

MENZİL UZATICI DESTEKLİ ELEKTRİKLİ MİNİBÜS TASARIMI

A.Umut Doğan¹

ÖZET

Şehiriçi ulaşım kaynaklı egzoz emisyonlarının azaltılabilmesi için çok yol kateden ve yaşlı araç filolarını sıfır emisyonlu araçlar ile modernize etmek en etkili yöntem olarak görülmektedir. Bu amaçla İstanbul'da varolan minibüs hatlarında kullanıma uygun, modern elektrikli minibüs tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tamamen elektrik tahrikli, hızlı şarj kabiliyetli, alçak tabanlı, engelli erişimine uygun minibüs tasarlanmıştır. Örnek minibüs hatları için günlük kullanım simülasyonu gerçekleştirilerek güç sistemleri ve gerekli şarj altyapısı boyutlandırılmıştır. Ayrıca elektrikli minibüs menziline destek amacıyla benzinli menzil uzatıcı tasarlanmıştır. Menzil uzatıcı elektrik üreten küçük hacimli benzin motoru ve jeneratör setinden oluşmaktadır. Tasarlanan minibüs prototipi üretilerek test edilmiştir. Minibüs sıfır emisyonlu sürüş yeteneğinin yanı sıra menzil uzatıcı devreye alınarak hibrit araç olarak kullanılabilir. **Anahtar Sözcükler:** Elektrikli Araç, Menzil Uzatıcı, Elektrikli Minibüs, Simülasyon

GİRİŞ

Sınırlı menzil ve yüksek maliyetli bataryalar elektrikli araçların en büyük eksikliğidir. Elektrikli araçlar istenen menzili sunamadıkları için menzil uzatıcı modüle sahip elektrikli araçlar öne çıkmaktadır. Menzil uzatıcı modül küçük hacimli içten yanmalı motor ve jeneratör çiftinden oluşmaktadır. Modül, bataryadaki enerji seviyesi azaldığı zaman devreye alınarak hem bataryayı şarj edebilmekte hem de elektrikli tahrik sistemine güç sağlayabilmektedir. Günlük şehir içi trafikte sadece elektrikle çalışan; şehirlerarası yollara çıktığında ise, menzil uzatıcı yardımıyla şarj olmayı beklemeden uzun yol katedebilen araçlara ihtiyaç vardır. Türkiye'de çok popüler olan hafif ticari araçların elektrikli hale getirilebilmesinin en ekonomik çözümü görece küçük bir batarya ve menzil uzatıcı modül kullanmaktır [1]. Menzil uzatıcılı elektrikli araçların bakım maliyetleri içten yanmalı motorlu araçlara ve elektrikli araçlara göre daha düşüktür [2]. Hexagon Mühendislik ve Tasarım A.Ş. (Hexagon Studio), ağırlıklı olarak ticari ve hafif ticari araç projeleri üzerinde çalıştığı için, menzil uzatıcılı elektrikli araç teknolojisi şirket için kilit teknoloji konumundadır. Bu tip çoklu enerji kaynağına sahip ve elektrik tahrikli araçların en önemli alt sistemi ise aracın tüm güç akışını yöneten, güç yönetimi kontrol sistemidir. Söz konusu araç, şehiriçi minibüs ve servis hatlarında çalışabilecek üzere tasarlanmaktadır. Araç sadece elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Böylelikle sessiz, titreşimsiz konforlu bir sürüş sunmakta ve şebeke elektriği kullanarak sıfır emisyonlu sürüşe imkân vermektedir. Öte yandan araç üzerinde bulunan hızlı şarj aleti sayesinde kısa beklemeelerde şarj edilebilmektedir. Şarj etme fırsatı bulunmadığı durumlarda aracın menzilin arttırmak için menzil uzatıcı sistemi bulunmaktadır.

YÖNTEM

Menzil uzatıcı ünitelerinin çeşitleri, özellikleri, araca entegrasyonu ve kontrol sistemleri konularında rakip araçlar, bu araçlarda kullanılan sistemler ve araç kontrol stratejileriyle ilgili veritabanı oluşturulmuştur. Hexagon Studio tarafından tasarım ve geliştirilmesi yapılan dizel minibüsün, menzil uzatıcılı elektrikli araç için baz alınması kararlaştırılmıştır (Tablo 1). Bu sınıftaki minibüsler, hem hatlı minibüs olarak, hem de personel servisi olarak hizmet verebilmektedir.

Tablo 1. Karsan Jest Araçlarının Özellikleri

	FDR Opsiyonları	9,7 – 15,3
	Maksimum Araç Ağırlığı	4600 kg
	Tırmanma Kabiliyeti	30 %
	Yolcu Kapasitesi	15
	En Yüksek Hız	120 km/h

¹ A. Umut Doğan, Hexagon Studio, Elektrikli Araçlar Proje Mühendisi, Kocaeli, Türkiye umut.dogan@hexagonstudio.com.tr

