

## Bir Karayolu Taşıt Aracı Olan Treylerin Elektrifikasyonu ve Bu Dönüşümün Araç Performansına Olan Etkilerinin İncelenmesi

<sup>1</sup>Ferhat Yiğit, <sup>2</sup>Gizem Bacak, <sup>2,3</sup>Mehmet Ali Hazar, <sup>2</sup>İhsan Pehlivan, <sup>2</sup>Selçuk Coşkun, \*Gizem Hazar, <sup>1</sup>Emre Kurt,

<sup>1</sup>Tırsan Treyler A.Ş., Türkiye

\*<sup>2</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Türkiye.

<sup>3</sup>Biyomedikal Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (BIYOTAM), Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

### Özet

Dünya genelinde her yıl 30 milyar varil petrol tüketilmekte ve bu tüketimin büyük kısmı ulaşım ve enerji sektörlerinde gerçekleşmektedir. Ulaşım sektöründe fosil yakıtlı motorlar, enerji tüketiminin %95'ten fazlasını oluşturmakta ve karbon emisyonlarının %30'u karayolu taşımacılığından kaynaklanmaktadır. Karbon emisyonunun azaltılmasına yönelik çalışmaların artmasıyla, treylerlerin elektrikleştirilmesi önemli hale gelmiştir. Literatür taramalarında, düşük kapasiteli elektrikli araç prototiplerine dair çalışmalar bulunmasına rağmen, ticari araçlar üzerinde akademik çalışma eksikliği gözlenmiştir. Bu bağlamda, tamamen elektrikli ve emisyonuz bir Yeni Nesil Frigorifik Treyler (YNFT) tasarlanmıştır. MATLAB/Simulink programında bilgisayar destekli analizler yapılmıştır. Sistem bileşenleri belirlenerek, elektrikli YNFT modeli oluşturulmuş ve sürüş simülasyonlarıyla performans verileri elde edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda YNFT'nin gerçekçi tasarım koşulları ve kısıtları ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikli Treyler, Elektrikli Araç, Karbon Emisyonu, Fosil Yakıt.

## Investigation of the Electrification of a Trailer as a Road Vehicle and the Effects of This Conversion on Vehicle Performance

### Abstract

Globally, 30 billion barrels of oil are consumed annually, with the majority of this consumption occurring in the transportation and energy sectors. In the transportation sector, fossil fuel-powered engines account for more than 95% of energy consumption, and 30% of carbon emissions originate from road freight transport. With the increasing focus on reducing carbon emissions, the electrification of trailers has become essential. A review of the literature reveals that, while there are studies on low-capacity electric vehicle prototypes, there is a significant lack of academic research on commercial vehicles. In this context, the design of a fully electric and emission-free refrigerated trailer (YNFT) was proposed, and computer-aided analyses were conducted using MATLAB/Simulink. System components were identified, and an electric YNFT model was created. Driving simulations were performed to obtain performance data, which were then analyzed to establish realistic design constraints and conditions for the YNFT.

**Key words:** Electrical Trailer, Electrical Vehicle, Carbon Emission, Fossil Fuel.

\*Sorumlu yazar: Adres: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Bölümü, Sakarya TÜRKİYE E-mail adres: gizemketenci@subu.edu.tr, Telefon: +0264 616 0974

## 1. Giriş

Treyler; yük taşımak için tasarlanmış olup motorlu bir araç (çekici) tarafından bir bağlantı noktası (çeki oku, kingpin v.b) yardımı ile çekilen, karayolu taşımacılığında kullanılan ve taşıyacağı yükün içeriğine göre birçok farklı model ve donanımlarda tasarlanan, karayolları trafik yönetmeliğine göre “O sınıfı” olarak bilinen, motorsuz, ağır ticari bir araçtır [1].

Avrupa Birliği, Yeşil Mutabakat çerçevesinde 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarında %55 azaltma, 2050 yılında ise sıfır emisyon hedefi ile karbon ayak izini en aza indirmek için çalışmaktadır [2]. Özellikle otomotiv sektöründe yük taşımacılığı araçları için ilave tedbirler almaktadır. Karayolu yük taşımacılığı için büyük ölçekte Avrupa’ya ihracat yapan Türkiye’deki çekici ve treyler üretici firmaları Avrupa Birliği’nin getirmiş olduğu yükümlülüklerle uygun araç üretmezler ise pazar payını kaybedeceklerdir. Aynı şekilde rakip üretici firmaların teknolojik olarak geride kalması pazardaki konumlarını etkileyecektir. Bu sebeple sektörde teknolojiye ve toplumun ihtiyaçlarına yönelik ürün geliştirmek kaçınılmazdır.

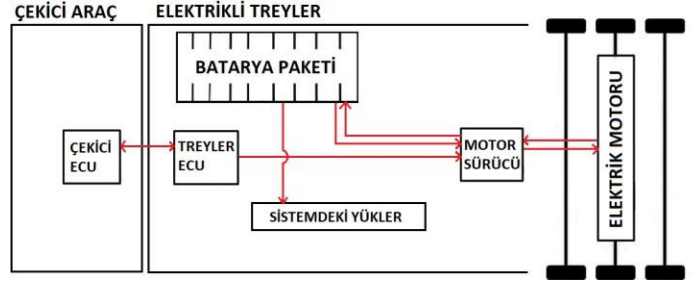
Geçmişten günümüze treyler sektöründe verimliliği arttırmak için sürekli bir gelişim mevcuttur. Örneğin; kombine taşımacılık üzerinde çalışmaların yapılması, telematik çözümlerinin geliştirilerek taşınan yük ve araç takibinin yapılması, aerodinamik açıdan tasarımsal iyileştirmelerin yapılması, lastik basınç takibi ve otomatik şişirme sistemleri, bağlantılı araç teknolojisinin geliştirilmesi gibi akıllı ulaşım modları üzerinde çalışmalar yapılarak araçlar daha verimli kullanılmış ve dolaylı yollardan yakıt tüketimi düşürülmüştür. Fakat “sıfır emisyon” hedefleri için araçlarda fosil yakıtlı motor kullanımını bitirmek ve elektrikli araçlara yatırım yapmak gerekmektedir.

