

HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA YAKIT EKONOMİSİNİN ADVISOR İLE ANALİZİ

Ayşe ERGÜN AMAÇ¹

Cihan ŞAHİN²

^{1,2}Elektrik Eğitimi Bölümü

Teknik Eğitim Fakültesi

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi, 41380 İzmit.

¹e-posta: ayseergun@kocaeli.edu.tr cihansahin1980@yahoo.com

Anahtar sözcükler: Hibrit Elektrikli Araçlar, Elektrikli Araçlar, Yakıt Hücreli Araçlar, ADVISOR.

ÖZET

Son yıllarda insanoğlunun gelişen teknolojiyi üst düzeyde kullanma isteği gittikçe artmaktadır. Bu felsefeyle gelişen teknoloji, büyük bir enerji ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır. Özellikle ulaşım sektöründe araç sayısının hızla artması kısıtlı petrol rezervlerinin tüketimini de hızlandırmaktadır. Bunun yanı sıra kullanılan araçların doğayı kirletmeleri, önümüzdeki nesillerin geleceğini tehdit eden önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. Yaşanan bu sorunlar insanoğlunu sürekli olarak farklı enerji kaynakları aramaya itmiştir. Alternatif enerji kaynaklarının kullanıldığı hibrit araçlar da bu çalışmalar arasında baş sıralarda yerini almıştır. Bu makalede geleneksel, yakıt hücreli, elektrikli ve hibrit elektrikli araçların yapılarına değinilmiştir. Ayrıca Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilen ADVISOR (ADvanced Vehicle SimulatOR) programı ile benzetimi yapılan seri melez elektrikli araca dair örnek bir uygulama verilmiştir.

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze tarihsel olarak incelediğimizde; ülkeler arasındaki savaşlar önceleri silahlarla aktif olarak yapılırken, günümüzde farklı şekilde kendini göstermektedir. Çağımızda güçlü bir enerji alt yapısına sahip olmak en büyük silaha sahip olma ile eşdeğerdir. Enerji ihtiyacını başka ülkelere karşılayan ülkeler uluslararası arenada kendini tam olarak savunamamakta ve pasif konuma itilmektedir. Doğalgaz, su ve petrol en önemli enerji kaynakları arasındadır. Yaşadığımız topraklara coğrafi açıdan baktığımızda su bizim en önemli enerji kaynağımızdır. Ancak küresel ısınmadan dolayı dünyanın dengesinin bozulduğu ve önümüzdeki yüzyıllarda önem alınmazsa dünyanın kuraklıkla yüz yüze geleceği bir gerçektir [1]. Sıkıntılardan en önemlisi ise petrolün sonsuz enerji kaynağı olmadığı ve yakın bir gelecekte tükeneceğidir [2]. Bu noktada petrolün dünyada azalması bu kaynakları elinde bulunduran ülkeleri belirli bir üstünlük sağlayacaktır. Ancak alternatif enerji kaynaklarının bulunması, dünya üzerinde varlığını sürdürme iddiasında olan her ülkenin birincil hedefidir. Bu nedenle son yıllarda yapılan bilimsel

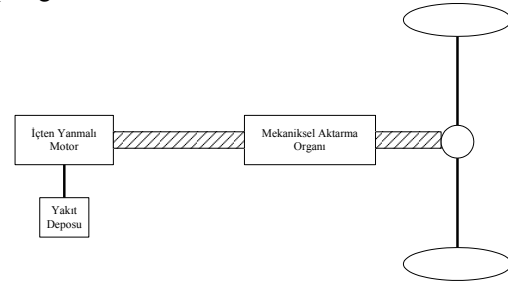
çalışmalar alternatif enerji kaynakları ve bu enerjilerin kullanılabilmesi alanları bulma yönünde devam etmektedir.