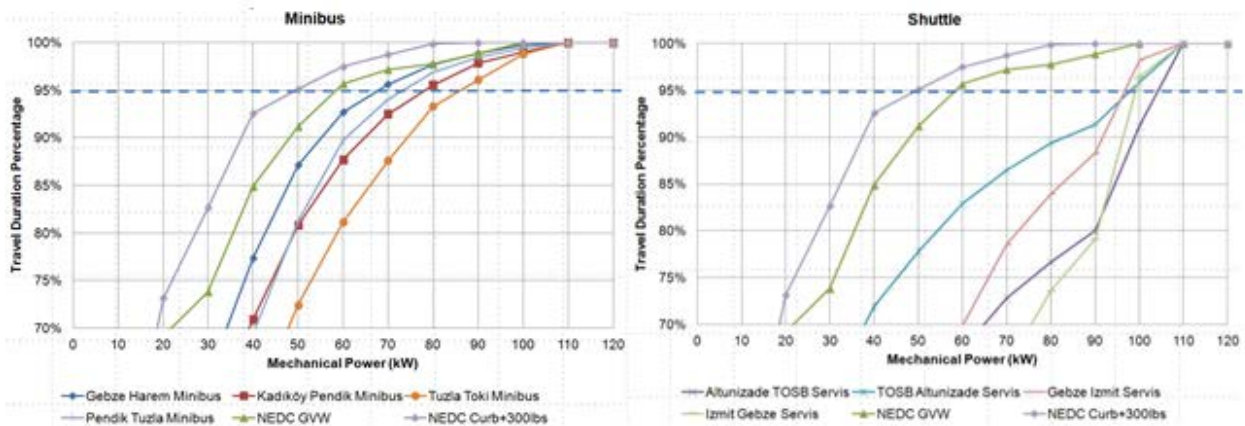
Minibüs hatlarında sık dur-kalk, yüksek doluluk oranı ve düşük seyir hızları öne çıkmaktadır. TEM Otobanını kullanan İstanbul-Gebze personel servislerinde ise sınırlı sayıda dur-kalk, oturan sabit yolcu ve yüksek hızlar sözkonusudur.

Projede senaryo oluşturma çalışmalarında kullanılmak üzere Kadıköy-Pendik, Gebze-Harem minibüs hatları ve Altunizade-TOSB personel servis hatları belirlenmiş ve GPS yardımıyla gerçek sürüş verileri toplanmıştır (Tablo2). Minibüs hatlarında çok sık frenleme ve ivmelenme varken servis hattı sınırlı noktadan yolcu alıp yolculuğunun büyük kısmını TEM otobanı üzerinden gerçekleştirdiği için ortalama sürüş hızları daha yüksektir.

Tablo 2. Seçilen Minibüs ve Servis Güzergâhları

Hat İsmi	Garaj Sayısı	Hat Uzunluğu (Km)	Araç Başına Günlük Mesafe (Km)
Kadıköy - Pendik	2	25	203
Gebze - Harem	2	52	315
Altunizade - TOSB	2	42	84

Aracın dört mevsim hizmet vermesi hedeflendiğinden araçta ısıtma ve klima sistemlerinin olması ve aracın enerji tüketimi hesaplarında ısıtma ve soğutma yüklerinin de göz önünde bulundurulmuştur. Bu güzergâhlardan seçim yapılarak güç sistemi simülasyon yazılımında koşturulacak sürüş çevrimleri oluşturulmuş ve simülasyonlar için aracın gerçek hayat sürüş çevrimlerine uygun olarak tam yüklü ağırlıkta çalıştığı kabul edilmiştir. Minibüsün çevrimlerinde güç ihtiyacı Şekil 1’de gösterilmiştir. Enerji tüketim simülasyon sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.



Şekil 1. Minibüs ve Personel Servis Hatları Performans Gereksinimleri

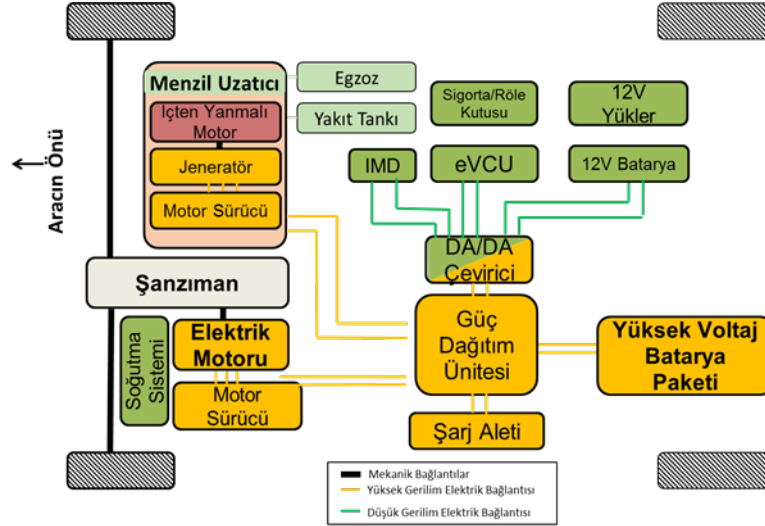
Ayrıca yakıt tüketimi ve emisyon regülasyonlarında (EC No. 715/2007, EC No. 692/2008 ve UNECE R101) kullanılan resmi Avrupa Sürüş Çevrimi (New European Driving Cycle (NEDC)) proje kapsamında hem simülasyonlar hem de testlerde kullanılacaktır [3]. Bu sayede tasarlanan menzil uzatıcı elektrikli araç, yakıt tüketimi ve emisyon açısından piyasadaki minibüslerle karşılaştırılabilecektir. Simülasyon sonuçları gruplanarak elektrikli araç için metrik hedefler ortaya konmuştur (Tablo 4).

Tablo 3. Çevrim Simülasyon Sonuçları Tablosu

Sürüş Çevrimi	Rota (km)	Enerji Tüketimi (kWh)
Kadıköy-->Pendik	25	11,75
Gebze-->Harem	52	15,1
Altunizade-->TOSB	42	20,1
NEDC	11	3,2

Elektrikli Araç Alt Sistem Boyutlandırma

Belirlenen alt sistem hedeflerine uygun boyutlandırılması için güç sistemi simülasyon yazılımında performans ve enerji tüketimi simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Minibüsün belirlenen performans hedeflerini karşılaması için gerekli elektrik motoru, şanzıman, batarya gücü, menzil uzatıcı gücü belirlenmiştir. Menzil uzatıcı elektrikli minibüsün güç sistemleri şematik olarak Şekil 2’de belirtilmiştir.



