

**HAFİF ELEKTRİK Lİ ARAÇLARDA SÜREKLİ DEĞİŞKEN ORANLI
ŞANZİMAN KULLANILARAK MENZİL VE PERFORMANSIN
ARTIRILMASI**

A. TALHA CAMCI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİKRO VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI**

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2013
ANKARA**

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr. Necip CAMUŐCU
Müdü

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığımı onaylarım.

Prof. Dr. Turgut BAŐTUĐ
Anabilim Dalı Başkanı

A. Talha Camcı tarafından hazırlanan HAFİF ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA SÜREKLİ DEĞİŞKEN ORANLI ŞANZIMAN KULLANILARAK MENZİL VE PERFORMANSIN ARTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet Ali GÜLER
Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan: Prof. Dr. Turgut BAŐTUĐ

Üye : Doç. Dr. Mehmet Ali GÜLER

Üye : Dr. Ahmet Nuri AKAY

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

A. Talha CAMCI

Üniversitesi	: TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Enstitüsü	: Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	: Mikro ve Nanoteknoloji
Tez Danışmanı	: Doç. Dr. Mehmet Ali GÜLER
Tez Türü ve Tarihi	: Yüksek Lisans – Aralık 2013

A. TALHA CAMCI

HAFİF ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA SÜREKLİ DEĞİŞKEN ORANLI
ŞANZİMAN KULLANILARAK MENZİL VE PERFORMANSIN
ARTIRILMASI

ÖZET

Elektrik motorlarının düzenli tork-hız karakteristiğinden dolayı araç üreticileri henüz piyasada sayıları oldukça az olan elektrikli binek araç modellerini şanzımsız tahrik sistemleri ile üretmektedir. Bu tez çalışmasında elektrik motorlarının çalışma yapısı üzerinde durulmuş ve şanzıman kullanılarak elektrikli araçların menzil ve performansının nasıl artırılacağı araştırılmıştır. Elektrik motorlarının genellikle nominal çalışma bölgelerinde hıza karşı sabit tork karakteristiğine sahip olmalarına rağmen, çalışma devri ve yükleme miktarına göre farklı verimlerde çalışıyor olmaları nedeniyle şanzıman sayesinde motorun sürekli olarak en verimli çalışma bölgelerinde çalıştırılması, araçta talep edilecek olan hız değişimlerinin ise yine şanzıman ile sağlanması düşüncesi üretilmiştir. Buradan yola çıkılarak, motoru istenen devirde tutma işlevini hassas bir şekilde yerine getirebilen kompakt ve hafif bir sürekli değişken oranlı şanzımana sahip elektrikli bir go-kart aracı üretilmiştir. Aracın tahrik sistemi bileşenlerinin teknik verileri kullanılarak tahrik sisteminin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Hesaplamalar sonucunda hareket aktarma elemanlarının tasarımı, üretimi ve araca montajı gerçekleştirilmiştir. Yol testlerinin birinci bölümünde şanzıman aktarma oranının sabit tutulduğu testler yapılmış ve menzil ile performans bakımından en iyi sonuçları veren aktarma oranı tespit edilmiştir. Kullanılan şanzımanın araç hızına göre aktarma oranını istenen ölçüde değiştirebilecek şekilde programlanabilir nitelikte olması sayesinde, yol testlerinin ikinci bölümünde birinci bölümde edinilen bilgiler ışığında otomatik vites değiştirme programları hazırlanmış ve uygulanmıştır. Sürekli değişken oranlı olarak programlanan şanzımanın araç menzil ve performansının her ikisinde birden iyileşme sağladığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Hafif elektrikli araçlar, sürekli değişken oranlı şanzıman, menzil, go-kart.

University : TOBB University of Economics and Technology
Institute : Institute of Natural and Applied Sciences
Science Programme : Micro and Nanotechnology
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mehmet Ali GÜLER
Degree Awarded and Date : M.Sc. – December 2013

A. TALHA CAMCI

**IMPROVEMENTS ON THE RANGE AND THE PERFORMANCE OF A
LIGHT ELECTRIC VEHICLE BY MAKING USE OF A CONTINUOUSLY
VARIABLE TRANSMISSION**

ABSTRACT

Due to the regular torque-speed characteristics of electric motors, most vehicle manufacturers are producing their electric vehicle models with powertrains without transmissions. In this thesis work, the operating characteristics of electric motors were studied to find out how the range and performance of electric vehicles can be extended. Although most electric motors produce constant torque output versus speed in nominal operating regions and since their efficiency depends on their speed and loading conditions, it was intended to operate the motor in its most efficient regions and broaden the vehicle's speed range by making use of a transmission. Based on this motivation, it was concluded that the continuously variable transmission was the most suitable type for this kind of a light vehicle application, instead of manual and automatic gearboxes. An electric go-kart with a continuously variable transmission in its powertrain was built. Using the technical data of the powertrain components, a mathematical powertrain model was developed. Following the calculations, the interconnecting machine parts were designed, manufactured, and assembled onto the vehicle. In each of the road tests at the first section, the transmission ratio was set to different constant values. An optimum transmission ratio providing the highest range and performance results was found. At the second section of road tests, since the transmission unit is programmable in order to provide the desired transmission ratio for the predefined vehicle speeds, shifting schedules were prepared in the light of the experience gained at the first section of road tests. Running the vehicle with the prepared automatic shifting schedules, improvements in both the range and the performance were obtained.

Key words: Light electric vehicles, continuously variable transmission, range, go-kart.

TEŞEKKÜR

Büyük fedakarlıklar ederek benimle birlikte bir elektrikli araç inşa etme girişimini yapan sevgili dostlarım ve dönem arkadaşlarım Burak Üstündağ, Halim Sertbaş ve Şahin Doğan'a,

İmalat ve test aşamalarında bu çalışmaya değerli katkıları yapmış olan lisans bitirme projesi öğrencilerim Furkan Solak, Abdulkadir Ersoy, Yasin Kavak ve Oğuzhan Yenihan'a,

Sözü geçen bitirme projesinin yapılmasına imkan sağlayarak çalışmalarımızı hızlandıran ve tez danışmanlığımı üstlenen değerli hocam Doç. Dr. Mehmet Ali Güler'e ve tez konumu yeniden belirlediğim dönemde bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Turgut Baştuğ'a,

Verdiği her türlü destekle ve varlığıyla bu çalışmayı tamamlamaktaki motivasyonumun en büyük mimarlarından olan kıymetli hocam Dr. Ahmet Nuri Akay'a,

Hayatta kayıplar yaşamak pahasına ilkelerimi korumayı tercih ettiğim zamanlarda beni anlayan ve zor günlerimde beni destekleyen sevgili babam Prof. Dr. Ömer Camcı'ya ve aileme,

