngü" durumunda elektrikli araçlarda kullanılan akülerin genel bir karşılaştırılması yapılmıştır. Tablo 3. de ise akülerin genel özellikleri verilmiştir.

<sup>1</sup>SUV (Sport Utility Vehicle) – Genelde 4x4 özelliğe sahip, yerden yüksek, arazide de hareket edebilecek şekilde tasarlanmış araçlar.

## 9. SONUÇLAR VE İLERİYE BAKIŞ

Otomobillerde ilk elektronik elemanların kullanılması 1950'ler civarındadır. Bu elemanlar, araba radyosu transistörleri ve alternatörde kullanılan güç diyotlarıdır. 1980'lere kadar İYM kontrol ünitesi ve fren kontrolü dışında elektronik sistemlere fazla eğilim olmamış, otomotiv endüstrisi, elektronik kullanımı konusunda oldukça muhafazakar davranmıştır. Günümüzde ise, ile, otomobillerdeki gelişmenin, elektronik sistemlerin gelişmesi ve yaygınlaşması sonucu ortaya çıkacağı yaygın bir görüş birliği haline gelmiştir [24]. Elektronik sistemlerin kullanımındaki artış, daha fazla güvenlik, daha fazla konfor, sürücü bilgilendirilmesine olan artan eğilim, sürüş yardımı, farklı enerji sistemlerinin kullanılması gibi temel gereksinimlerden kaynaklanmaktadır [25, 26]. Geleceğin otomobillerinde hibrit ve hidrojen yakıt teknolojisinin egemen olacağı tahmin edilmektedir. Yakın geçmişte, araştırma konusu olan hibrit

araçlar artık galerilerde alıcı beklemektedir. Şekil 17 de piyasadaki hibrit araçların yıllara göre gelişimi gösterilmiştir. Bu alanlarda da, esas görev otomotiv elektroniği teknolojisine düşmektedir. Sonuç olarak, otomotiv elektroniği genel tüketici elektroniğinden daha yüksek ve farklı gereksinimlere yanıt vermek zorundadır. Bu sayede, teknolojik açıdan genel tüketici elektroniğine yetişmesi ve bazı alanlarda geçmesi beklenmektedir. Bunun en önemli göstergesi ise, otomotiv elektroniğinin kendine özel bir pazara sahip olması ve bu pazarın gün geçtikçe büyümesidir. Otomobil üreticilerin ve destekleyici endüstrilerin görüş birliğine vardığı bir başka konu da, hiçbir firmanın, otomotiv elektroniğindeki bu gelişmeleri tek başına üstlenemeyeceğidir. Bu amaçla çeşitli konsorsiyumlar, ortaklıklar ve paylaşım ortamları oluşturulmaktadır (örneğin AUTOSAR) [27].

**Tablo 1. Yakıt hücrelerinin tipik özellikleri**

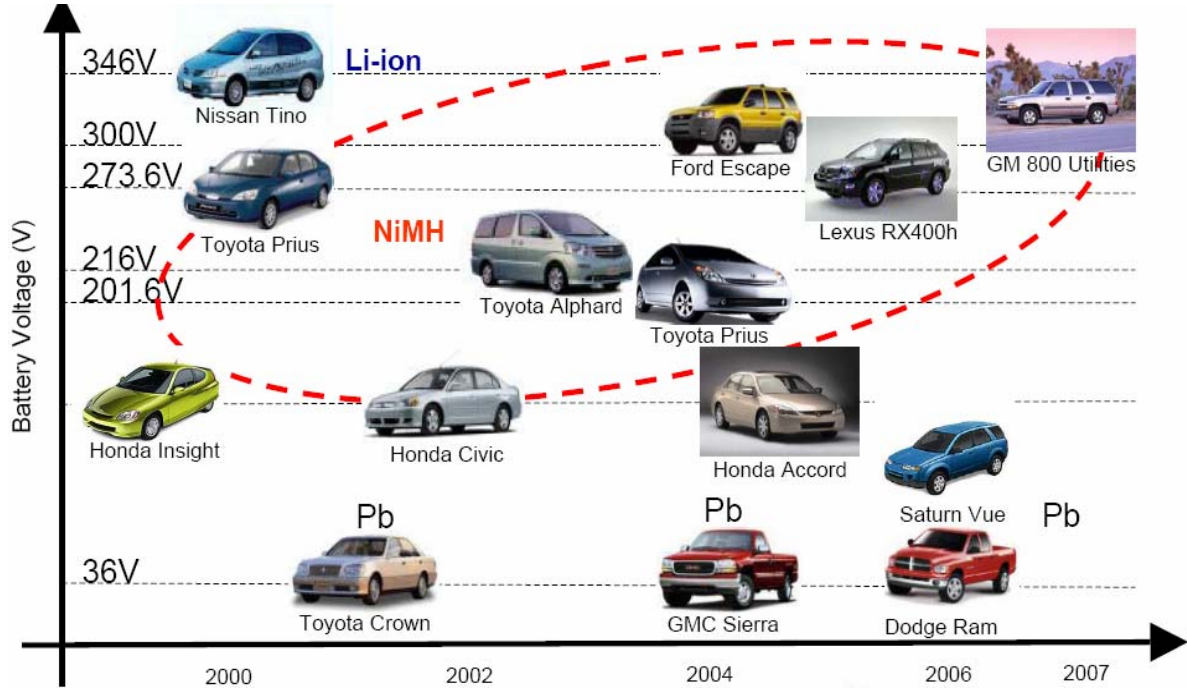
	PAFC	AFC	MCFC	SOFC	SPFC	DMFC
Çalışma sıcaklığı (°C)	150-210	60-100	600-700	900-1000	50-100	50-100
Güç yoğunluğu (W/cm <sup>2</sup> )	0.2-0.25	0.2-0.3	0.1-0.2	0.24-0.3	0.35-0.6	0.04-0.23
Öngörülen ömür (kilo saat)	40	10	40	40	40	10
Öngörülen maliyet (US\$/kW)	1000	200	1000	1500	200	200
PAFC : fosforik asit yakıt hücresi AFC : alkalın yakıt hücresi MCFC : molten karbonat yakıt hücresi SOFC : katı oksit yakıt hücresi SPFC : katı polimer yakıt hücresi, diğer adıyla proton değişimi zarı yakıt hücresi DMFC : direk metanol yakıt hücresi						