Şekil 2. Menzil Uzaticılı Elektrikli Minibüs Blok Şeması(REEV: Range Extended Electric Vehicle)

Alt sistem seviyesindeki performans ve enerji tüketimi hedeflerini karşılayan komponentleri seçebilmek için farklı alt komponent üreticisi firmaların ürünleri simülasyonlarda test edilmiştir. Söz konusu komponentler arasında batarya paketi, elektrik motoru, inverter, araç üzeri şarj aleti, menzil uzatıcı modül bulunmaktadır. Paketleme ve ağırlık hedefleri doğrultusunda yapılacak çalışmalar için üç boyutlu tasarım yazılımı kullanılarak alternatif yerleşimler çalışılmıştır. Fonksiyon hedefleri ile ilgili komponent özelliklerini karşılaştıran matris çalışması yapılarak komponent seçimleri ile ilgili ön değerlendirme yapılmıştır. Alınan hesap ve analiz sonuçlarına göre dişli hesabı ve iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Buna bağlı olarak tasarım ölçüt ve girdileri oluşturularak güç, tork, paketleme ve ağırlık vb. ürün hedef değerleri belirlenmiştir (Şekil 3).

Tablo 4. Ürün Hedef Değerleri Tablosu

Elektrikli Araç Menzili	70 Km	Yolcu Kapasitesi	14 Yolcu
Uzatılmış Menzil	300Km	Maksimum Hız	90Km/s
Toplam Menzil	370Km	Tırmanma Kabiliyeti	%20
Şarj Süresi	2 Saat	Dolu Araç Ağırlığı	4600 Kg

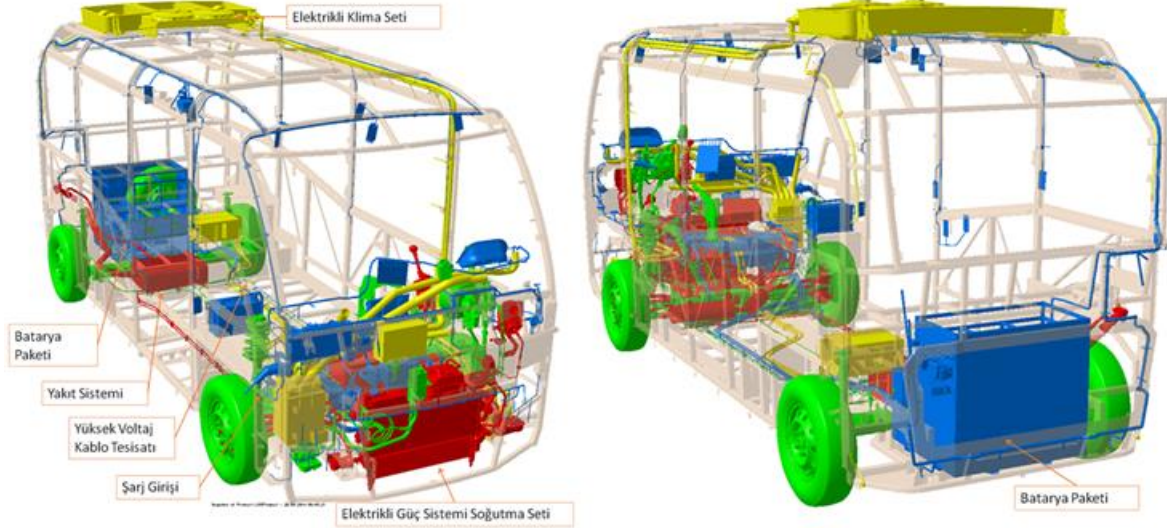
Proje kapsamında performans hedefleri temel alınarak, sistemde kullanılacak bileşenler için alternatifler araştırılmış, çeşitli tedarikçiler ile görüşmeler yapılarak bu alternatiflerin teknik özellikleri toplanmıştır. Alternatifler göz önünde bulundurularak kullanılacak bileşenlere karar verilmiştir.

Performans simülasyonları sonrasında, senaryo çalışmaları sırasında belirlenmiş sürüş çevrimlerinde aracın enerji tüketimi simülasyonları koşturulmuştur. Yapılan iterasyon çalışmalarında çıkan sonuçlara göre aracın batarya enerji kapasitesi, yakıt tankı büyüklüğü, araç üzeri şarj aleti gücü, menzil uzatıcı gücü belirlenmiştir. Öte yandan araç gövdesinin izin verdiği paketleme hacimleri kullanılarak alt sistemlerin geometrik şekilleri ve hacimleri çalışılmıştır. Motor Soğutma Sistemi, Menzil Uzatıcı Modül, Elektrik Motoru ve Batarya Paketinin araca yerleşimi görülmektedir. Aracın dizel modelindeki önden çekişli tahrik sistemini korumak için elektrik motoru aracın ön kısmındaki motor bölgesine yerleştirilmiştir. Ayrıca menzil uzatıcı modülün devrede iken oluşturacağı NVH (Noise-Vibration-Harshness) karakteristikleri düşünülerek dizel minübüste dizel motorun yer aldığı motor boşluğuna yerleştirilmiştir (Şekil 3).