Yapılan literatür taramasından elektrikli araç tasarımlarına yönelik birçok akademik çalışma olduğu görülmüştür. Çalışmaların birçoğunun ortak noktası bilgisayar destekli modele etki eden bazı araç parametrelerinin ihmal ediliyor olması ve sonucun gerçek uygulamayı yansıtmıyor olmasıdır. Bu çalışmalarda daha çok düşük kapasitede tasarlanmış prototip seviye elektrikli araç çalışmaları görülmekle birlikte, seri üretimi olan gerçek araç davranışlarına teknik ve akademik olarak erişilememektedir. Bunlara ek olarak gelişmiş binek araç dünyası ile karşılaştırıldığında sektörü takip eden ticari araçlarda akademik çalışmalar yok denilebilecek kadar azdır. Literatürdeki eksiklikler görülerek ve elektrikli araçlarla ilgili bilgi birikiminden de faydalanılarak, özgün bir tasarıma sahip, ağır vasıta ticari araç sınıfında tamamen elektrikli treyler çalışması yapılmıştır.

Mevcut durumda, motorsuz olan ve bağlı bulunduğu çekici araçtan enerjisini sağlayan (çekici araçtan yakıt tüketen) treyler, frigorifik özelliği sebebi ile, kendi üzerindeki depodan yakıt tüketen bir dizel jeneratöre de sahiptir. Sıfır emisyon amacıyla, mevcut geleneksel treyler üzerinde elektriksiz dönüşüm çalışmaları yapılarak; elektrik tahrikli (çekici ile senkronize şekilde hızlanan ve yavaşlayan fakat çekiciden bağımsız, tahrik kuvvetini kendi üzerinden sağlayan) ve üzerindeki yüklerin enerjisini kendi bataryasından sağlayan, tamamen emisyonuz bir YNFT tasarımı

\*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: caglar@sakarya.edu.tr, Phone: +902642955752 Fax: +902642955601

hedeflenmiştir. Bu çalışma kapsamında; karayolu yük taşımacılığına uygun, soğutma ünitesine sahip 13.6 metre uzunluğunda, dingil bölgesine düşen yük 27 ton olan ve çekici ile birlikte tam yükte 39 ton olan, 3 akslı, ağır vasıta ticari araç sınıfında bir Frigorifik Treyler referans alınmıştır. Şekil 1’de orta aksına elektrik motoru entegre edilmiş, elektrikli bir YNFT tasarımının genel mimari yapısı görülmektedir.



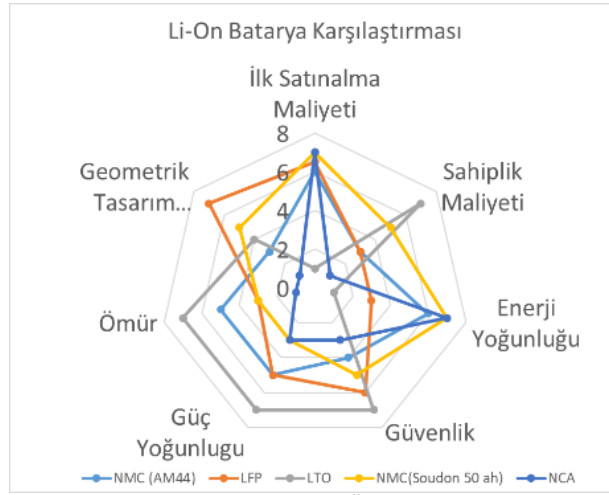
Şekil 1. YNFT

Çalışmada, optimum verimlilikte çalışan tasarımının elde edilmesi için bilgisayar destekli hesaplama ve analizler yapılmıştır. Bilgisayar destekli çalışmalar MATLAB/Simulink programı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, öncelikle elektrikli araç sistem tasarım türleri incelenerek tamamen elektrikli olan bir treyler tasarımı için sistem bileşenleri belirlenmiştir. Ayrıca rejeneratif frenleme (enerji geri kazanımı) yöntemi üzerine çalışmalar yapılarak tasarıma dahil edilmiştir. Sistem bileşenlerinin ve aracın parametreleri ile birlikte nihai bir elektrikli treyler modeli oluşturulmuştur. Model üzerinden, aracın sürüş simülasyonları gerçekleştirilerek performans çıktıları elde edilmiş. Bu çıktılar analiz edilerek aracın gerçekçi tasarım kısıt ve koşulları ortaya koyulmuştur.

## 2. Materyal and Metot

YNFT'nin elektrifikasyonunda kullanılan en temel sistem bileşenleri batarya ve elektrik motorudur. Bununla birlikte güç aktarma sistemi, rejeneratif frenleme sistemi ve araca etki eden direnç kuvvetleri modelin oluşturulmasına etki etmektedir.