Teşekkürlerimle.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
KISALTMALAR	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ARAÇ TAHRİK SİSTEMİ TASARIMI.....	6
2.1. TAHRİK SİSTEMİ BİLEŞENLERİ.....	7
2.1.1. Batarya.....	11
2.1.2. Elektrik Motoru.....	11
2.1.3. Sürekli Değişken Oranlı Şanzıman.....	15
2.2 TAHRİK SİSTEMİ HESAPLAMALARI.....	21
3. YOL TESTLERİ, SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	27
3.1. SABİT ŞANZIMAN AKTARMA ORANLARI İLE YAPILAN YOL TESTLERİ.....	30
3.1.1. Birinci Yol Testi: 1,00 Sabit Şanzıman Aktarma Oranı.....	31
3.1.2. İkinci Yol Testi: 1,25 Sabit Şanzıman Aktarma Oranı.....	33
3.1.3. Üçüncü Yol Testi: 1,50 Sabit Şanzıman Aktarma Oranı.....	36
3.1.4. Dördüncü Yol Testi: 1,75 Sabit Şanzıman Aktarma Oranı.....	39
3.2. DEĞİŞKEN ŞANZIMAN ORANLARI İLE YAPILAN YOL TESTLERİ.....	45
3.2.1. Beşinci Yol Testi: Kademeli Otomatik Şanzıman Programı... 51	
3.2.2. Altıncı Yol Testi: Sürekli Değişken Oranlı Otomatik Şanzıman Programı.....	55
4. DEĞERLENDİRME.....	60
KAYNAKLAR.....	62
EKLER.....	64

EK-1: Tasarlanan motor ile şanzıman braketleri ve dişlilerin teknik Resimleri.....	64
EK-2: Aracın otomatik vites değiştirme programı ile çalışması esnasında toplanan veri seti rneği.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 2.1. Kullanılan elektrik motorunun teknik özellikleri

Çizelge 2.1. Sabit şanzıman oranları kullanılarak yapılacak yol testlerinde ortaya çıkacak olan araç hızı ve tahrik sistemi elemanları devir hızlarının hesaplanmış değerleri

Çizelge 2.3. Sabit şanzıman aktarma oranları kullanılarak yapılacak yol testlerinde ortaya çıkacak olan araç ivmesi ve tahrik sistemi elemanları torklarının hesaplanmış değerleri

Çizelge 3.1. Birinci yol testi için menzil ve performans verileri.

Çizelge 3.2. İkinci yol testi için menzil ve performans verileri.

Çizelge 3.3. Üçüncü yol testi için menzil ve performans verileri.

Çizelge 3.4. Dördüncü yol testi için menzil ve performans verileri.

Çizelge 3.5. Sabit şanzıman aktarma oranları ile gerçekleştirilen testlerde elde edilen menzil ve ortalama araç hızı değerleri

Çizelge 3.6. Araç için hazırlanan ve şanzıman kontrolörüne yüklenen konfigürasyon çizelgesi.

Çizelge 3.7. Beşinci yol testi için menzil ve performans verileri.

Çizelge 3.8. Altıncı yol testi için menzil ve performans verileri.

Çizelge 3.9. Tüm yol testlerinde elde edilen menzil ve ortalama hız değerleri.

Çizelge 2.A. Aracın arka tekerlekleri havaya kaldırılmış iken kademeli vites değiştirme programı ile aracın 3 saniye içinde durağan halden en yüksek hıza çıkana dek okunan mevcut vites pozisyonu, hedef vites pozisyonu ve çizgisel hızının zamanla değişimi.

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

- Şekil 2.1. İçten yanmalı motora sahip olan bir aracın tahrik sisteminin temel bileşenleri.
- Şekil 2.2. Batarya güçlü elektrikli bir aracın tahrik sisteminin temel bileşenleri.
- Şekil 2.3. Yakıt pilli elektrikli bir aracın tahrik sisteminin temel bileşenleri.
- Şekil 2.4. Üretilen aracın önden görünümü.
- Şekil 2.5. Üretilen aracın arkadan görünümü.
- Şekil 2.6. Tahrik sisteminin önden görünümü.
- Şekil 2.7. Tahrik sistemi bileşenlerinin arkadan görünümü.
- Şekil 2.8. Araç tahrik sistemi bileşenlerinin ayrıntılı şema gösterimi.
- Şekil 2.9. 12 V voltaj ve 44 Ah kapasite değerine sahip jel akü [14].
- Şekil 2.10. Kullanılan 4 kW gücündeki fırçalı tip kalıcı mıknatıslı doğru akım motoru.
- Şekil 2.11. Motor sürücüsü [18].
- Şekil 2.12. Motorun torka karşı hız diyagramı.
- Şekil 2.13. Motorun torka karşı akım diyagramı.
- Şekil 2.14. Motorun nominal çalışma noktası öncesindeki torka karşı güç diyagramı.
- Şekil 2.15. Motorun torka karşı verim diyagramı.
- Şekil 2.16. Bir binek araca ait bir CVT şanzıman [20]
- Şekil 2.17. CVP şanzımanın iç yapısı [21].
- Şekil 2.18. CVP şanzımanın aktarma oranını değiştirme mekanizması [22].
- Şekil 2.19. Sürekli değişken oranlı şanzıman sisteminin programlanma aşamaları.
- Şekil 2.20. Aracın çalışması esnasında şanzıman kontrolörü bilgisayara bağlandığında 20 ms'lik periyotlarla okunan parametreler.
- Şekil 3.1. Sabit şanzıman aktarma oranlarını ayarlamak için potansiyometreye tam basılarak şanzıman çıkış tekerleğinin devir hızı ölçülmüş, devir hızının olması gereken hıza eşitlenmesi için vites çubuğu elle ayarlanmıştır.
- Şekil 3.2. Yol testlerinin yapıldığı pist. Kırmızı nokta ile gösterilen konumlara trafik kukaları dizilmiştir. Araç çizgi ile gösterilen 75 m uzunluğundaki yörünge boyunca, büyük bölmeye göre saat yönünün tersinde turlamıştır.

Şekil 3.3. Birinci yol testinde iki bataryanın voltaj değerlerinin ortalamasının turlara göre değişimi.

Şekil 3.4. Birinci yol testinde araç hızının zamana göre değişimi. Sıfırdan farklı hız değerlerinden oluşan her veri seti 5 turluk sürüşleri ifade etmektedir. 5 turluk sürüşler arasında ara verilmiştir.

Şekil 3.5. İkinci yol testinde 5 turluk bir veri aralığında motor hızının zamana göre değişimi.

Şekil 3.6. İkinci yol testinde iki bataryanın voltaj değerlerinin ortalamasının turlara göre değişimi.

Şekil 3.7. İkinci yol testinde araç hızının zamana göre değişimi. Sıfırdan farklı hız değerlerinden oluşan her veri seti 5 turluk sürüşleri ifade etmektedir. 5 turluk sürüşler arasında ara verilmiştir.