Batarya paketi yerleşimi için en uygun bölgenin aracın arka kısmında, yolcu koltuklarını taşıyan podestin altında ve taşıyıcı ana rayların arası olduğuna karar verilmiştir. Aracın boş ağırlık, yolcu taşıma kapasitesi ve dolu ağırlık, ağırlık merkezi hedeflerini sağlayabilmek için alt sistemlerin ağırlıkları üç boyutlu tasarım yazılımı vasıtasıyla kontrol edilmiştir. Aracın ön ve arka akslarının taşıma kapasitelerini aşmayacak şekilde komponentler araca paketlenmiştir. Hedefleri sağlayan alt sistemlerin ideal boyutlarına ulaşabilmek için yukarıda belirtilen çalışmalar paralel yürütülerek iterasyonlar yapılmıştır.

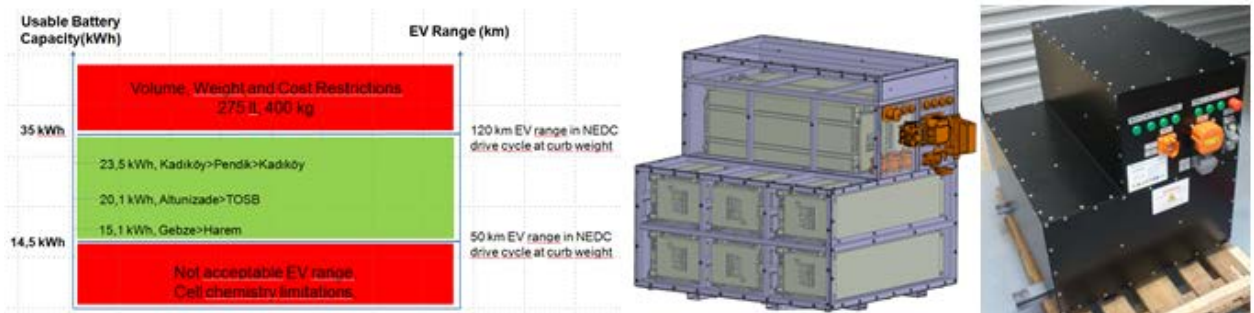
Batarya Paketi Tasarımı

Batarya paketi boyutlandırma çalışmasında öncelikle aracın performans hedeflerini karşılayabilmek için gerekli elektrik gücünü sağlayabilen batarya boyutu belirlenmiştir. Bu çalışma sırasında araca yapılan paketleme ve ağırlık çalışmalarının getirdiği sınırlar gözönüne alınmıştır. Bu grafikte kırmızı ile belirlenen alanlar teknik sınırların dışında kalan güçleri göstermektedir. Bu teknik sınırlar, aracın paketleme ve ağırlık çalışmasına ek olarak batarya teknolojisinden gelmektedir. Daha sonra aracın menzil hedefine göre gerekli batarya boyutları belirlenmiştir.



Şekil 3. Menzil Uzatıcı Elektrikli Minibüs Paketleme Görüntüsü

Projenin başında hazır bir paket olarak alınması planlanan batarya için tedarikçi firmaların sunduğu paket alternatifleri araca uygun bulunmamıştır. Yapılan paketleme çalışmalarında, batarya paketinin şeklinden dolayı daha fazla hacme ihtiyaç duyulduğu ve araç içi koltuk yerleşiminde değişikliğe sebep olacağı görülmüştür. Bu sebeple, tedarikçi ile yapılan görüşmeler sonucunda yeni bir batarya paketinin tasarlanmasına karar verilmiştir. Tasarım çalışması sırasında birçok iterasyon yapılmıştır. Minibüsün yolcu kabine girişim yapmayan batarya paketi tasarımı amaçlanmıştır. Projede tasarlanan elektrikli minibüs alçak tabanlıdır. Taban seviyesi birçok komponent için tasarım alanı sınırını oluşturmaktadır. Bataryanın bu sınıra uyumlu bir şekilde yerleşimi gerçekleştirilmiştir. Araçtaki koltuk sayısını etkilemeyecek şekilde yerleşim yapılmıştır. Batarya için aracın arka bölgesi seçilmiştir. Bu bölge montaj ve servis edilebilirlik açısından da avantaj sağlayacaktır.