**Tablo 2. "Derin Devir" durumunda EV pillerinin karşılaştırılması**

Derin Döngü Uygulamasında Yüksek Enerji Tasarımı		Kurşun Asit	Nikel Metal Hibrid	Lityum İyon
Enerji yoğunluğu	(Wh/kg)	35	55	>80
Güç yoğunluğu	(Wh/kg)	150	230	1000
Doldurabilme yeteneği	(Wh/kg)	50	200	600
Ömür (Çevrim sayısı)	%80 salınımda	125	3000	2500
	%5 salınımda	50000	300000	140000
Maliyet derecesi	USD/kWh	150	450	500
(Kaynak:C. Rosenkranz, "Deep cycle batteries for plug-in hybrid application", EPRI hybrid electric vehicle working group, 15 Kasım 2003 )				

**Tablo 3. Akülerin genel özellikleri**

Akülerin Özellikleri					
Birbirlerine karşı avantajları	Kurşun Asit	Nikel Kadmiyum (NiCd)	Nikel Metal Hibrid (NiMH)	Lityum-İyon	
				Geleneksel	Polimer
Kurşun Asit		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gravimetrik enerji yoğunluğu</li> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu</li> <li>▪ çalışma sıcaklığı aralığı</li> <li>▪ kendiliğinden deşarj olma oranı</li> <li>▪ güvenilirliği</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gravimetric enerji yoğunluğu</li> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu</li> <li>▪ kendiliğinden deşarj olma oranı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gravimetric enerji yoğunluğu</li> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu</li> <li>▪ kendiliğinden deşarj olma oranı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gravimetric enerji yoğunluğu</li> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu</li> <li>▪ kendiliğinden deşarj olma oranı</li> <li>▪ tasarım özellikleri</li> </ul>
Nikel Kadmiyum (NiCd)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ yüksek döngü sayısı</li> <li>▪ voltaj çıkışı</li> <li>▪ fiyat</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gravimetric enerji yoğunluğu</li> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gravimetric enerji yoğunluğu</li> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu</li> <li>▪ kendiliğinden deşarj olma oranı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gravimetric enerji yoğunluğu</li> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu</li> <li>▪ kendiliğinden deşarj olma oranı</li> <li>▪ tasarım özellikleri</li> </ul>
Nikel Metal Hibrid (NiMH)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ yüksek döngü sayısı</li> <li>▪ voltaj çıkışı</li> <li>▪ fiyat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ çalışma sıcaklığı aralığı</li> <li>▪ yüksek döngü miktarı</li> <li>▪ kendiliğinden deşarj olma oranı</li> <li>▪ fiyat</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gravimetric enerji yoğunluğu</li> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu</li> <li>▪ çalışma sıcaklığı aralığı</li> <li>▪ yüksek döngü miktarı</li> <li>▪ voltaj çıkışı</li> <li>▪ kendiliğinden deşarj olma oranı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gravimetric enerji yoğunluğu</li> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu</li> <li>▪ çalışma sıcaklığı aralığı</li> <li>▪ kendiliğinden deşarj olma oranı</li> <li>▪ tasarım özellikleri</li> </ul>
Lityum-İyon	>Geleneksel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ yüksek döngü sayısı</li> <li>▪ fiyat</li> <li>▪ güvenlik</li> <li>▪ geri dönüşebilme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Çalışma sıcaklığı aralığı</li> <li>▪ Yüksek döngü miktarı</li> <li>▪ Fiyat</li> <li>▪ Güvenlik</li> <li>▪ geridönüşebilme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ fiyat</li> <li>▪ güvenlik</li> <li>▪ deşarj oranı</li> <li>▪ genidönüşebilme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gravimetric enerji yoğunluğu</li> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu (potansiyel)</li> <li>▪ tasarım özellikleri</li> <li>▪ güvenlik</li> <li>▪ fiyat</li> </ul>
	>Polimer	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ yüksek döngü sayısı</li> <li>▪ fiyat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Çalışma sıcaklığı aralığı</li> <li>▪ Yüksek döngü miktarı</li> <li>▪ fiyat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu</li> </ul>	
Mutlak avantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ yüksek döngü sayısı</li> <li>▪ fiyat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Çalışma sıcaklığı aralığı</li> <li>▪ fiyat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gravimetric enerji yoğunluğu</li> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu</li> <li>▪ kendiliğinden deşarj olma oranı</li> <li>▪ voltaj çıkışı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gravimetric enerji yoğunluğu</li> <li>▪ hacimsel enerji yoğunluğu</li> <li>▪ kendiliğinden deşarj olma oranı</li> <li>▪ voltaj çıkışı</li> <li>▪ tasarım özellikleri</li> </ul>