Şekil 3.8. İkinci yol testinde 5 turluk bir veri aralığında motor hızının zamana göre değişimi.

Şekil 3.9. Üçüncü yol testinde iki bataryanın voltaj değerlerinin ortalamasının turlara göre değişimi.

Şekil 3.10. Üçüncü yol testinde araç hızının zamana göre değişimi. Sıfırdan farklı hız değerlerinden oluşan her veri seti 5 turluk sürüşleri ifade etmektedir. 5 turluk sürüşler arasında ara verilmiştir.

Şekil 3.11. Üçüncü yol testinde 5 turluk bir veri aralığında motor hızının zamana göre değişimi.

Şekil 3.12. Dördüncü yol testinde iki bataryanın voltaj değerlerinin ortalamasının turlara göre değişimi.

Şekil 3.13. Dördüncü yol testinde araç hızının zamana göre değişimi. Sıfırdan farklı hız değerlerinden oluşan her veri seti 5 turluk sürüşleri ifade etmektedir. 5 turluk sürüşler arasında ara verilmiştir.

Şekil 3.14. Dördüncü yol testinde 5 turluk bir veri aralığında motor hızının zamana göre değişimi.

Şekil 3.15. İlk dört yol testine ait menzil ve ortalama hız değerlerinin şanzıman aktarma oranına göre değişimi

Şekil 3.16. Uygulanan şanzıman programları sonucunda motor hızının araç hızına göre karşılaştırmalı değişimi.

Şekil 3.17. Uygulanan şanzıman programları sonucunda şanzıman vites pozisyonunun araç hızı ile karşılaştırmalı değişimi. Şanzıman kontrolörü araç hız bilgisini hız sensöründen alarak vites değiştirmektedir.

Şekil 3.18. Hız sensörü ve manyetik cıvatalar aks yerine şanzıman çıkış tekerleği eksenine üzerine yerleştirilmiştir.

Şekil 3.19. Kademeli programda şanzıman vites pozisyonunun araç hızı ile değişimi. Şanzıman kontrolörü araç hız bilgisini hız sensöründen alarak vites değiştirmektedir.

Şekil 3.20. Kademeli şanzıman programı sonucunda motor hızının araç hızına göre değişimi.

Şekil 3.21. Beşinci yol testinde iki bataryanın voltaj değerlerinin ortalamasının turlara göre değişimi.

Şekil 3.22. Beşinci yol testinde araç hızının zamana göre değişimi. Sıfırdan farklı hız değerlerinden oluşan her veri seti 5 turluk sürüşleri ifade etmektedir. 5 turluk sürüşler arasında ara verilmiştir.

Şekil 3.23. Sürekli değişken programda şanzıman vites pozisyonunun araç hızı ile değişimi. Şanzıman kontrolörü araç hız bilgisini hız sensöründen alarak vites değiştirmektedir.

Şekil 3.24. Kademeli şanzıman programı sonucunda motor hızının araç hızına göre değişimi.

Şekil 3.25. Beşinci yol testinde iki bataryanın voltaj değerlerinin ortalamasının turlara göre değişimi.

Şekil 3.26. Beşinci yol testinde araç hızının zamana göre değişimi. Sıfırdan farklı hız değerlerinden oluşan her veri seti 5 turluk sürüşleri ifade etmektedir. 5 turluk sürüşler arasında ara verilmiştir.

Şekil 1.A. Birinci şanzıman braketi

Şekil 1.B. İkinci şanzıman braketi

Şekil 1.C. Motor tablası

Şekil 1.D. Motor braketi

Şekil 1.E. Aks dişlisi

Şekil 1.F. Şanzıman giriş dişlisi

Şekil 1.G. Şanzıman çıkış dişlisi

KISALTMALAR

Kisaltmalar	Açıklama
CSV	Virgülle ayrılmış değerler dosya formatı
CVP	Sürekli değişken oranlı gezegensel
CVT	Sürekli değişken oranlı şanzıman
GPS	Küresel konumlama sistemi
MOSFET	Metal oksit yarıiletkenli alan etkili transistör
PWM	Darbe genişlik modülasyonu

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
C	Aerodinamik sürükleme katsayısı
i	Aktarma oranı
f	Yuvarlanma direnci katsayısı
F	Kuvvet
m	Kütle
n	Devir hızı
N	Dişli diş sayısı
P	Çevre
r	Yarıçap
R	Tepki kuvveti
S	Önden görünüşte araç kesit alanı
α	Tırmanma açısı
ϑ	Çizgisel hız
ω	Açısal hız
ρ	Yoğunluk
τ	Tork

Alt İndisler	Açıklama
ad	Aerodinamik sürükleme direnci
d	Sürükleme
g	Gerçek
h	Hayali
k	Kesit
$maks$	Maksimum
n	Dik
td	Tırmanma direnci
yd	Yuvarlanma direnci

1. GİRİŞ

Modern zamanda teknoloji alanında dünyada elde edilmiş en büyük başarılarından biri içten yanmalı motorların ve bu motorlar ile çalışan araçların geliştirilmesi olmuştur. Araçlar, gündelik hayattaki ulaşım ihtiyaçlarının büyük bir bölümünü karşılayarak modern toplumun ilerlemesine büyük katkıda bulunmuştur. Otomotiv sanayiinin hızlı gelişimi, insanların yaşam şeklinde diğer tüm sanayi alanlarındaki gelişmelere kıyasla çok daha kökten değişimler sağlamış, insan hayatını basitlikten gelişmişliğe doğru hızlı bir ilerleme süreci içerisine sokmuştur. Otomotiv sektörü ve otomotiv sektörünü besleyen ilgili sektörler, dünya ekonomisinin bel kemiğini oluşturmakta ve diğer tüm sektörlerle göre dünya genelinde daha fazla sayıda insana iş imkanı sağlamaktadır [1].

Fakat, dünyada kullanımda olan araçların büyük bir bölümü çevre ve insan hayatı için pek çok probleme neden olmuş ve olmaya devam etmektedir. Hava kirliliği, küresel ısınma ve Dünya'nın petrol kaynaklarının hızlı bir şekilde tüketilmesi günümüzün dünyasının en büyük problemleri arasındadır.

Geride kalan birkaç onyılıda ulaşım konusundaki araştırma ve geliştirme faaliyetleri yüksek verimli, temiz ve güvenli ulaşım üzerinde yoğunlaşmıştır. Batarya güçlü elektrikli araçlar, hibrit elektrikli araçlar ve yakıt pilli elektrikli araçların yakın gelecekte konvansiyonel içten yanmalı motora sahip araçların yerini alması önerilmiştir.