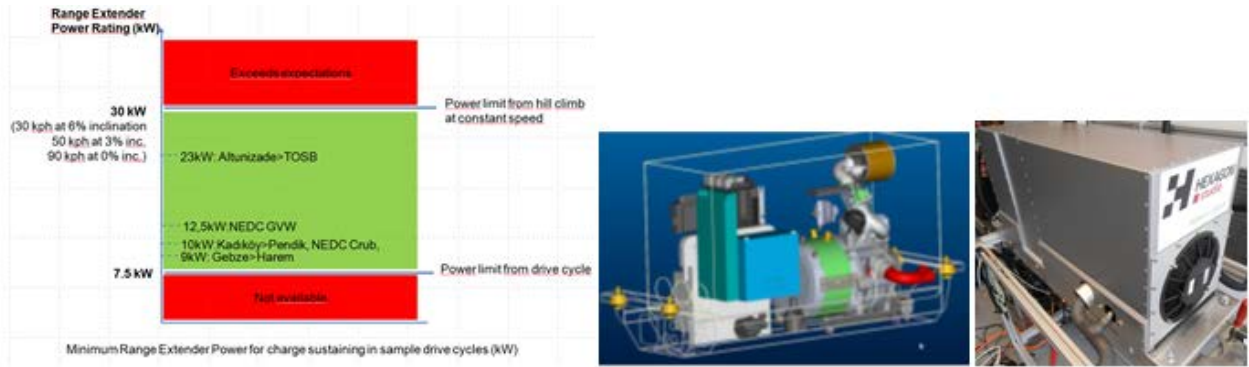


Şekil 4. Batarya Boyutlandırılması ve Batarya Paketi Tasarımı

Bataryanın yerleşimi için araç gövdesinin arka bölümünde yeni tasarım gerçekleştirilmiştir. CAD çizim üzerinde yapılan çalışmalarda batarya paketinin oturabilmesi için bir alan oluşturulmuştur. Tasarım finalize edildiğinde gövde tasarımının mukavemetinin incelenmesi için yapısal dayanım analizleri gerçekleştirilmiştir. Batarya üzerinde elektrik ve veri konnektör girişleri, acil durum butonu, manuel devre kesici ve uyarı ışıkları bulunmaktadır (Şekil 4). Yapılan tasarım üretici firma ile paylaşılarak prototip üretilmiştir. Batarya tasarımı konusunda yapılan çalışmaları korumak amacıyla patent başvurusu yapılmıştır.

Menzil Uzatici

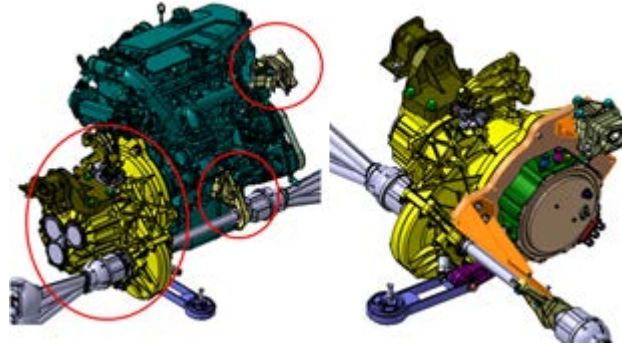
Menzil uzatici boyutlandırma çalışması sırasında öncelikle sürüş çevrimlerini tamamlayabilmek için gerekli güç miktarları hesaplanmıştır. Daha sonra performans hedeflerini karşılayabilmek için gerekli güç miktarları hesaplanmıştır. Bu çalışma sırasında, batarya boyutlandırmasında olduğu gibi araca yapılan paketleme ve ağırlık çalışmalarının getirdiği sınırlar göz önüne alınmıştır. İhtiyaç duyulan menzil uzatici özellikleri belirlendikten sonra üretici firmalarla görüşmeler yapılmıştır. Hazır ürünlerin listesi çıkarılmış fiyat teklifi alınmıştır. Hazır ürünler içerisinde istenen özelliklerde ve uygun maliyetli bir ürün bulunamamıştır bu nedenle araca özgü yeni bir tasarım yapılmıştır. Yapılan paketleme çalışması sonrasında hazır ürün yerine araca uygun tasarım yapılması gereği görülmüştür. Bu çalışma kapsamında araçta menzil uzaticiya ayrılacak hacim hesaplanmıştır. Titreşim yalıtım elemanları içeren gövde bağlantıları tasarlanmıştır. Bu hacime uygun tasarım çalışması yapılmıştır. Menzil uzatici üzerinde yakıt ve yağ girişleri, soğutma sıvısı girişleri, elektrik ve veri konnektör girişleri bulunmaktadır (Şekil5).



Şekil 5. Menzil Uzatici Boyutlandırılması ve Menzil Uzatici Sistem Tasarımı

Motor Bağlantı Tasarımı

Motor güç sisteminde dizel motorun yerine elektrik motoru kullanılacağı için dizel motor mevcut araç üzerinden sökülüp yerine elektrik motoru monte edilmesi gerekecektir. Bu amaçla değişim için aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır. Dizel motor, mevcut aracın CAD çizim dosyasından çıkarılmıştır ve yerine elektrik motoru getirilmiştir. Şekilde görülen motor takozu; half shaft bağlantısı ve şanzıman bağlantıları elektrikli motor bağlantılarında kullanılacak şekilde ayrılmıştır(Şekil 6).



Şekil 6. Mevcut Dizel Motor Bağlantısı ve Elektrik Motoru Adaptasyonu

Elektrik motoru ve şanzımanı birbirine bağlayacak bir ara bağlantı plakası tasarlanmıştır. Elektrik motorundan gelen titreşimleri sönmüleyecek eski motor bağlantı takozunu bu ara bağlantıya monte etmeyi sağlayacak bir motor takoz braketi tasarlanmıştır.

Direksiyon Sistem Tasarımı

Bu projede konvansiyonel araçlardan ve projede temel alınan, seri üretimde olan Karsan Jest aracından farklı olarak mekanik pompa yerine elektro-hidrolik direksiyon pompası kullanılmıştır. Direksiyon pompası bağımsız olarak kontrol edilebilen küçük bir elektrik motoru ünitesi ile tahrik alıp sisteme gerekli

hidrolik sağlanmıştır. Elektrik motoru, hidrolik pompa, yağ tankı rezervuarı tek bir ünite olacak şekilde temin edilmiştir. Araca adapte edilen direksiyon pompası direksiyon açısına ve araç hızına göre belirli bir debi miktarında çalışmaktadır. Bu sayede, on-off çalışma durumundan farklı olarak, enerji tasarrufu elde edilmektedir.

Fren Sistemi Tasarımı

İçten yanmalı motora sahip araçlarda fren sistemindeki vakum etkisi içten yanmalı motora bağlı mekanik pompalar ile sağlanmaktadır. Elektrikli araçlarda elektrikli vakum pompaları kullanılmaktadır. Mekanik tahrikli pompalar sürekli olarak çalışırken, elektrikli vakum pompaları gerektiğinde devreye girer ve çıkarlar. Elektrikli vakum pompası, mekanik tahrikli vakum pompasına kıyasla %90 daha az enerji sarf etmektedir.