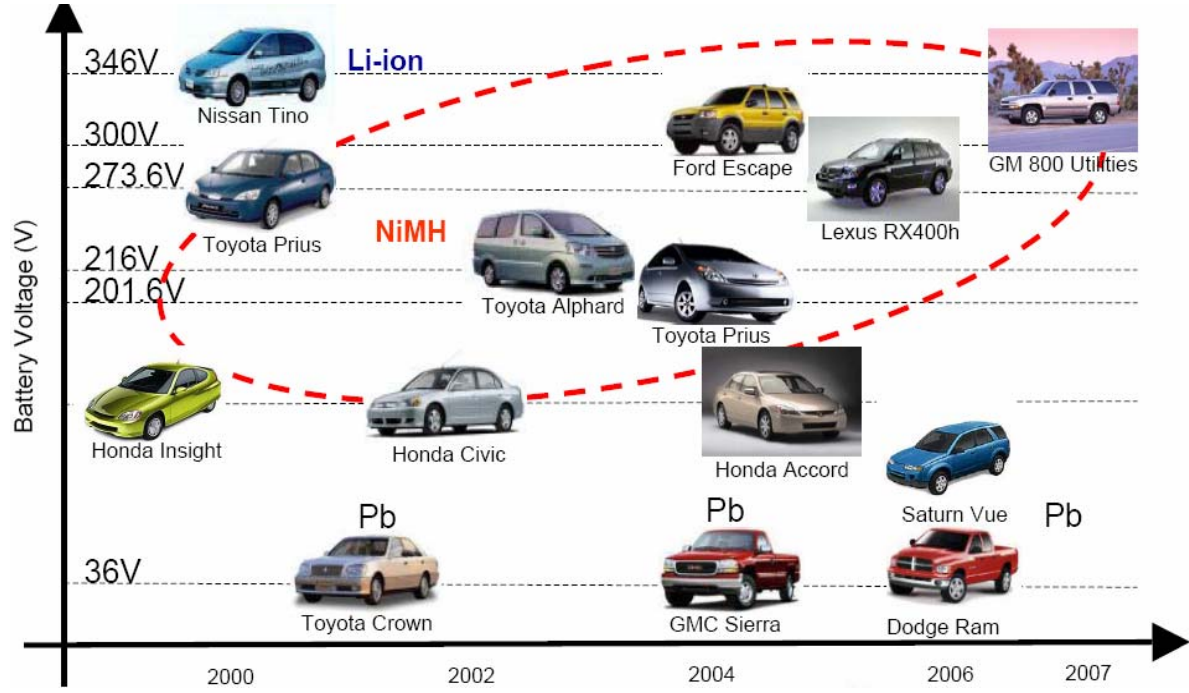


Şekil 17. Piyasadaki ve gelecekte piyasada olacak binek tipi hibrit araçlar

## KAYNAKLAR

- [1] Kallenbach, R., Reiner, E., "Automotive Electronics – What Makes it So Special?" *SAE Convergence 2004 Conference*, Detroit, MI, USA, 2004.
- [2] Schöner H. P., "Automotive Mechatronics", *IFAC Mechatronics Systems Conference*, Berkeley, California, USA, 2002.
- [3] Kassakian, J.G., Miller, J.M., "Automotive electronics power-up", *IEEE Spectrum*, No 5, Volume 37, May 2000.
- [4] Kassakian, J.G., Wolf, H.C., Miller, J.M., Hurton, C.J. "Automotive Electrical systems Circa 2005", *IEEE Spectrum*, August 1996
- [5] Murphy, T. "It's All About Trust", *Ward's AutoWorld*, October 2004.
- [6] Ameling, C., Kirchner, A., "The Electronic copilot for an autonomous vehicle state of Development". *IEEE Intelligent Vehicle Conference*, Dearborn, MI, USA, 2000.
- [7] Vlacic L., Parent M., Harashima F., "Intelligent Vehicle Technologies". *SAE International*, 2001.
- [8] Tybursky, R., "A Review of Road Sensor Technology", *ITE Journal*, 59(8), 27, 1989.
- [9] Emadi, A., Ehsani, M., Miller, J.M., "Vehicular Electric Power Systems – Land, Sea, Air and Space Vehicles", Marcel Dekker, 2004.
- [10] "42 Volts-Enabling a Technological Revolution", *Auto Briefing*, Knibbs Gormezano & Partners, Special Edition, May 2001.
- [11] Keim, T.A., "42 Volts- A View from Today", *SAE Convergence 2004 Conference*, Detroit, MI, USA, 2004.
- [12] Juchem, R., Knorr, B., "Complete Automotive Electrical System Design". *2003 Vehicular Technology Conference*, Orlando, FL, USA, 2003.
- [13] Robert Bosch GmbH, "Bosch CAN Specification Version 2.0.", Stuttgart, 2001.
- [14] Lawrenz, W. "CAN System Engineering – From Theory to Practical Applications", Springer, 1997.