Petrolün azalması tüm diğer teknolojileri etkilediği gibi ulaşım sektöründe de büyük sıkıntılara neden olacaktır. Çıkış noktamız bu olduğuna göre; petrol kullanımının en az ya hiç olmadığı araçlar üzerinde yapılan çalışmalar bilim dünyasında çok önem kazanmıştır. Oluşan bu ortamda hiç kuşkusuz ki hibrit elektrikli araçlar yaşanan sıkıntıları giderecek yapılardır. Hibrit elektrikli araçlar kullanıcıya alternatif enerji türlerini bir arada kullanabilme olanağı sağlaması nedeniyle önemli bir yere sahiptir.

Bu makalede, geleneksel, elektrikli, yakıt hücreli ve hibrit elektrikli araçların çalışması anlatılmış ve örnek olarak ADVISOR programında seri melez elektrikli otobüsün benzetimleri yapılmıştır.

2. GELENEKSEL, ELEKTRİKLİ ve MELEZ ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Şekil 1 de tahrik kuvvetini yalnızca içten yanmalı motordan (ICE) alan geleneksel arabaların temel yapısı görülmektedir.

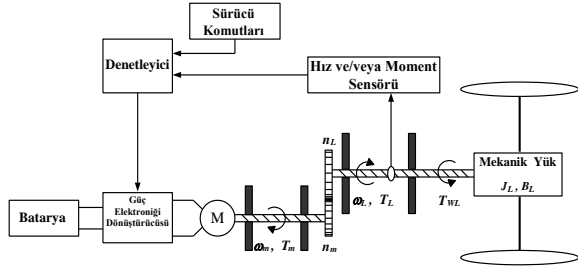


Şekil 1. Geleneksel bir araba modeli.

Petrol tabanlı yakıtlarla çalışan geleneksel bir araçta yer alan birimler; içten yanmalı motor, yakıt tankı ve vites kutusu (iletim mekanizması) dur.

Çevresel zorunluluklar nedeniyle sıfır zararlı gaz salımlı elektrikli araçlar, gelecek neslin ulaşım sektöründe kullanılacak tek adaydır [3]. Elektrikli araçların gereksinim duyduğu güç katının oluşturduğu

zararlı gaz salımları dikkate alınsa bile; geleneksel araçlarla karşılaştırıldığında elektrikli araçlar çevreyi en az kirleten araçlar olma özelliğini korumaktadır. Ancak elektrikli araçların başarısı güvenliklerine, güvenilirliklerine, performanslarına, sürdürülebilirliklerine ve hizmet ağının oluşturulabilirliğine bağlıdır. Tüm bunların ötesinde elektrikli araçların maliyeti ve yaygınlaşmaması bu noktada ticari başarısını sınırlar.



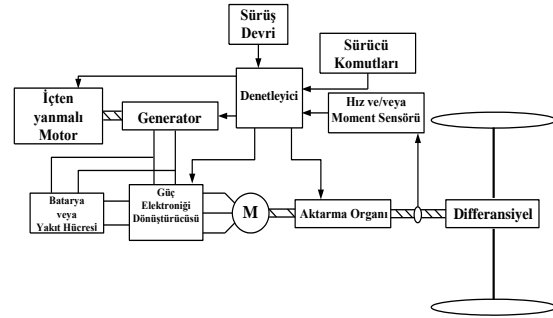
Şekil 2. Elektrikli bir araba modeli.

Elektrikli bir araç temelde bir batarya, bir elektronik dönüştürücü, bir elektrik motoru ve bir hız ve/veya moment algılayıcısını içerir. Şekil 2’de görüldüğü üzere elektrikli bir araçta tahrik kuvveti; geleneksel araçlarda olduğu gibi içten yanmalı motordan değil bir elektrik motorundan alınmaktadır. Bu nedenle elektrikli araç sıfır zararlı gaz salımlı araç olarak düşünülmektedir.