Elektrikli araçlar tahrik için bir elektrikli motor kullanırken, elektrik enerjisini sağlayan kaynak olarak kimyasal bataryalar, yakıt pilleri, ultrakapasitörler veya volanları kullanabilmektedirler. Elektrikli araçlar içten yanmalı motora sahip araçlara göre emisyon oluşturmama, yüksek verim, enerji yenilenebilir kaynaklardan sağlandığı sürece petrolden bağımsız olma ve sessiz ve titreşimsiz çalışma gibi önemli avantajlara sahiptir. Bu iki tip araç arasında yakıt tankı yerine batarya, içten yanmalı motor yerine elektrik motoru ve bunun sonucunda tahrik sisteminde farklı yapı ve özellikte aktarma elemanlarının kullanımı söz konusu olmaktadır.

Bu araçların karşılaştırılması esnasında enerji tüketim miktarları ve maliyetleri en önemli karşılaştırma konusu olmaktadır. Bu nedenle enerji tüketim ölçütleri ve kullanılan birimlerin açık bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Ulaşımında enerji kavramı genellikle J veya kJ yerine kWh biriminde ifade edilir. Bir aracın enerji tüketim miktarını hesaplamak için genellikle, kWh/km birimindeki, alınan birim yoldaki enerji tüketim değeri kullanılır. İçten yanmalı motorlu araçlarda ise enerji tüketim miktarı genellikle, $l/100 km$ gibi, alınan birim yolda tüketilen yakıt hacmi ile ölçülmektedir. Buna karşın elektrikli araçlarda kullanılan en temel enerji birimi, batarya uçlarından ölçülen kWh 'tir. Alınan birim yolda tüketilen enerji miktarı tespit edildikten sonra, her batarya şarj çevriminde elde edilecek olan menzil kolaylıkla hesaplanabilir. Hidrojen gibi sıvı veya gaz halde yakıt kullanan araçlarda ise, petrol kullanan konvansiyonel araçlarda olduğu gibi, yakıt tüketiminin $l/100 km$ veya $kg/100 km$ birimleri ile ölçülmesi uygundur.

Elektrik makinalarının jeneratör şeklinde de çalışma kabiliyeti sayesinde, konvansiyonel araçlarda ısıya dönüşmesi nedeniyle kullanılamayan fren enerjisi elektrikli araçlarda enerji kaynaklarına tekrar aktarılabilir ve motorda tork üretmek için tekrar kullanılabilir.

Fiziksel olarak güç, açısal hız ve torkun çarpımıdır. Değişken hızlı elektrik motorlarının hız-tork karakteristiği incelendiğinde, hızın sıfırdan anma gücü değerine kadar artması sırasında torkun sabit kaldığı görülür. Anma gücünden sonra ise hız artarken güç sabit kalacak şekilde tork azalır. Fakat motorun çalışma verimi hıza karşı sabit kalmaz. Bu nedenle belirli hız-tork bölgelerinde belirli verimler ortaya çıkar. Aracın ve tahrik sisteminin tasarımında enerji verimliliği adına dikkate alınması gereken en önemli nokta, aracın motorunun hız-tork eğrisi üzerindeki en yoğun çalışma bölgelerinden en fazla miktarda faydalanılması olmalıdır. Bunun için, tasarlanan aracın sürüş çevrimlerinin iyi belirlenmesinin ardından tahrik sistemi elemanlarının çalışma karakteristiklerinin ayrıntılı bir şekilde hesaplanarak ve analiz edilerek en verimli şekilde kullanılacak tahrik sistemi elemanlarının tasarlanması gerekir.

Bu tez çalışmasında üzerinde durulmuş olan hafif elektrikli araçlar kategorisindeki golf araçları, motosikletler ve hafif binek araçlar üzerinde doğru akım makinaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğru akım makinaları, kolay kontrol edilebilme ve yüksek performansa sahip olma gibi önemli üstünlüklerinin yanında, kollektör ve fırçalarından kaynaklanan mekanik arıza ve periyodik bakım gibi bazı istenmeyen zayıf yönlere de sahiptirler. Mikroişlemci ve güç elektroniğindeki hızlı gelişmeler, artık kontrolü karmaşık olan fırçasız tip makinaların kontrolünü mümkün hale getirmiş ve bunun sonucunda doğru akım makinaları alternatif akım makinalarına karşı ciddi bir alternatif teşkil etmeye başlamıştır.

Son zamanlarda kalıcı mıknatıs malzemelerde sağlanan ilerlemeler küçük güç uygulamalarında kalıcı mıknatısın doğru akım makinalarında kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Klasik doğru akım makinalarında kutupların uyarımı, kutuplar üzerine sarılan sargıların bir doğru akım kaynağı tarafından beslenmesi ile sağlanmaktadır. Sargı yerine kalıcı mıknatıs kullanılarak motor hacmi küçültülmekte ve uyarım kaynağına gerek kalmamaktadır. Bu çalışma kapsamında kullanılan motor da kalıcı mıknatıslı bir doğru akım motordur.

Istardi, çalışmasında [2] elektrikli bir go-kart aracının matematiksel bir simülasyon modelini oluşturmuş ve bu modelde bir dişli kutusuna da yer vermiştir. Fakat dişli kutusunun simülasyon modelindeki ayrıntılarını açıklamamış ve dişli kutusu kullanımının elektrikli araç tahrik sisteminde meydana getirdiği etkileri incelememiştir. Ayrıca oluşturduğu matematiksel modeli bir araç üzerinde yol testleri ile doğrulamamıştır.

Istardi, bir başka çalışmasında [3] elektrikli go-kart simülasyonunda bir dişli kutusuna yer vermiş ve motoru verimli bölgelerinde çalıştırmak için dişli kutusunun kullanılması gerektiğini savunmuştur. Fakat bu tezini destekleyecek karşılaştırmalı simülasyon veya test sonuçları vermemiştir.

Grunditz ve Jansson, çalışmalarında [4] sonradan üretilecek elektrikli bir go-kart aracı için bileşenlerin seçilmesine yardımcı olacak bir matematiksel simülasyon

modeli geliştirmiş, fakat modellerinde şanzıman kullanımına yer vermemiş ve simülasyon sonuçlarını mevcut bir gerçek sistem üzerinde test ederek doğrulamamışlardır.

Neudorfer, çalışmasında [5] farklı verim karakteristiklerine sahip üç farklı tipte yüksek güçlü elektrik motoru ile üretilmiş aynı modeldeki üç farklı go-kart aracının matematiksel modellerini geliştirmiş yol testleri gerçekleştirerek modellerde kullandığı yaklaşımların doğruluğunu da sınamıştır. Farklı motor tiplerinin performansa etkisini araştıran Neudorfer, tüm araçlarda aynı tip dişli kutusunu kullanmış ve dişli kutusunun performansa olan etkisini araştırmamıştır.