Bataryalar; elektrik enerjisini depolayan sistem bileşenidir. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar, birden fazla pil hücresinin bir araya gelmesinden meydana gelmektedir ve oluşturulan bu pil hücre grupları seri bir şekilde bağlanarak batarya modülünü oluşturmaktadır [3]. Birden fazla batarya modülü benzer şekilde seri veya paralel bağlanarak farklı güç seçenekleri elde edilmektedir. Bu modüler tasarım şekli, bataryaların farklı elektriksel karakteristikleri ve kullanılacağı aracın farklı geometrik özelliklerinden kaynaklanan özelleştirilmiş ihtiyaçları sebebi ile meydana gelmiştir. Uygun batarya türünün belirlenmesi için batarya tipleri birçok açıdan incelenmiştir. Şekil 2’de elektrikli araçlarda tercih edilen bataryaların tiplerine göre karakteristik davranışlarının dereceleri ile birlikte verilmiştir.



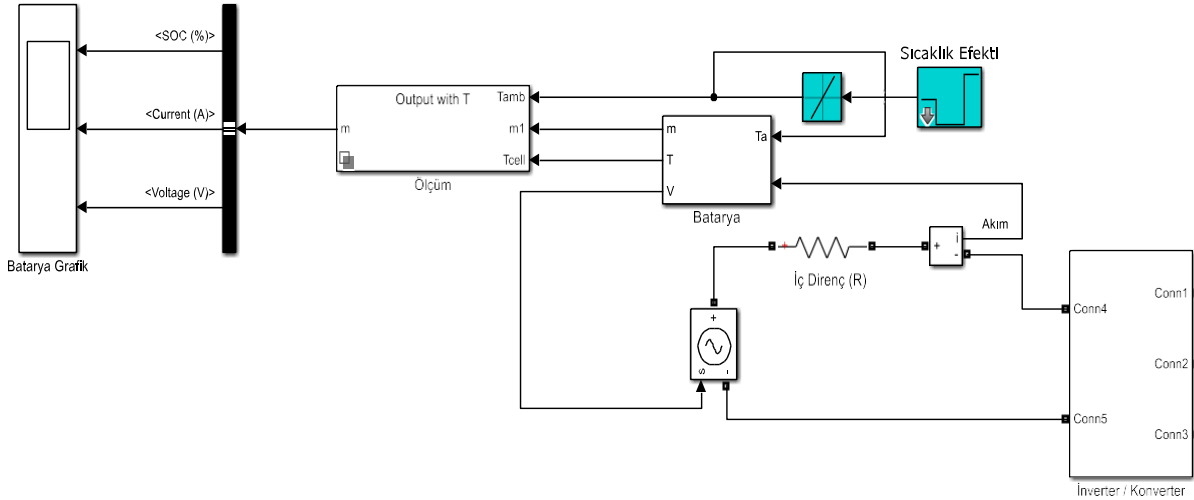
Şekil 2. Batarya Özellikleri

Treylerler, ağır vasıta yük taşıma araçları olarak geçmekte ve dingil bölgesine düşen yük 27 ton olmaktadır. Binek araçlarla karşılaştırıldığında güç ihtiyacı çok daha fazladır. Bu sebeple treyler bataryalarında güç yoğunluğu öne çıkmaktadır. Taşınan yükün çeşitliliği (yanıcı ve patlayıcı maddeler olabilmektedir) ve yük taşıyan bu aracın sürekli hareket halinde olduğu düşünüldüğünde ise güvenlik ve ömür ön plana çıkmaktadır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda güvenlik, ömür ve güç yoğunluğu parametreleri ağır vasıta treyler uygulamaları için öne çıkan tasarım kriterleri olmuştur. Bu parametrelerle, Şekil 2’den de görüldüğü gibi öne çıkan LTO tip bataryalardır. Bu bataryalar diğer parametrelerindeki eksikliklerine rağmen tercih sebebi olmuştur. LTO tip bataryaların enerji yoğunluğunun düşük olması dezavantajıdır. Bu sebeple ihtiyaca uygun kapasiteyi karşılayabilmek için diğer tiplere kıyasla daha büyük hacim ve daha yüksek ağırlık getirmektedir. Fakat treyler için güvenlik ve ömür vazgeçilmezdir, treyler boyutları ve geometrik özellikleri sebebi bu dezavantajı tolere edebilmektedir. LTO tip bataryalar ilk satın alma maliyeti açısından diğer tiplere oranla maliyeti daha yüksek olsa da sonraki süreçte (kullanım sırasında) uzun ömrü ile oluşturacağı maliyetler yok denilebilecek seviyededir. Bu sebeple ağır vasıta ticari araç batarya uygulamalarında LTO tip bataryaların en avantajlı konumda olduğu görülmüştür.

Ağır vasıta bir çekici-treyler kombinasyonunda ortalama menzil beklentisi yapılan pazar araştırmalarına göre 300-600 km arasında değişmektedir. Bu değer aracın yüksüz, kısmi yüklü veya tam yüklü olması durumlarına göre değişkenlik göstermektedir. Ön tasarım çalışması olarak; başlangıç batarya kapasitesini belirlemek ve tamamen elektrikli araç (BEV) sınıfındaki çekici-treyler kombinasyonunda tam yükte yaklaşık 400 km menzile ulaşabilmek için yaklaşık bir hesaplama yapılmıştır.