Isıl Yönetim Sistemi Tasarımı

Araçtaki elektrik komponentlerinin, elektrikli motorun ve menzil uzatıcının soğutulması için üç bağımsız soğutma sistemi tasarlanmıştır. Elektronik ünitelerin soğutulmasında santrifüj pompası ile istenen debi ve basınç değerinde su devirdaimi sağlanarak sistem komponentleri soğutulmaktadır. En düşük çalışma sıcaklığı gerektiren elektrik komponenti ilk soğutulacak şekilde konumlandırılmıştır. Elektrik motoru yağ sıcaklığını sabit değerde tutabilmek için yağ devirdaim pompası yardımıyla sistem çevrimi gerçekleşmektedir. Su soğutma sisteminde kullanılan fan- davlumbaz grubu yardımıyla yağ radyatörü soğutulması da gerçekleşmektedir. Üçüncü soğutma sistemi menzil uzatıcı olarak görev yapan benzinli motor ve jeneratörü soğutmaktadır. Sistem içerisinde benzinli motor antifrizli su ile soğumaktadır. Diğer su soğutmalı elektrik komponentlerine göre çalışma sıcaklığı yüksek olduğundan farklı bir radyatör kullanılarak soğutulmaktadır. Aynı bir santrifüj pompasına sahiptir. Menzil uzatıcı içerisinde bulunan invertor ve jeneratör ise birbirlerine yakın sıcaklıklarda çalıştıklarından soğutulmaları için birinci elektrik ünite soğutma sisteminde yer alan ana radyatöre bağlanmıştır.

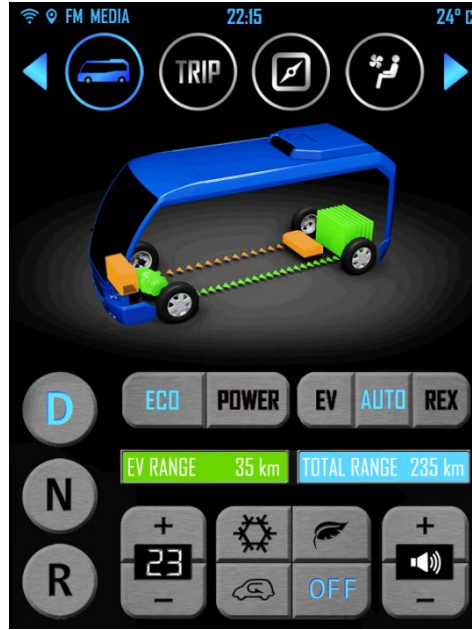
Yüksek Gerilim Sistemi Tasarımı

Yüksek gerilim hattının geçeceği rota, belirlenerek, güç aktarma organları arasında güç aktarımı gerçekleştirecek tesisat tasarımı yapılmıştır. Farklı firmaların ürünlerinin farklı bağlantı tipine sahip olması sebebiyle, elemanlarının verimli çalışabilmesi için ara bağlantı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım tedarikçi firma tarafından prototiplenmiştir. Prototip test edilerek doğrulanmış ve projede kullanılması uygun bulunmuştur.

Yüksek gerilim hattında kaza sonucu oluşacak kaçak akımı tesbit ederek gücü otomatik olarak devre dışı bırakacak "İzolasyon Görüntüleme Sistemi" tasarlanmıştır. Elektrik ünitelerinin arasındaki iletişimi sağlayan ve karşılıklı her parçanın düzgün çalışıp çalışmadığını kontrol eden yüksek gerilim interlock döngüsü kurulmuştur. Bu sistem sayesinde problem oluşturabilecek güç aktarma organı tespit edilip, yüksek voltaj sistemi devre dışı bırakılacaktır. Acil durumlarda sürücünün rahatlıkla ulaşabileceği "Acil Durum Sigortası" eklenerek, yüksek gerilimli batarya, sistemden manuel olarak ayrılmaktadır. Aracın "Key on" durumundan "Key off" durumuna geçişi esnasında sistemde var olan enerjiyi sönmölemek için mevcut sistemin çıkışına "Key Off" pozisyonunda aktif olan sönmöleme kaynağı (direnç) eklenmiştir.

Dokunmatik Ekran ve Ön Konsol Tasarımı

Menzili uzatılmış elektrikli minibüsün içerdiği yeni fonksiyonları sürücüye aktarabilmek için dokunmatik ekran donanımı ve yazılımı geliştirilmiştir. Çeşitli ekranlar üzerinden sürücüye anlık güç akışını, şarj durumunu, elektrik bileşen sıcaklık ve hata durumu, menzil tahmini bilgilerini sunarken aynı zamanda sürüş modları arasında seçim yapılabilmesi için menü sunulmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Ana Sürüş Ekranı

Dokunmatik ekran sayesinde iklimlendirme sistemi, multimedya sistemi, aydınlatma sistemi düğmeleri konsoldan kaldırılıp menülere yerleştirilmiştir. İnsan-makine arayüzü ve acil durum butonları ön konsola yerleştirilmiştir. Sürücünün görüş açılarını göz önünde bulundurularak dokunmatik ekran yeri belirlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Yeni Ön Konsol ve Dokunmatik Ekran Tasarımı

Enerji Yönetimi

Elektrikli aracın farklı kullanım şartlarında her zaman en yüksek performansı verebilmesi için 2 farklı sürüş modu kullanılmasına karar verilmiştir. Bu şekilde aracın yolcu durumu, coğrafi yol koşulları, trafik yoğunluğu, menzil beklentisi gibi değişkenleri göz önünde bulundurularak sürücü söz konusu sürüş modlarından birini seçerek aracın davranış karakteristiğini değiştirebilmektedir. Araç kontrol ünitesi yazılımı farklı sürüş modlarını içerecek şekilde Hexagon Studio tarafından geliştirilmiştir.