Holmes, çalışmasında [6] jeneratör görevi de görerek geri kazanımlı fren yapma özelliğine sahip bir tür sürekli değişken şanzıman olan elektrikli değişken şanzımanı konvansiyonel bir araçta modellemiş ve bu modeli paralel hibrit bir araç ile konvansiyonel içten yanmalı motorlu araç modelleri ile karşılaştırarak yakıt tüketiminde önemli avantajlar öngörmüştür. Fakat deneysel çalışma yapmamıştır.

Bowles ve arkadaşları, çalışmalarında [7] paralel hibrit bir elektrikli araçta CVT (Continuously Variable Transmission, Sürekli Değişken Oranlı şanzıman) kullanımı sonucunda meydana gelen yakıt tüketimini modellemiş, bu modeli konvansiyonel araç modeli ile karşılaştırmış ve CVT kullanımı ile yakıt tüketiminde sağlanan kazancı ortaya koymuşlardır. Fakat modelleme çalışmasını testlerle doğrulamamışlardır.

Lee ve arkadaşları, çalışmalarında [8] CVT şanzımanlı paralel hibrit bir araçta tahrik sistemi cevabını tahmin ederek cevap süresindeki gecikmeyi bertaraf etmeye çalışan bir şanzıman kontrol sistemi geliştirmişler ve geliştirdikleri kontrol sisteminin yakıt ekonomisine olan katkısını bir test düzeneği üzerinde doğrulamışlardır.

Chau ve arkadaşları, çalışmalarında [9] hibrit elektrikli araçlar için yaygınlaşmakta olan üç anahtar teknolojiden biri olarak sürekli değişken oranlı şanzımanları göstermişlerdir.

Zhang ve arkadaşları, [10] çalışmalarında CVT kullanarak tasarlayacakları yeni elektrikli araçların, ticarileşmiş mevcut binek türünde bir aracın performans kriterlerini sağlaması için yaptıkları çalışmada, CVT şanzımanın performans testlerinden geçtiğini model üzerinde ve test düzeneğinde göstermişlerdir.

Konishi, çalışmasında [11] bir hafif binek araçta aktarma verimini yükseltmek amacıyla paralel şaftlı ve helisel dişli ana redüksiyon mekanizmalı yeni tip bir CVT şanzıman geliştirmiştir. Bu yolla şanzıman veriminde artış sağlarken sistemin kapladığı alanı da küçülmüştür. Çalışma içten yanmalı motorlu bir araçta yapılmıştır.

Pentzer ve arkadaşları, çalışmalarında [12] otomobillerde ve motosikletlerde avantajlarında dolayı yaygınlaşmakta olan CVT sistemini bir yer robotunun tahrik sisteminde uygulamışlardır. Robotun kütesinin artırılmasının istenmediği uygulamada batarya kütesi eklenen CVT kütesi kadar azaltılmıştır. Bu uygulamada menzil sonuçlarında iyileşme olmamıştır. Fakat kütenin sabit tutulmadığı, CVT'nin doğrudan sisteme eklendiği senaryoda düşük çalışma hızlarında robot menziline artış sağlanmıştır.

Xiang ve arkadaşları, çalışmalarında [13] yeni tip bir elektrikli araçta 2 kademeli bir otomatikleştirilmiş manuel şanzıman kullanarak enerji tüketim ekonomisini %5,5 artırdıklarını belirtmişlerdir.

Literatürde CVT şanzımanlarla ilgili yapılmış olan çalışmaların büyük çoğunluğunun hibrit elektrikli araçlar üzerine olduğu görülmüştür. Bu çalışmaların da önemli bir kısmı deneysel olmayan model çalışmalarıdır. Bu tez çalışması kapsamında, batarya güçlü tam elektrikli bir aracın menzil ve performans özelliklerinin sürekli değişken oranlı bir şanzıman kullanımı ile artırılabilceği tezi ortaya atılmış ve bir hafif elektrikli araç üretilerek yol testlerinde bu tezin doğruluğu sınanmıştır.

2. ARAÇ TAHRİK SİSTEMİ TASARIMI

Bir aracın tahrik sistemi, aracın enerji kaynağından tekerleklerine kadar olan tüm bileşenlerin oluşturduğu sistem olarak tanımlanabilir. İçten yanmalı motora sahip önden çekişli bir binek aracın tahrik sistemini oluşturan temel bileşenler Şekil 2.1’de görüldüğü gibi yakıt deposu, içten yanmalı motor, şanzıman, diferansiyel, aks ve tekerlekler olarak sıralanabilir.



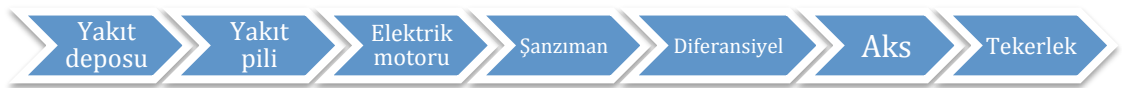
Şekil 2.1. İçten yanmalı motora sahip olan bir aracın tahrik sisteminin temel bileşenleri.

Tahrik sistemi bileşenleri Şekil 2.2’de gösterilen batarya güçlü elektrikli bir araçta mekanik hareketi üreten içten yanmalı motorun yerini elektrik motoru alırken, enerji kaynağı olan fosil yakıtın yerini bataryalar alır.



Şekil 2.2. Batarya güçlü elektrikli bir aracın tahrik sisteminin temel bileşenleri.

Yakıt pilli elektrikli araçlarda tahrik yine elektrik motoru ile sağlanırken, motorun çalışması için gereken elektrik enerjisi hidrojen veya metil alkol gibi yakıtların yakıt pili hücrelerinde oksijen ile yükseltgenme-indirgenme tepkimesine girmesi sonucunda üretilir. Yakıt pilli elektrikli bir aracın tahrik sistemi şeması Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.3. Yakıt pilli elektrikli bir aracın tahrik sisteminin temel bileşenleri.

Bu tez çalışması için üretilen batarya güçlü hafif elektrikli aracın tahrik sistemi bileşenleri, aktarma organlarının tasarımı ve oluşturulan matematiksel model ilerleyen başlıklar altında ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