1 litre dizel yakıt = 38 MJoule enerji = 10.6 kWh eşitliği ile, birim başına tüketilen içten yanmalı motorun yakıtı ve buna karşılık elektrik motorunun tükettiği enerji ifade edilmektedir. Bu değer ideal durum için verilmiştir. İçten yanmalı motor verimi ve elektrik motor verimi gerçekte aynı değildir. İçten yanmalı motorun verimi elektrik motorlarına göre düşüktür. Bu sebeple içten yanmalı motorun tükettiği 1 litre dizel yakıt, gerçekte elektrik motorunun 2.7 kWh’lık enerji tüketimine eşit olmaktadır. Bu bilgi daha önce yapılan testlerden ortalama olarak elde edilmiştir. Bir treylerin 100 km menzilde ortalama 36 litre yakıt tüketmektedir. Bu durumda ortalama 500

km’de 180 litre yakıt tüketecektir. Bu da kWh biriminde, enerji tüketimi olarak 486 kWh’a karşılık gelmektedir. Bu kapsamda çekici-treyler kombinasyonunda başlangıçta 500 kWh olarak batarya kapasitesi belirlenmiştir. Çekici ve treyler birbirine bağlanarak giden sistemler olduğu için çekicinin de çekme kuvveti hesaba katılmaktadır. Belirlenen 500 kWh enerji kapasitesi, 39 ton yük çekme kapasitesine sahip bir çekici treyler kombinasyonuna aittir. Burada treyler aksları üzerine düşen yük 27 ton olmaktadır. Çalışmada işbirliği yapılan çekici 336 kWh bataryaya sahip ve tahriksiz bir treyler ile 39 ton yükte 220 km menzile sahiptir. Bu bilgi çekicinin treyler tahriği olmadan yapılan test verilerinden elde edilmiştir. Treylerin bir aksı tahrikli hale getirildiğinde sürüş için ihtiyaç olan enerji çekici araç ile paylaşılmaktadır. Bu durumda çekici aracın menzili de artmaktadır. Tez çalışmasında, 213.6 kWh’lık bir treyler bataryası seçilerek simülasyonlar yapılmıştır. Çekici 336 kWh ve treyler 213.6 kWh olmak üzere sistemde toplamda 550 kWh kapasite bulunmaktadır. Bu hesaplardan yola çıkarak sistemin batarya kapasitesi modellenmiştir. Optimum sonuç için modelden elde edilen çıktılar doğrultusunda gerekli ise revize edilecektir. Şekil 3’de oluşturulan dinamik bir batarya modeli verilmiştir.



Şekil 3. Batarya Modeli

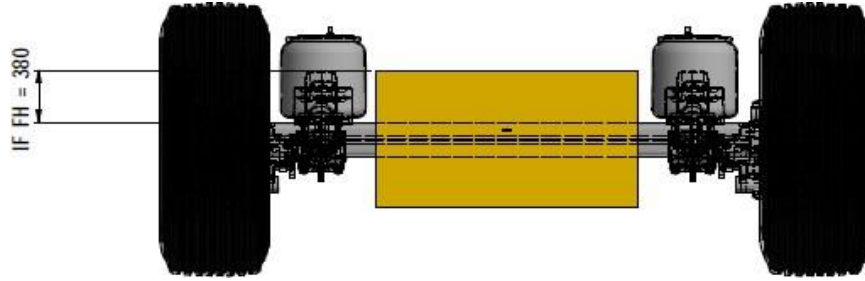
Bu modelde bataryanın diğer sistemler ile ilişkisini sağlayan akım ve gerilimdir. Sistemde anlık akım ve gerilim bilgisi okunarak dinamik modele girdi sağlanmaktadır. Bu sayede şarjdeşarj durumları dinamik olarak takip edilebilmektedir. Dışarıdan modele etken parametre olarak dış ortam sıcaklık bilgisi alınmaktadır. Ortam sıcaklığı bataryaya olan etkilerini incelemek için verilen, bir parametredir. Modelden çıktı olarak ise ölçüm sonuçları elde edilmektedir. Akım, voltaj ve batarya şarj durumu (SOC) bilgisi ölçümler sonucu elde edilen çıktılarıdır.

Elektrik motoru; elektrik enerjisini mekanik enerjiye (dönme kuvveti) dönüştüren bir aygıttır. Günümüzde elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motor türleri incelendiğinde 4 çeşit motor öne çıkmaktadır. Bunlar doğru akım (DC) motorları, asenkron motorlar (IM), sürekli mıknatıslı senkron motorlar (SMSM) ve anahtarlama relüktans motorlarıdır (ARM). Tablo 1’de elektrikli araçlarda kullanılan motorların tipine göre karakteristik davranışları, dereceleri ile birlikte verilmiştir [4].

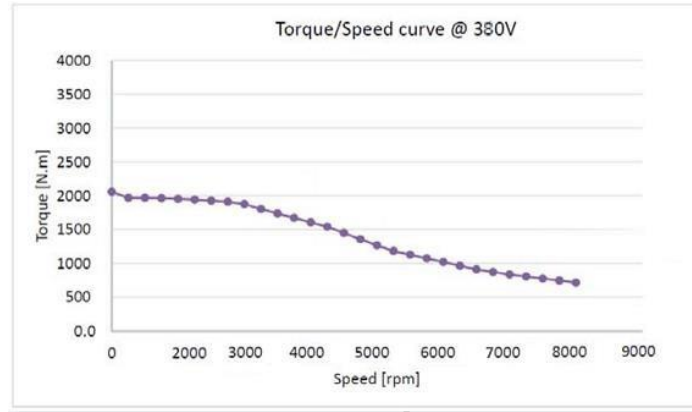
**Tablo 1.** Elektrikli Araç Motorlarının Karşılaştırılması.