Geleneksel araçlarda; motorun kendisi tek başına büyük ve ağır olduğu için, arabaya birden fazla içten yanmalı motor yerleştirilemez. Bundan dolayı; tahrik sistemlerinin yapılandırmasında devrimsel bir buluş olmadığı sürece, geleneksel araçlardan yüksek verim almak çok zordur. Öte yandan elektrikli araçlar için değişik türde tahrik sistemleri mevcuttur. Motorun boyutu ve motor sayıları aracın tipine ve kullanım amacına bağlı olarak ayarlanabilmektedir. (geleneksel tip, vites kutusuz tip, diferansiyelsiz tip, tekerlek içi tip vb.)

Melez elektrikli araç teknolojisi; çok yüksek yakıt ekonomisi ve çok düşük zararlı gaz salımı sağlamada en pratik çözüm olmayı vaat etmektedir. Melez araç; geleneksel aracın içten yanmalı motoru ile elektrikli aracın elektrik motoru ve bataryasının bir birleşimidir. Böylece tahrik gücü birden fazla kaynaktan tedarik edilmektedir. İki güç kaynağına sahip olmanın esas avantajı; tüm sistemin, yüksek yakıt ekonomisi, düşük zararlı gaz salımlı ve daha yüksek verimli olmasıdır. Melez elektrikli sistemler seri ve paralel melez sistemler olmak üzere iki ana kategoride sınıflandırılabilir.

Seri melez sistem diğer tipte melez elektrikli araçlarla kıyaslandığında daha basit yapıya sahiptir. Şekil 3’te tipik seri melez elektrikli araç yapısı görülmektedir.



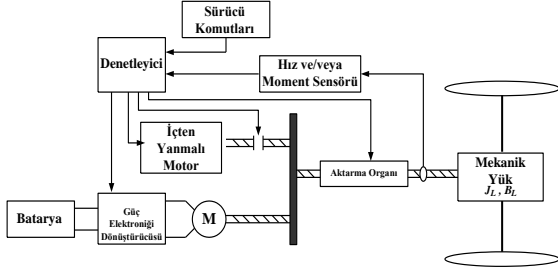
Şekil 3. Seri bir MEA modeli.

Seri yapılandırmadan görüldüğü üzere tahrik kuvveti sadece elektrik motorundan sağlanmaktadır. İçten yanmalı motor bir generatöre bağlıdır ve içten yanmalı motorun mekanik çıkışı generatör sayesinde elektrige dönüştürülür. Generatör tahrik motoru için elektrik üretirken aynı zamanda bataryanın şarj olması için gerekli elektrik enerjisini de sağlar. Yük momenti tamamıyla tahrik motoru üzerine bindiği için, içten yanmalı motor tüm zamanlarda yük momentinden bağımsız ve optimal verimle çalışabilir. Bu nedenle seri melez araçlarda enerji yönetim stratejisi de basittir. Burada esas olan, içten yanmalı motorun optimum bölgede çalışması için, nasıl ve nereye odaklanması gerektiğidir.

Seri melez araçlarda elektrik sistemi daha yüksek kapasitede ve daha güçlü olmalıdır. Çünkü elektrik motoru tahrik gücünü tek başına karşılamaktadır. Batarya daha büyük olmalı ve daha yüksek gerilimlerde çalışabilmelidir. Bunun yanı sıra yüksek güçlü elektrik makinesi ile birleşik olan bataryanın hızlı şarj/deşarjından sakınılmalıdır. Seri melez sistem uygulanmalarında, büyük otobüsler küçük ticari araçlardan daha uygundur. Çünkü otobüsler genellikle hemen hemen tüm zamanlarda düşük hızlarda çalışır. Üstelik bataryaları koymak için büyük boşlukları mevcuttur.

Paralel melez sistemlerde hem içten yanmalı motor ve hem de elektrik motoru mekanik olarak vites kutusuna bağlanmıştır. Bu da; her iki motorun, tahrik için, ayrı ayrı ya da aynı anda moment sağladığı anlamına gelmektedir. Ayrıca içten yanmalı motor ve elektrik motoru karşılıklı birbirine bağlıdır. Paralel melez aracın kontrol stratejilerine göre farklı bağlantı şekilleri mümkündür.