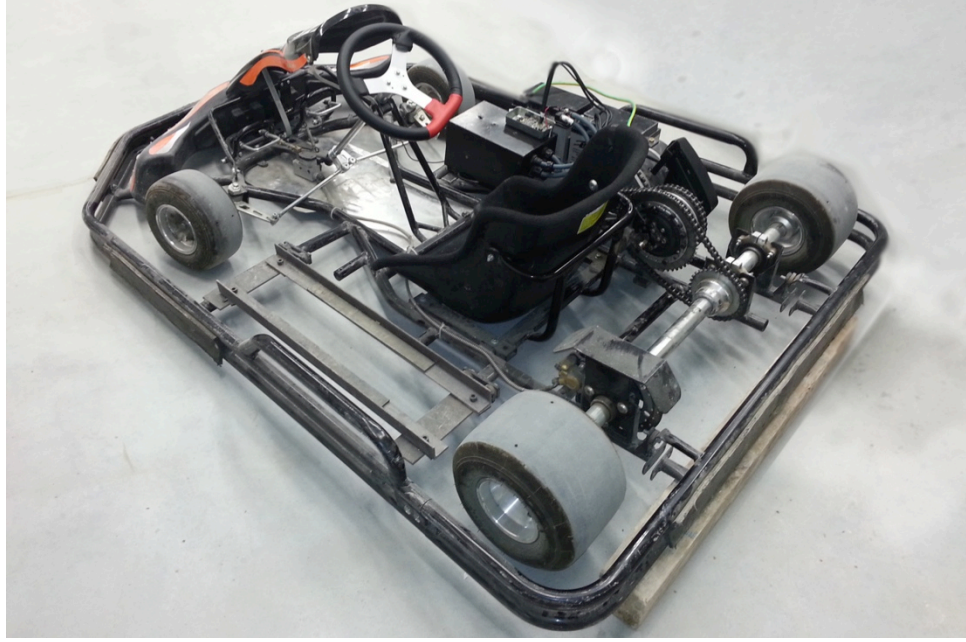
2.1. TAHRİK SİSTEMİ BİLEŞENLERİ

Bu tez çalışması kapsamında bataryalardan güç alan elektrik motoru ile tahrik edilen elektrikli bir go-kart aracı üretilmiştir. Ağırlığına ve bileşenlerinin boyut ve kapasite değerlerine bakıldığında hafif elektrikli araçlar kategorisine dahil edilebilecek olan aracın şasisi, bataryaları, motoru, motor sürücüsü ve şanzıman sistemi farklı firmalardan tedarik edilmiş ve gerekli bağlantı parçalarının tasarım ve imalatı yapıldıktan sonra bileşenlerin şasi üzerine montajı yapılmıştır. Go-kart araçlarında, yanlama tarzında sürüşü kolaylaştırmak amacıyla diferansiyel kullanılmamakta, her iki arka tahrik tekerleği aynı aksa bağlanmaktadır. Üretilen aracın tamamlanmış hali Şekil 2.4'te görülmektedir.



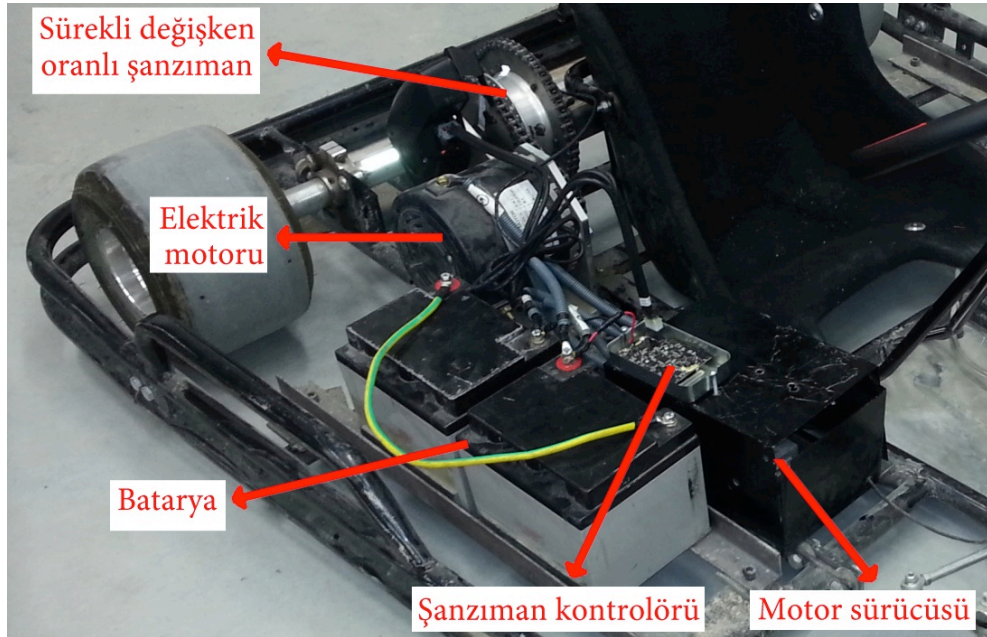
Şekil 2.4. Üretilen aracın önden görünümü.

Aracın bir başka açıdan görünümü Şekil 2.5'te verilmiştir. Şekil 2.4'te görünmeyen araç bileşenleri bu şekil üzerinde görülebilir.



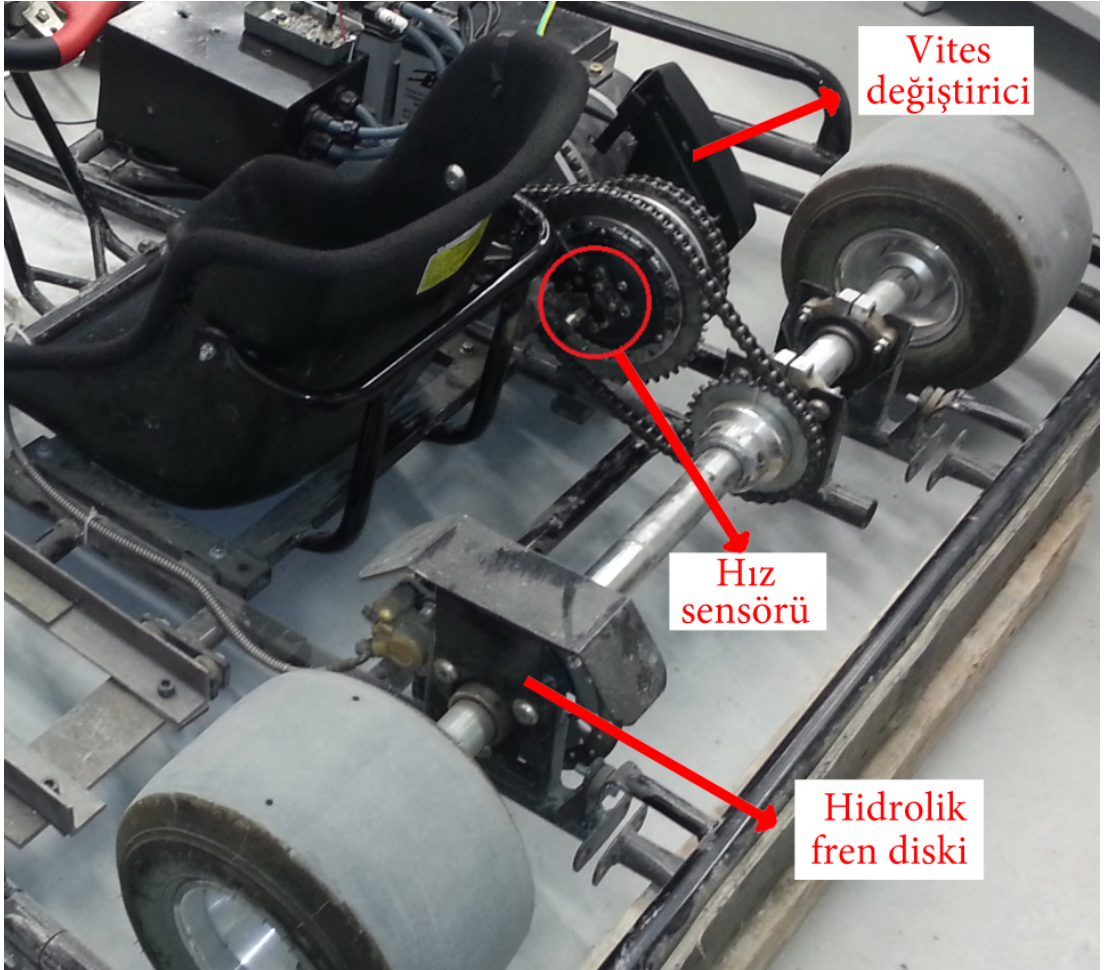
Şekil 2.5. Üretilen aracın arkadan görünümü.