|                              | DAM | ASM | SMSM | ARM |
|------------------------------|-----|-----|------|-----|
| <b>Güç Yoğunluğu</b>         | 2,5 | 3,5 | 5    | 3,5 |
| <b>Verimlilik</b>            | 2,5 | 3,5 | 5    | 3,5 |
| <b>Kontrol Edilebilirlik</b> | 5   | 5   | 4    | 3   |
| <b>Güvenilirlik</b>          | 3   | 5   | 4    | 5   |
| <b>Teknolojik Gelişimi</b>   | 5   | 5   | 4    | 4   |
| <b>Maliyeti</b>              | 4   | 5   | 3    | 4   |

Treylerde tam yüklü bir araçta dingil bölgesine düşen yük 27 tondur. Ağır vasıta ticari araçlarda kullanılan elektrik motor türleri incelendiğinde asenkron motor ve sürekli mıknatıslı senkron motor türlerinin kullanıldığı görülmüştür. Literatürde yapılan araştırmalar göz önünde bulundurulduğunda güç yoğunluğu ve verimlilik sürekli mıknatıslı senkron motorlarda daha yüksektir. Kontrol edilebilirlik, güvenilirlik, maliyet açısından bakıldığında ise asenkron motorlar ön plana çıkmıştır. Çalışmadaki treylerde bataryaların büyük hacim kaplamasından kaynaklı, kısıtlı bir alan kalmaktadır. Alanı verimli kullanmak ve aynı zamanda güç aktarma organını ortadan kaldırarak sistemin verimliliğini artırmak için kullanılan motor, treyler aksı üzerinde entegre şekilde tasarlanmıştır. Bu bölgede aks-şasi arasındaki mesafe kısıtlı olduğundan kullanılan motor boyutu da önemli olmuştur. Bu ağır ticari aracın yükü, yükün taşınacağı koşullar ve buna bağlı olarak yüksek güç ihtiyacı ile birlikte motor boyutunun kısıtı güç yoğunluğu ve verimliliği yüksek bir motor seçimi gerektirmiştir. Bu sebeple çalışmada sürekli mıknatıslı senkron bir motor (SMSM) kullanılmıştır. Çalışmadaki modelde motor ile tekerlekler arasındaki redüksiyonu sağlayan tek aktarma elemanı redüksiyon dişlisi ve diferansiyeldir.

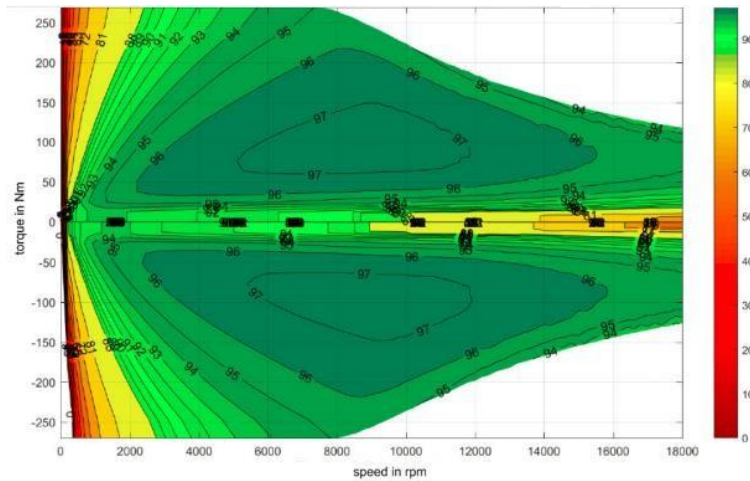
**Şekil 4.** Motor Yerleşim Bölgesi

Çalışmada motorun kapasitesi VECTO programının sağladığı arayüz üzerinden hesaplanmıştır. Aracın karakteristik özelliklerine göre uygun motor kapasitesi ve sürekli durumdaki devir-tork eğrisi elde edilmiştir (Şekil 5). Bu kapsamda uygun motor seçimi yapılmıştır. Kullanılan elektrik motoru aksın merkezine yerleştirilmiş 1 adet 320 kW'lık SMSM motordur.



Şekil 5. Motor Devir-Tork Eğrisi

Güç aktarma sistemi; aracın motorundan elde edilen hareket enerjisinin, tekerleklere iletilmesini sağlamaktadır [5]. Çalışmada, motor ile tekerlekler arasındaki tek aktarma elemanı, redüksiyon dişlisi ve diferansiyeldir. Diferansiyel, iki tekerlek arasındaki devir dengesini sağlayan parçadır. Redüksiyon dişlisi ise motorun çıkış hızını azaltmak için kullanılan mekanik sistemdir. Motorun çıkış hızını azaltarak, milin çıkış torkunu arttırmaktadır. Böylece sürüş için tekerleklere iletilen açısal hız elde edilmektedir.