Paralel melez araçlarda motorun boyutu, seri melez araçlarda kullanılan motorlardan genellikle daha küçüktür. Paralel melez elektrikli araçlar, tasarım olarak elektrik-destekli geleneksel araçlara yakındır. Paralel melez elektrikli araçlarda melezleştirme faktörü kavramından söz edilmelidir. Melezleştirme Faktörü (MF); aracın tahriği için gerekli toplam gücün ne kadarının elektrik motorundan geldiğini gösterir. Paralel melez araç yapısı Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Paralel bir MEA modeli.

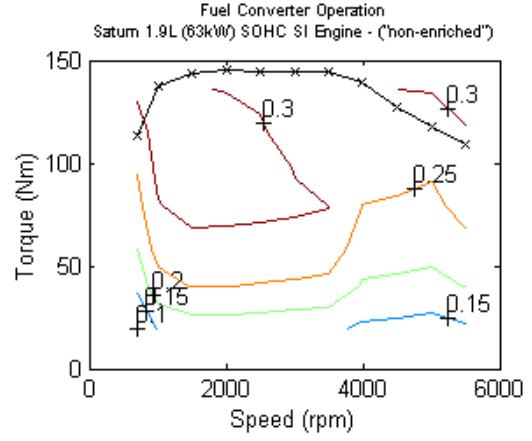
Seri melez elektrikli araçlarda, çekişte maksimum gücü elde etmek için büyük bir batarya ve yüksek güçlü motora ihtiyaç duyulurken, paralel melez elektrikli araçlarda batarya ve motor daha küçük güçlü olabilir. Ancak paralel melez aracın kontrolü, mekanik yapısından dolayı seri melez aracınki kadar kolay değildir. Paralel melez elektrikli araçların avantajları, bataryaların şarj şekilleri, regeneratif frenleme ve içten yanmalı motordan elde edilen artı güçtür.

3. MELEZ ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN MODELLENMESİ

Şekil 5'te paralel MEA'nın ADVISOR modelinin temelini oluşturan Simulink blok diyagramı gösterilmiştir. Blok diyagramın her bir bloğu, belirli bir alt sistemin parametrelerini tanımlayan, kendi içerisinde yardımlaşan bir Matlab (m-dosyası) dosyasına sahiptir. Kullanıcı ihtiyacına göre; blokla yardımlaşan m-dosyalarının yanı sıra bloğun içerisindeki modeli de değiştirme olanağına sahiptir. Örneğin, kullanıcı elektrik motor bloğu için daha kesin bir modele ihtiyaç duyabilir. Girişler ve çıkışlar aynı olduğu sürece, var olan bir model farklı bir modelle yer değiştirebilir. Ya da, kullanıcı modele dokunmaz ve yalnızca blok diyagramla ortaklaşa çalışan m-dosyasını değiştirebilir. Bu değiştirme işlemi ADVISOR GUI aracılığıyla sürekli olarak yapılabilir.

Aynı zamanda ADVISOR modelleri; belirli bir alt sistemi benzetişim yapmak üzere, bileşen testlerinden elde edilen deneysel verilerin kullanımına elverişlidir. Genellikle, her bileşenin çalışmasını belirleyen; verim ve sınırlayıcı performanstır. Örneğin içten yanmalı motor (İYM), deneylerden elde edilen verim haritası kullanılarak modellenmiştir. Saturn 1.9L(63kW) SOHC SI Engine ('zenginleştirilmemiş') motorunun motorunun verim haritası Şekil 5'te gösterilmiştir.

Bu haritada aynı zamanda maksimum moment eğrisi de gösterilmektedir. Motorun maksimum moment sınırının ötesinde çalışmayacağı açıktır. O halde maksimum moment değişimi, motor alt sisteminin diğer sınırlayıcısıdır. Başka bir deyişle model; benzetişimdeki bileşenlerin ataletini de hesaba katar.