Aracın tahrik sistemi bileşenlerinin montajı Şekil 2.6'da görülmektedir. Elektriksel olarak motor sürücüsü, potansiyometre pedalı ve elektrik motorundan oluşan devre ile şanzıman kontrolörü birbirlerine paralel şekilde, seri bağlı iki bataryadan oluşan batarya setine bağlanmıştır.



Şekil 2.6. Tahrik sisteminin önden görünümü.

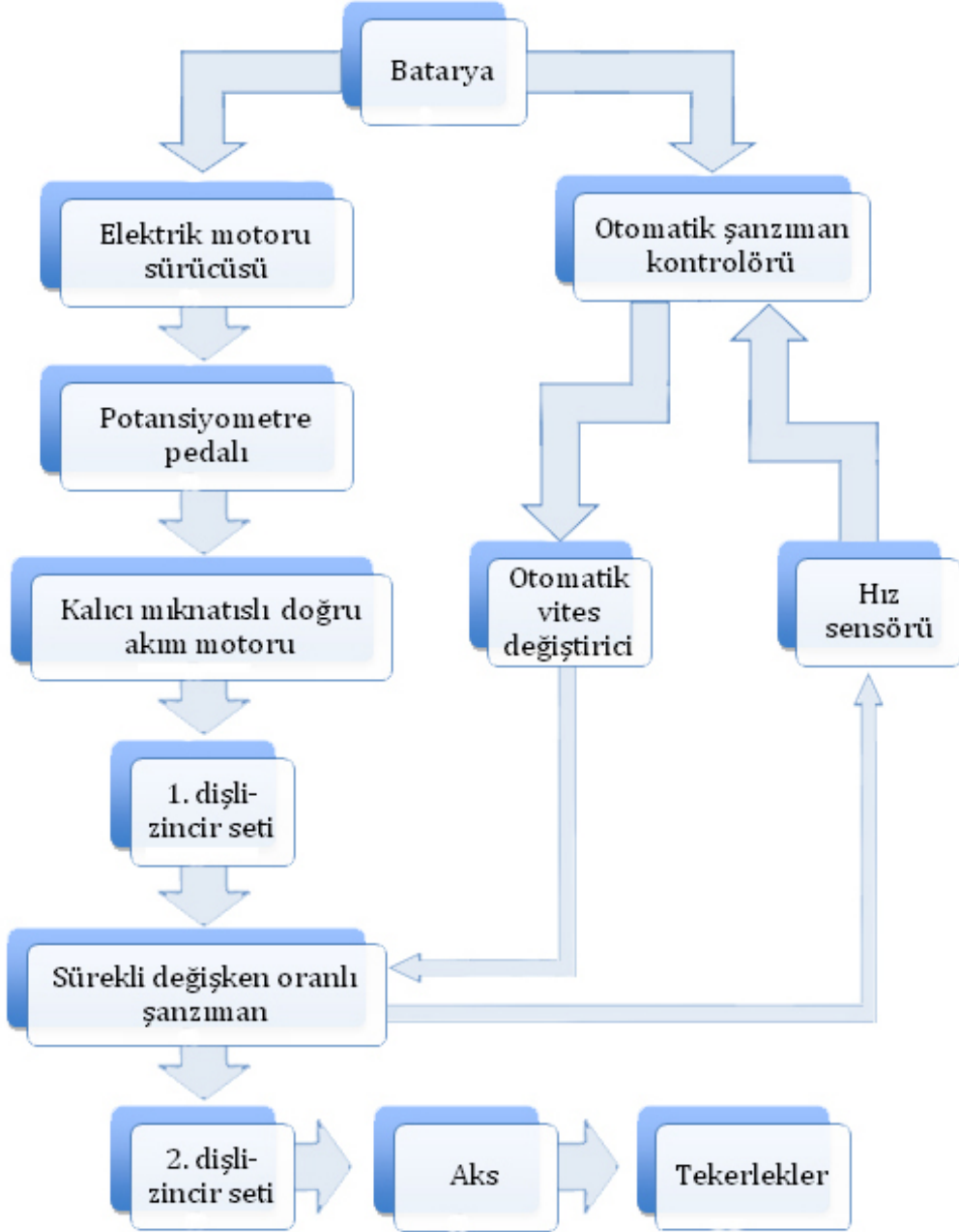
Tahrik sistemi bileşenlerinin montajı bir başka açıdan Şekil 2.7’de görülmektedir. Motor sürücüsü siyah sac kutunun içindedir. Motorun ürettiği tork birinci dişli-zincir seti ile şanzıman giriş miline aktarılmaktadır. Şanzımanın değiştirerek veya doğrudan aktardığı tork şanzıman çıkış tekerleğinden aksa ikinci dişli-zincir seti ile aktarılmakta ve tekerlekler dönmektedir. Araç hidrolik disk fren sistemine sahiptir.



Şekil 2.7. Tahrik sistemi bileşenlerinin arkadan görünümü.

Aracın çalışması esnasında şanzıman kontrolörü, şanzıman çıkış tekerleği üzerinde montaj yapılmış olan manyetik civatalar üzerinden devir hızı ölçen hız sensöründen aldığı bilgiye göre aktarma oranına karar vermekte ve vites değiştiriciye gereken vites konumu ile ilgili mesaj göndermektedir. Vites değiştirici bünyesindeki servo motor, şanzıman kontrolöründen gelen bilgiye göre şanzımanın vites çubuğunu

döndürerek aktarma oranını değiştirmektedir. Aracın tahrik sisteminin çalışma yapısını gösteren şema Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Araç tahrik sistemi bileşenlerinin ayrıntılı şema gösterimi.