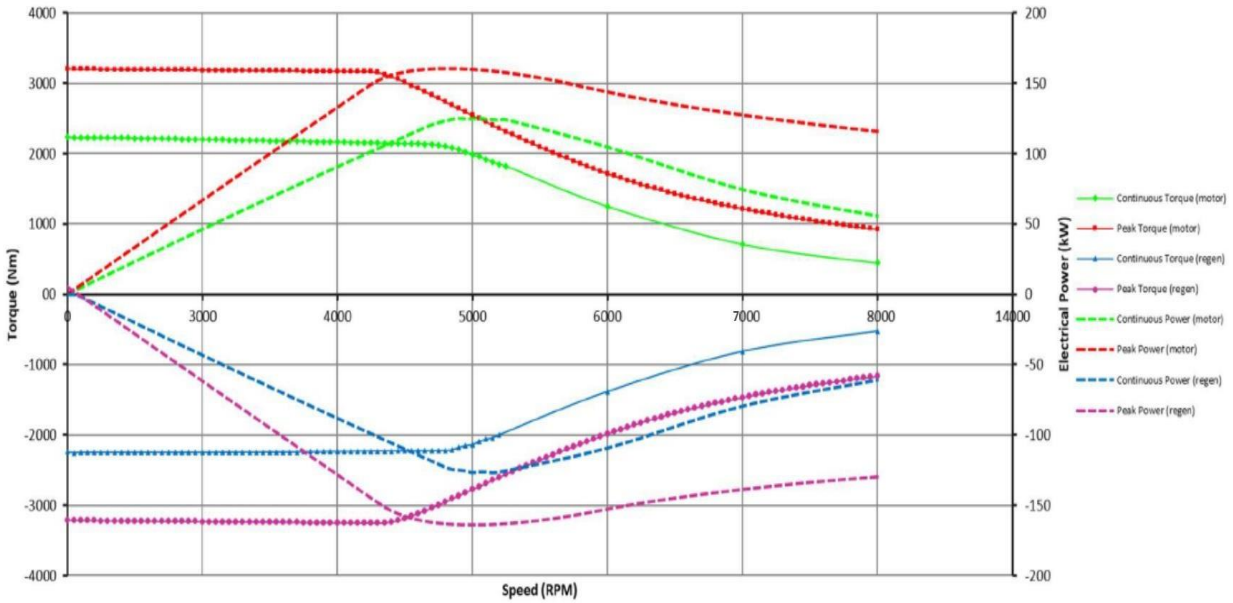
Şekil 6. Motorun Verim Haritası

Aksın en verimli dişli oranı yine VECTO program arayüzü ile elde edilmiştir. Başlangıçta programa göre 1:14,7 olarak elde edilen dişli oranı, verim haritasına göre motordan daha yüksek verim elde edebilmek için 1:16 olarak belirlenmiştir. Fakat bu durumda YNFT'nin hızı yaklaşık 10 km/sa kısıtlanmıştır. Şekil 6'da SMSM motorun verim haritası verilmiştir.

Rejeneratif frenleme; elektrik motorunun frenlemeler sırasında jeneratör olarak hareket ederek yolda ısıya dönüşerek kaybolan kinetik enerjiyi, tekrar elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir [6]. YNFT'de frenleme iki şekilde sağlanmaktadır. Bunların ilki treylerin yavaşlama durumudur, geleneksel adıyla sürüş boyunca yapılan frenlemelerdir. Bunlar, sürtünme prensibi ile çalışan disk

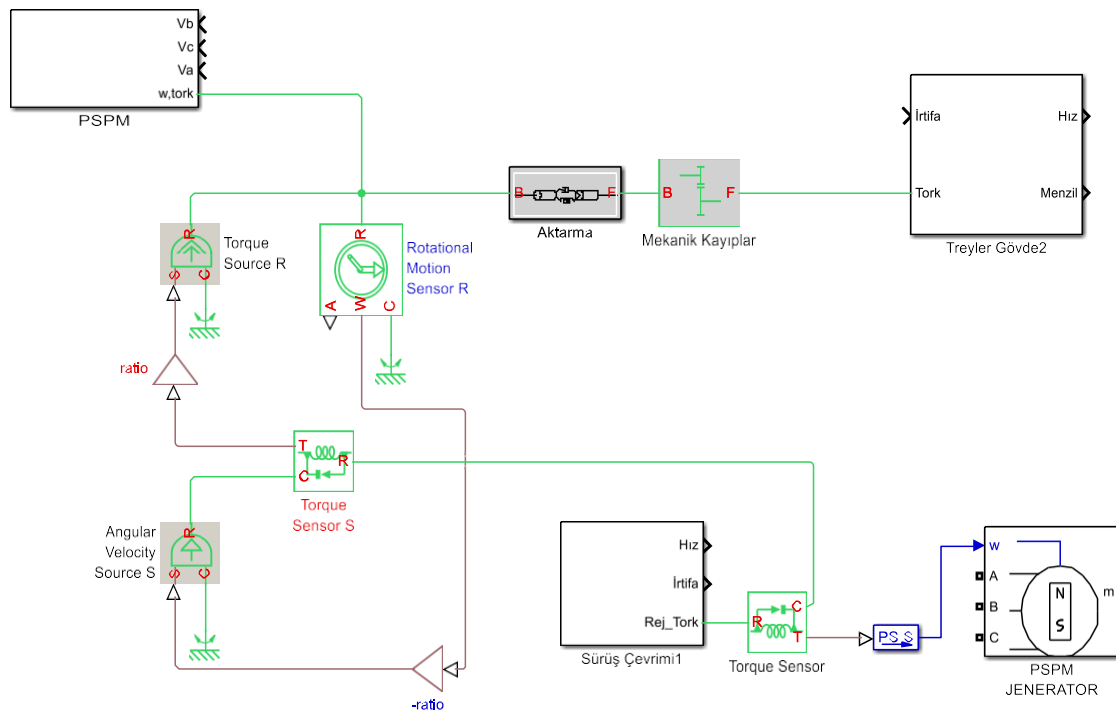
veya kampanalı sistemlerdir. Diğer bir durum ise; yokuş aşağı sabit hızlı hareket veya düşük ivmeli frenlemelerdir, bunun da geleneksel adı retarder (ikincil frenleme) olarak geçmektedir. Retarder, ağırlıklı olarak kamyon, treyler ve otobüs gibi ağır vasıtalarda tercih edilen hız kesici bir frenleme mekanizmasıdır. Retarderin aracı durdurmak gibi bir fonksiyonu bulunmamaktadır, yalnızca aracı yavaşlatmaktadır. Literatürde bazı kaynaklarda ikincil motor freni de retarder olarak adlandırılabilir.