- [15] Fuehrer, T., Hugel, R., Hartwich, F., Weiler, H., "FlexRay – The Communication System for Future Control Systems in Vehicles", *SAE Paper 2003-01-0110*, Detroit, 2003.
- [16] Horimatsu, T., "Trends of Inter-Vehicle Communication and Automotive Radar Systems", *MWE'99 Microwave Workshop Digest*, 1999.
- [17] Ayoubi, M., Demmeler T., Leffler, H., Köhn P. "X-by-Wire Functionality, Performance and Infrastructure", *SAE Convergence 2004 Conference*, Detroit, MI, USA, 2004.
- [18] Tuncay R.N, Tırıs, M., Akgün F., ve diğ., "İleri Enerji Teknolojileri", Teknik Rapor, TÜBİTAK, 2002.
- [19] Chan C.C., Wong Y.S., "Electric Vehicles Change Forward", *IEEE Power and Energy Magazine*, Vol.2, No: 6, p.24-33, 2004
- [20] Rahman, Z., "Evaluating Radial, Axial and Transverse Flux Topologies for In Wheel Motors". *IEEE Workshop on Power Electronics in Transportation, WPET 2004*, Novi, MI, USA, 2004.

- [21] Truckenbrodt, A., "Fuel Cell Vehicles for Future Car Concepts", *SAE Convergence 2004 Conference*, Detroit, MI, USA, 2004.
- [22] Chan, C.C., Chau, K.T., "An Overview of Power Electronics in Electric Vehicles", *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, vol.44, no.1.Feb. 1997.
- [23] "Top 10 Techno-Cool Cars", *IEEE Spectrum*, February 2003.
- [24] Ehsani, M., Shidore, N., Gao, Y., "On Board Power Management", *IEEE Workshop on Power Electronics in Transportation, WPET 2004*, Novi, MI, USA, 2004.
- [25] Valvano, J.W., "Embedded Microcomputer Systems", Brooks/Cole 2000.
- [26] Shladover, S.E., "Advanced Vehicle Control and Safety Systems", *IATSS Research*, 21, No.2, 1997.
- [27] Heinecke, H., Bortolazzi, Schnelle, K.P., Mate, J.L., Fennel, H., Scharnhorst, T., "AUTOSAR – An Industry Wide Initiative to Manage the Complexity of Emerging Automotive E/E architectures". *VDI Conference*, Baden-Baden, 2003.



Şekil A1. Piyasadaki ve gelecekte piyasada olacak binek tipi hibrit araçlar