Şekil 5: Saturn 1.9L(63kW) SOHC SI Engine ('zenginleştirilmemiş') motorunun verim haritası.

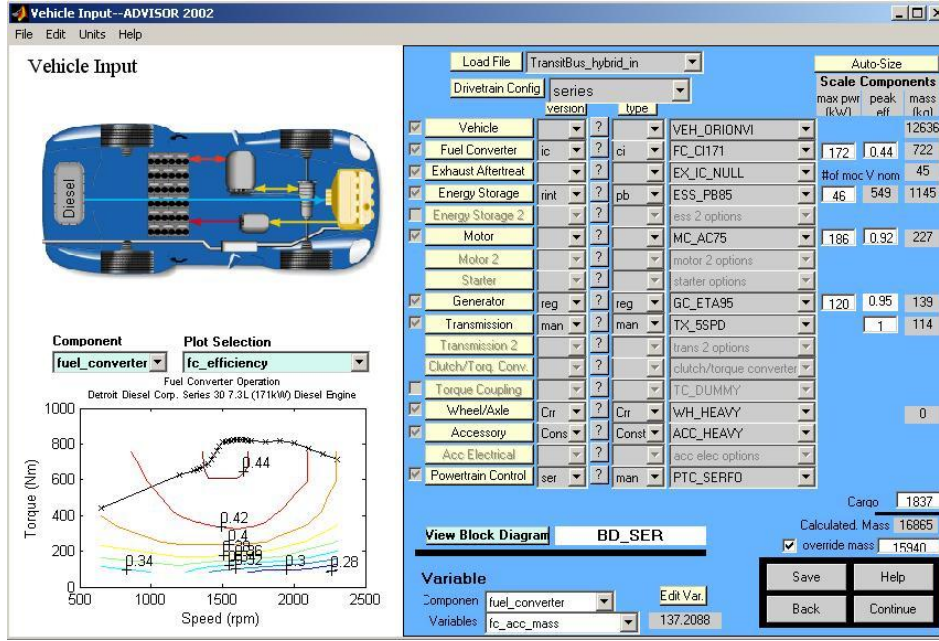
ADVISOR yazılımının fonksiyonelliği, Simplorer ve Saber gibi diğer yazılım paketlerine olanak tanıyan linklerle geliştirilmiştir. Bu güçlü yazılım paketleri aracın elektrik sisteminin daha detaylı olarak incelenmesini sağlar. Özellikle Saber daha güçlü elektrikli araçların (GEA) incelenmesinde etkindir.

4. BENZETİŞİM SONUÇLARI

ADVISOR yazılımında benzetişim yapmak üzere seri melez elektrikli araç olarak; Amerika Birleşik Devletlerinde toplu taşımacılıkta kullanılan Orion VI adıyla bilinen alçak tabanlı bir otobüs seçilmiştir. Aracın motoru MCAC75 adlı dizel modeldir. Toplu taşımada kullanılan bu otobüslerin tüm benzetişimleri bu model için yapılmıştır. Araç ve motor parametreleri seçildikten sonra benzetişim yapabilmek için gerekli diğer parametreler ayarlanmıştır. Vites, 5-zamanlı düz vites olarak seçilmiş olup; tekerlek/dingil düzeneği ağır araçlar için tasarlanan model olarak belirlenmiştir. Çünkü burada kullandığımız otobüs ağır araç sınıfına girmektedir. CI motor ve standart ağır-arac aksesuar yükleri için, ADVISOR yazılım paketinde aktif olarak bulunan ağır-arac aktarma organı denetim mekanizması, standart katalizörle birlikte kullanılmıştır. Tüm benzetişimlerde bu standartlar kullanılmıştır. Sürüş güzergahı yine ADVISOR yazılım paketinde aktif olarak yer alan standart ŞİG (Şehir İçi Güzergahı) olarak seçilmiştir. Benzetişim, bu sürüş güzergahı tamamlanana ve maksimum hıza ulaşılan kadar devam ettirilmiştir.