Rejeneratif frenleme sisteminin verimliliği; aracın sürüş koşullarına, yük durumuna, motorun rejeneratif durumdaki verimliliğine ve aracın kayıplarına bağlıdır. Bu nedenle sistem genellikle %60-%70 oranında verimli olma eğilimindedir. Öncelikle seçilen motorun rejeneratif frenleme durumundaki karakteristiği incelenmiştir (Şekil 7). Buradan seçilen motorun rejeneratif durumda, motor durumundaki gibi verimliliğinin yüksek olduğu görülmektedir.



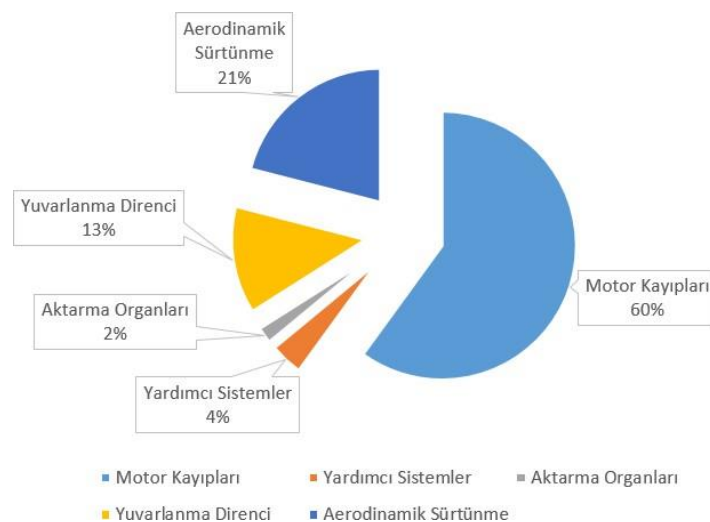
Şekil 7. Motorun Rejeneratif Durumdaki Karakteristiği

Rejeneratif frenlemedeki %70 verimlilik, menzili %70 arttıracak anlamına gelmemektedir. Frenleme sırasında kaybedilen kinetik enerjinin %70'inin tekrar hızlanmaya dönüşme potansiyeli olduğu anlamına gelmektedir. Bu oranın elektrik enerjisine dönüşümü ve menzile etkisi daha düşük olmaktadır. Şekil 8'de motorun rejeneratif frenleme durumundaki modeli verilmiştir. Burada elektrik motoru hem motor hem de rejeneratif durumda jeneratör gibi davranmaktadır.



**Şekil 8. Motorun Rejeneratif Durumdaki Modeli**

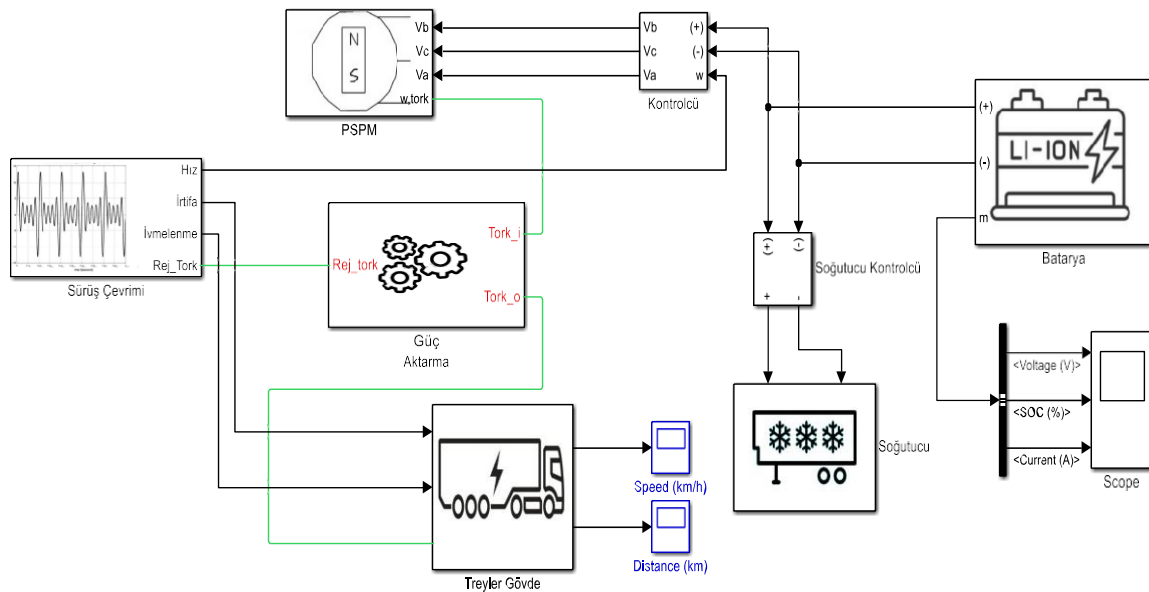
YNFT'ye etki eden direnç kayıpları; aracın hareket edebilmesi için motorundan elde edilen güce zıt yönde oluşan direnç kuvvetlerini ifade etmektedir. Sürüş sırasında oluşan tüm bu direnç kuvvetleri motor gücünden çıkartıldığında ise aracın tahrik kuvveti elde edilmektedir. Bununla birlikte motorun ve aktarma sistemlerinin kendi iç kayıpları vardır. Bu kayıplarda hesaplamalara dahil edilmektedir. Sürüş sırasında optimum verimlilik elde etmek için kayıplar minimuma indirilmelidir [7]. Şekil 9'da Treylere etki eden kayıpların dağılımı verilmiştir.