1. **Ekonomi Modu:** Elektrik motorunun ürettiği maksimum tork ve güç değerlerinin, iklimlendirme sistemi kapasitesi, araç maksimum hızının ve multimedya sistemlerinin limitlendiği; menzili arttırırken sürücünün şehir içi performans ihtiyaçlarını karşılayan moddur. Bu modda enerji verimliliği arttırarak toplam elektrikli menzilin uzatılması amaçlanmıştır. Pedal karakteristiğinde motor momentinin pedal basma yüzdesine göre daha yavaş arttığı bir grafik belirlenmiştir.
2. **Güç Modu:** Elektrik motoru, iklimlendirme, araç hızı ve multimedya sistemlerinin tam performanslı çalıştırıldığı moddur. Aracın menzili ekonomi moduna göre kısılırken aracın tüm dinamiklerine komponent limitleri çerçevesinde tam erişim sağlanmıştır. Pedal karakteristiğinde motor momentinin pedal basma yüzdesi ile değişimi hızla gerçekleşecek bir grafik belirlenmiştir.

Menzil uzatıcıya ihtiyaç duyulan zamanlar, çalışma sıklığı, egzoz emisyon limitleri, gürültü limitleri göz önünde bulundurularak üç temel mod belirlenmiştir:

1. Elektrikli Araç Modu: Sadece batarya devrede ve menzil uzatıcı hiç çalıştırılmaz. Elektrikli aracı yalnızca bataryanın sahip olduğu enerji ile çalışır. Araç şehiriçinde ve zorunlu bölgelerde tamamen elektrikli araç olarak çalışır.
2. Hibrid Araç Modu, Menzil uzatıcı ve batarya devrededir. Sürücünün manuel olarak menzil uzatıcıyı çalıştırmak istediği zamanlar için oluşturulmuştur. Bu özellikle ulaşılmak istenen şarj istasyonu gibi kritik yerlere ulaşım ve güç harcamasının fazla olduğu yol durumları için oldukça faydalıdır.
3. Otomatik Mod, Batarya doluluğu ve harcanılan enerji sürekli takip edilerek ihtiyaç olduğu durumlarda menzil uzatıcının otomatik olarak devreye girmesi ve devreden çıkması sağlanır.

Rejeneratif Frenleme

Bir elektrikli aracın verimliliğini arttıran en önemli unsurlardan biri rejeneratif frenleme fonksiyonudur. Frenleme sırasında motorun hareket yönüne zıt yönlü tork oluşur ve motoru yavaşlatarak frenlemeyi sağlar. Bu şekilde araç frenleme yaparken aynı zamanda elektrik de üreterek bataryanın şarj olmasını ve araç menzilinün uzatılmasını sağlar.

- Aracın yavaşlama süresi kısaltılarak daha iyi bir frenleme sağlanmış,
- Bataryanın şarj edilebilmesi sayesinde aracın menzili uzatılmış,
- Sürtünmeli frenleme sisteminde kullanımını azaltarak balata değiştirme sıklığı azaltılmış,
- Aracın stabilitesinden ödün vermeden verimliliği artırılmıştır.

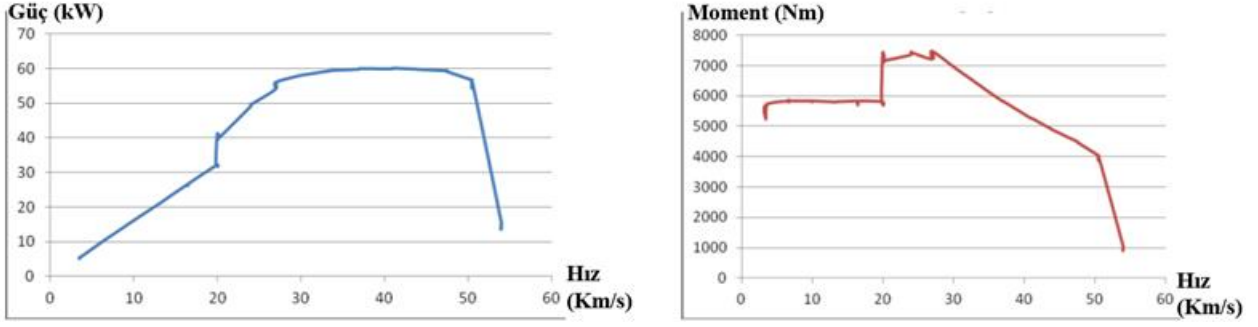
Tasarımı yapılan menzili uzatılmış elektrikli minibüs prototipi Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. Menzil Uzatılmış Elektrikli Minibüs Prototipi
Enerji Tüketim ve Performans Testleri

Şasi dinamometresi üzerinde sürüş çevrimleri kullanılarak enerji tüketimi testleri yapılmıştır. İlk elektrik tüketim testi Hexagon Studio’nun yer aldığı, eğimli yol coğrafyasına sahip TOSB kampüste gerçekleştirilmiştir. Test sırasında SORT3 prosedürü kullanılmıştır. Prosedüre İstanbulda çalışan hatlı minibüs kullanım profilini yansıtmak adına eklemeler yapılmıştır:

Test sonucunda 25,8 km yol katedilmiş ve bataryanın %36 sı harcanmıştır. Menzil 54Km olarak hesaplanmıştır.SORT3 prosedürüne göre eğimli yolun tüketime etkisi %30dur. Düz yol profilinde aracın toplam menzili 70Km olarak hesaplanmıştır. Menzil değeri proje hedefi ile uyumludur.