4.1. Seri Melez Elektrikli Toplu Taşıma Otobüsü

Hibrit Elektrikli Araç (HEV) batarya ve elektrik motoru ile içten yanmalı motor gibi bir destek güç birimini birleştirir. Böylece geleneksel araçlardan daha düşük emisyonlu ve daha yüksek yakıt ekonomisine sahip araçlar elde edilir [5]. Temel olarak iki tür HEV



Şekil 6. Araç giriş ekranı.

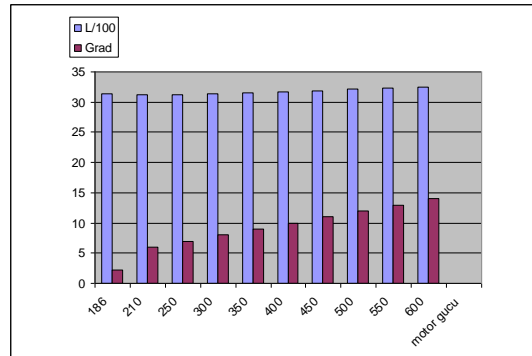
mevcuttur. Paralel ve seri. Paralel hibrit sistemlerde ısıtma motorundan elde edilen moment bir elektrik motoru tarafından üretilen moment ile mekaniksel olarak bağlıdır. Öte yandan seri hibrit sistemlerde, aracın tahriki için gerekli olan tüm moment bir elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır [6].

Seri hibrit araçlarda en iyi sonucu elde edebilmek için, motor boyutu ve motor maksimum yakıt ekonomisi sağlayabilecek şekilde belirlenmiştir. Aracın; UDSS sürüş devrinin 5 devri boyunca çalıştırılması gerekmektedir. Aracın hızlanma testleri 0-100 kms için yapılmıştır. Araç; 50 kms hızda %6 eğimde 5 dakika boyunca test edilmiş ve UDSS sürüş devrinin 5 devri boyunca çalıştırılmıştır. Tablo 1'de benzetişim sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 1. Şehir içi Sürüş Güzergahında (ŞİG) geleneksel otobüs için benzetişim sonuçları

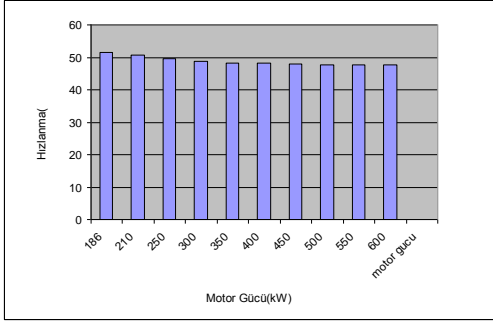
Şehir içi Sürüş Güzergahı				
Motor Gücü (kW)	Hızlanma 0-96.6 km/h (s)	Yakıt Tüketimi (L/100)	Mesafe (km)	Eğim (%)
186	51,6	31,3	11,9	2,2
210	50,6	31,2	11,9	6
250	49,5	31,2	12	7
300	48,8	31,3	12	8
350	48,3	31,5	12	9
400	48,1	31,7	12	10
450	47,9	31,9	12	11
500	47,8	32,1	12	12
550	47,7	32,3	12	13
600	47,6	32,5	12	14

Tablo 1'den anlaşılacağı gibi, sürüş devrinin gereksinimlerini karşılayan en iyi sonuçlar, motor gücünün 186 kW'tan 600 kW'a kadar değiştirilmesiyle elde edilmiştir. En yüksek yakıt tüketimi motor gücü 500 kW'm üzerine çıktığında olmuştur. Maksimum hız 100 kms a ulaşmıştır. Ayrıca otobüsün 0 dan 100 kmh a ulaşma zamanı 51,6 saniyedir. Bu değer motor gücü arttıkça azalmaktadır. Şekil 7 de motor güç oranlarının yakıt ekonomisi ve eğim üzerindeki etkileri grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 7. Motor gücüne bağlı yakıt ekonomisi ve eğim ilişkisi.