### Şekil 9. Treylere Etki Eden Kayıplar

Motor ve aktarma organı kayıpları, tedarikçinin paylaştığı verilerden, modele kazanç katsayısı (verimlilik) olarak girilmiştir. Kullanılan SMSM, IE4 sınıfı, yüksek verimlilikte çalışan bir motordur, verimi %97'dir. YNFT'de motor, aksa entegre kullanıldığından vites kutusu, debriyaj gibi aktarma organları yoktur. Motor ve tekerlekler arasında yalnızca diferansiyel ve redüksiyon dişlisi bulunmaktadır, bu nedenle daha verimlidir. Çalışmada, güç aktarma sistemi olarak verimi %95 olarak alınmıştır. YNFT'nin aerodinamik, ivmelenme, yuvarlanma ve eğim dirençlerinin ise matematiksel modeli bulunmaktadır. Bu kayıplar sonuç modeline dahil edilmiştir.

Çalışmada sistem bileşenlerinin ve aracın parametreleri doğrultusunda, aracın sürüş simülasyonlarını gerçekleştirmek için nihai bir YNFT modeli oluşturulmuştur. Şekil 11’de YNFT modeli görülmektedir.



### Şekil 11. Sonuç Treyler Modeli

### 3. Tartışma ve Sonuç

Elde edilen sonuçlarda boş ve dolu YNFT karşılaştırmasında yükün enerji tüketimini arttırdığı görülmüştür. Ancak bu artış lineer bir artış değildir. Bu sebeple faydalı yük miktarı arttıkça bunun birim kg başına harcanacak enerjiyi azalttığı açıkça görülmüştür. Yükün bir diğer etkisi de enerji geri kazanımına olan etkisidir. Yük miktarı arttıkça kazanılabilecek olan kinetik enerji miktarı lineer olarak artmaktadır, ancak kazanılan enerji miktarı ise lineer olarak artmamaktadır. Yük miktarı arttıkça kayıplar artacağı için kazanılan enerji miktarı düşmektedir. Sürüş güzergahı incelendiğinde boş YNFT için güzergahın, dolu YNFT'ye göre daha az etkili olduğu görülmüştür. Dolu YNFT'de enerji geri kazanım miktarı düştüğü için şehir içi sürüşlerde ortalama menzil hedefi düşmektedir. Şehir içi sürüşlerde özellikle trafiğin yoğun olduğu durumlarda yüklü YNFT için

verimlilik çok daha düşük olacaktır. Otoban ve şehirler arası gibi frenlemenin daha az olduğu sürüşler yüklü YNFT için daha verimli olmuştur. Sonuç olarak sürüş çevrimleri boyunca farklı sürüş durumlarında 213.6 kWh YNFT batarya paketi ile 361 km ile 592 km arasında farklı menzile sonuçları elde edilmiştir. YNFT'nin temel kullanım amacının dolu (yüklü) kullanılmak üzere olduğu düşünüldüğünde gerçekçi değerler 361 km ile 413 km arasındadır. Sıcaklığın artmasının ve azalmasının menzile düşürücü yönde etki ettiği görülmüştür. (Bataryaların sağlığı ve verimliliği açısından üretici verilerinin belitmiş olduğu ideal sıcaklıklarda tutulması gerekmektedir. Sıcaklık ile menzilde etken olan düşmenin bir kısmı, ortam koşullarına bağlı olarak ısıtma ve soğutma ihtiyacından kaynaklı aksesuar yüklerinin tüketimine de bağlı olmaktadır. Batarya kapasitesinin artması ek olarak hacim, ağırlık ve maliyet getirmektedir. Bu nedenle optimum verimde seçim yapılmalıdır.

## Referanslar

- [1] “The European Green Deal” Erişim: 09.09.2024. [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
- [2] “Treyler Ar-Ge Merkezi” Erişim: 01.09.2024 <https://tirsan.com.tr/urunler>
- [3] Gemici, S. S. (2006) Elektrikli Ulaşım Sistemlerinde Enerji Depolama Yöntemlerinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Başer, E. (2016). Elektrikli Araçlarda Yol Koşullarına Uygun Motor Seçimi Algoritması Geliştirme. (Yüksek Lisans Tezi). Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- [5] Vatan, O. (2011). Modelling And Simulation Of Longitudinal Dynamics Of Electric Vehicles. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Technical University, Institute Of Science And Technology, Mechanical Engineering Programme Of Automotive, İstanbul.
- [6] Şahin, Y., Güneş, U., Umman, F., Ceceloğlu, A. C., Güner, H. E., Ertunç, H. M. (2015). Bulanık Mantık Kontrollü Rejeneratif Frenleme Sistemi. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK'2015, 10-12 Eylül 2015, Denizli.
- [7] Çetinkaya S. (2017). Taşıt Mekaniği, Nobel Akademik Yayıncılık, 8. Basım.