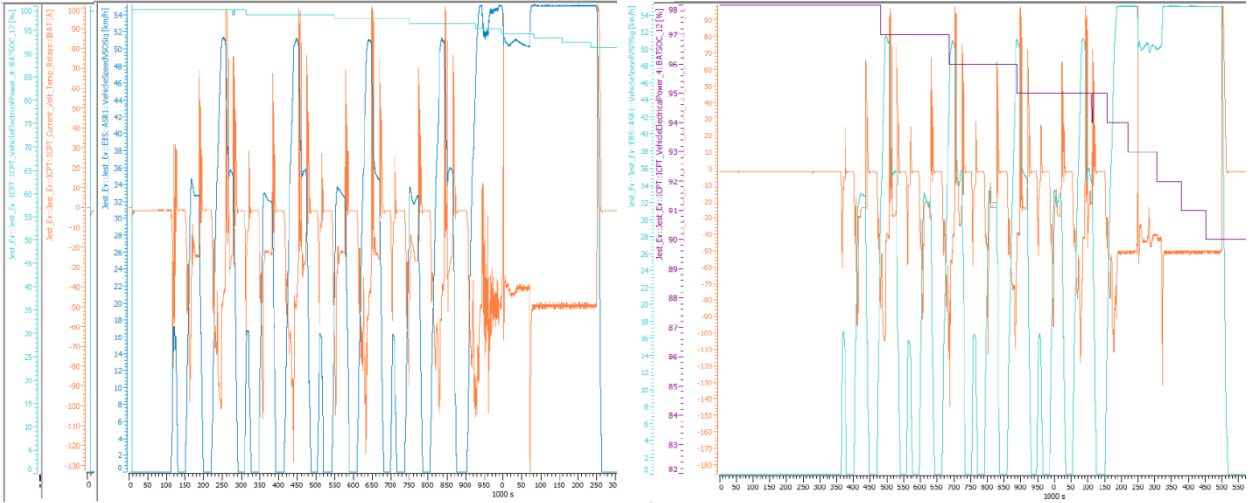
Şekil 10. Şasi Dinamometre Performans Test Sonuçları (Sol: Güç Eğrisi; Sağ: Tork Eğrisi)

Şasi dinamometresinde testler yapılırken performans testleri ve elektrik tüketim testleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC) kullanılmıştır. Bu çevrim Avrupa'da tip onayı alan tüm motorlu taşıtlarda yakıt tüketimini belirleme amacıyla kullanılmaktadır. Performans testleri kapsamında güç ve moment üretimi ölçülmüştür (Şekil 10). Ayrıca minibüsün kalkış tırmanma performansı ölçülmüştür (Tablo 5).

Tablo 5. Şasi Dinamometre Tırmanma Performans Sonuçları Tablosu

Kalkış Eğim (%)	Ulaşılan Maks. Hız (Km/s)
10	50,50
17	33,12

Testler Ekonomi ve Güç olmak üzere iki moda gerçekleştirilip her test içerisinde de iki adet NEDC Çevrim tamamlanmıştır (Şekil 11). Bu duruma göre Eko moda %14, Power moda ise %16 enerji tüketimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 11. Şasi Dinamometre Sürüş Test Sonuçları Hız-Akım-Batarya Eğrisi (Solda: Ekonomi Modu, Sağda Güç Modu Eğrisi)

3 adet NEDC çevrim gerçekleştirilmiştir. Bu çevrimler sonrası araç bataryası %99'dan %74'e düşmektedir. Herbir NEDC çevrimin 11 km olması nedeni ile 33 km'lik toplam çevrim sonunda %25'lik bir enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Bu değer de enerji tüketimi testinde gerçekleştirilen 2 adet NEDC çevrim sonucu elde edilen Eko mod (%14) ve Power mod (%16) tüketim değerleri ile örtüşmektedir.

Araç dinamometre üzerinde maksimum hıza çıkartılıp rejeneratif fren devrede iken coast down manevrası gerçekleştirilmiştir. Rejeneratif fren ile kazanılan enerji maksimum hıza çıkabilmek için harcanan enerjiye oranı %36,5'dir.

SONUÇLAR

Elektrikli ticari taşıtların yaygınlaşabilmesi için yüksek batarya maliyetleri, kısıtlı menzil ve yavaş şarj sorunlarının çözülmesi gerekmektedir. Bu konuda gerçekleştirilen proje ar-ge projesi kapsamında menzil uzatıcı modüle sahip, hızlı şarj olabilen, elektrikli minibüs tasarlanmış ve prototip üretilmiştir. Elektrikli minibüsün prototipinin proje başında hedeflenen performans niteliklerine sahip olduğu test sonuçlarına göre belirlenmiştir. Aracın enerji tüketimi çeşitli sürüş çevrimlerinde ölçülmüş ve beklentileri karşıladığı görülmüştür. Projede elde edilen bilgi birikiminin yeni elektrikli araç projelerinin hayata geçirilmesinde kullanılması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] DEMİR, A., GÜMÜŞ, M. 2012, “Yerli Otomobil Çalışmalarına Yönelik Öneriler”, Mimar ve Mühendis, Sayı 64, Sayfa 54-59
- [2] Propfe B., Redelbach M., Santini D. J., Friedrich H., 2012, “Cost analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles including Maintenance & Repair Costs and Resale Values” EVS26 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium
- [3] United Nations, E/ECE/324, E/ECE/TRANS/505, Addendum 100: Regulation No. 101, 2005.