Şekil 7 den anlaşılacağı gibi motor gücünün artışıyla eğim-çıkma yeteneği de artmakta ancak yakıt ekonomisi azalmaktadır. Bu nedenle eğim-yeteneği ihtiyacı karşılayan en iyi yakıt tüketimi daha düşük güç oranlarında ortaya çıkmaktadır.



Şekil 8. Motor gücüne bağlı 0-100 kms hızlanma.

Hızlanma da analiz edilmiş ve otobüsün, kullanılan motorun güç oranlarına göre 0'dan 100 kms'e hızlanması Şekil 8'de gösterilmiştir. Burada; yüksek motor güçlerinde 0'dan 100 kms'a hızlanma dikkate değer oranda azalmaktadır. Geleneksel otobüs için çok sayıda yapılan benzetişimden, şehir içi güzergahı (UDDS) için, yakıt ekonomisinde en iyi sonucun 31,2 L/100 olduğu ortaya çıkmıştır.

UDDS sürüş devrinin gereksinimlerini karşılayan seri bir hibrit otobüsün ulaştığı en iyi yakıt ekonomisi 7.4 mpg dir. Burada dizel ve elektrik motorlarının gücü sırasıyla 100 ve 300 kW'tır. Otobüs test gereksinimlerinden biri olan %6 eğimi 300 saniyede tırmanmıştır. Otobüsün ulaştığı en yüksek eğim %3.5'tur. Bunu başarabilmek için toplam gücü 550 kW'a yükselten 250 kW'lık bir dizel motoru kullanılmalıdır. Ancak bu da yakıt ekonomisini 5.7 mpg'ye düşürmektedir. Otobüsün şehirde birkaç tepeyi tırmanmadığı varsayıldığında, dizel motorun gücü 100 kW'ta kalmakta ve böylece elektrik motoru ve dizel motor toplam 400 kW'lık güç vermektedir.

4. SONUÇ

Bu makalede; taşıt sistemleri ile ilgili ön bilgilere sahip olabilmek için, otomotiv endüstrisinde ve akademik alanda kullanılan ADVISOR yazılım paketinin çalışması tanımlanmıştır. Program; aracın tüm performansını ilgilendiren elektriksel sistemin analizini ve benzetişimini yapabilmektedir. Bu da, kullanıcının, tasarlanan aracı hayata geçirilmeden önce çeşitli şartlarda denemesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca çalışmada geleneksel içten yanmalı motorlu bir otobüsün ve hibrit elektrikli aracın örnek benzetişimleri yapılarak yakıt tüketimi ve eğim-çıkma yetenekleri de karşılaştırılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] A. Emadi, M. Ehsani, and J. M. Miller, *Vehicular Electric Power Systems: Land, Sea, Air, and Space Vehicles*, New York: Marcel Dekker, December 2003.
- [2] C. C. Chan, "The state of art of electric hybrid vehicles," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, Feb.2002, pp.247-275.
- [3] A. Brooker, K. Haraldsson, T. Hendricks, V. Johnson, K. Kelly, B. Kramer, T. Markel, M. O'Keefe, S. Sprik, K. Wipke, and M. Zolot, *ADVISOR Documentation*, National Renewable Energy Laboratory (NREL), April 2002.
- [4] S. M. Lukic and A. Emadi, "Effects of drive train hybridization on fuel economy and dynamic performances of parallel hybrid electric vehicles," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 53, no. 2, March 2004.
- [5] V. Dawood and A. Emadi, "Performance and fuel economy comparative analysis of conventional, hybrid, and fuel cell heavy-duty transit buses," in *Proc. 58th Vehicular Technology Conference*, 6-9 Oct. 2003, vol. 5, pp.3310 – 3315.
- [6] M. R. Cuddy and K. B. Wipke, "Analysis of the fuel economy benefit of drivetrain hybridization," SAE International World Congress and Exposition, Detroit, MI, Feb. 1997.