Şanzıman kontrolörü hız sensöründen gelen bilgiyi 20 ms zaman aralıklarıyla işleyerek vites değiştiriciye gerekli komutları vermektedir. Şanzıman sisteminin ayrıntılı çalışma yapısı Yol Testleri bölümünde açıklanacaktır.

2.1.1. Batarya

Araçta enerji kaynağı olarak, her biri 12 V gerilime ve 44 Ah kapasiteye sahip 2 adet jel akü seri bağlanarak kullanılmıştır. Bu uygulama için, standart kurşun akülere kıyasla bakım gerektirmeyen ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip yapısı ile lityum akülere kıyasla oldukça düşük maliyetli olması nedeniyle [14] Şekil 2.9’da gösterilen tipte jel aküler tercih edilmiştir. Jel aküler hafif elektrikli araçlarda ve elektrikli bisiklet ile motosikletlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.9. 12 V voltaj ve 44 Ah kapasite değerine sahip jel akü [14].

Kullanılan aküler %15-20 doluluk oranında iken 12 V gerilime ve 10 A akım değerine sahip bir şarj redresörü ile 220 V gerilim altında mono faze hat üzerinden, iki akünün birbirine paralel bağlandığı durumda 8-9 saat arası bir sürede tam dolu seviyeye şarj edilmektedir.

2.1.2. Elektrik Motoru

Aracın tahrik sisteminin merkezinde tip olarak yüksek çalışma verimleri ve kompakt boyutları nedeniyle hafif elektrikli araç uygulamalarında yaygın olarak kullanılan [16] fırçalı tip kalıcı mıknatıslı doğru akım motoru kullanılmıştır. Doğru akım motorları ayrıca alternatif akım motorlarına göre daha kolay kontrol edilebilmeleri bakımından avantajlıdır [17]. Motor gücü, benzinle çalışan içten yanmalı motora

sahip go-kart araçlarında kullanılan en yaygın motor gücü olan 4 kW (5,5 HP) olarak belirlenmiştir. Buna göre tedarik edilen motorun teknik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kullanılan elektrik motorunun teknik özellikleri

Anma gücü (kW)	4
Pik güç (kW)	12,8
Anma voltajı (V)	24-48
Anma akımı (A)	98
Anma torku (N.m)	9
Devir hızı (rpm)	2150-4250
Birim voltajdaki devir hızı (rpm/V)	93,45
Birim akımdaki tork (N.m/A)	0,102

Resmi Şekil 2.10’da verilen motor 24 V ile 48 V arasında bir voltaj kaynağı ile çalışmaya müsait yapıdadır. Bu çalışmada motor 24 V voltaj değerindeki batarya setinden güç almıştır. Böylece çalışma gücünün anma değeri 2 kW, en yüksek devir hızı değeri ise 2150 rpm olarak gerçekleşmiştir.



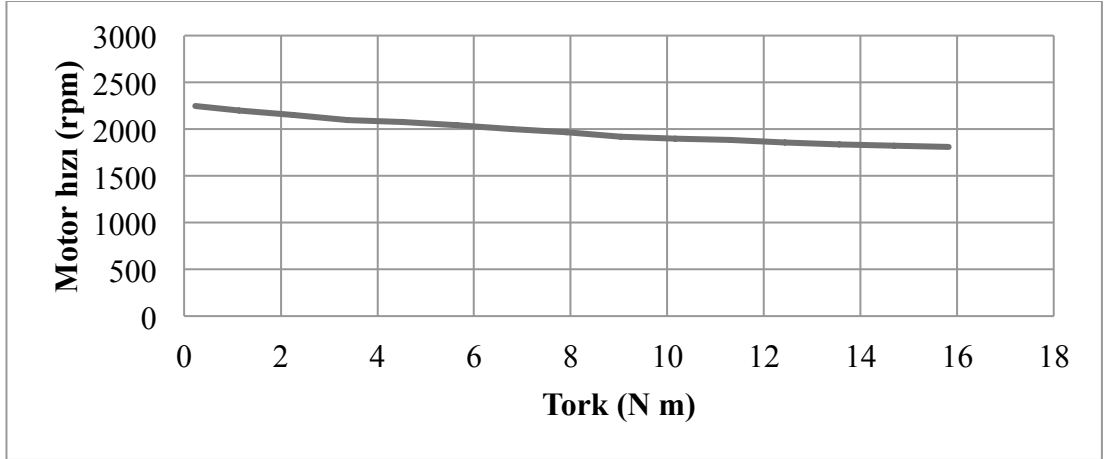
Şekil 2.10. Kullanılan 4 kW gücündeki fırçalı tip kalıcı mıknatıslı doğru akım motoru.

Resmi Şekil 2.11’de verilen motor sürücüsü yüksek güçlü metal oksit yarıiletkenli alan etkili transistör (MOSFET), senkron rektifikasyon ve hızlı darbe genişlik modülasyonu (PWM) kullanan yüksek verimli bir sürücüdür. Sürücü hızı, bir potansiyometre ile 0-5 V voltaj aralığında doğrusal olarak kontrol edilmektedir.



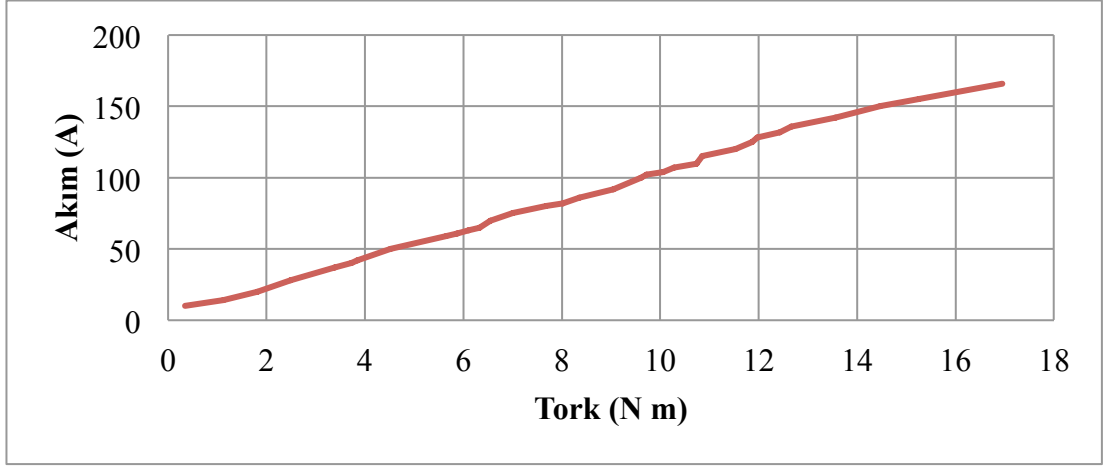
Şekil 2.11. Motor sürücüsü [18].

Motorun üretici firmadan alınan teknik verileri Şekil 12 ile Şekil 15 aralığındaki diyagramlarda verilmiştir.



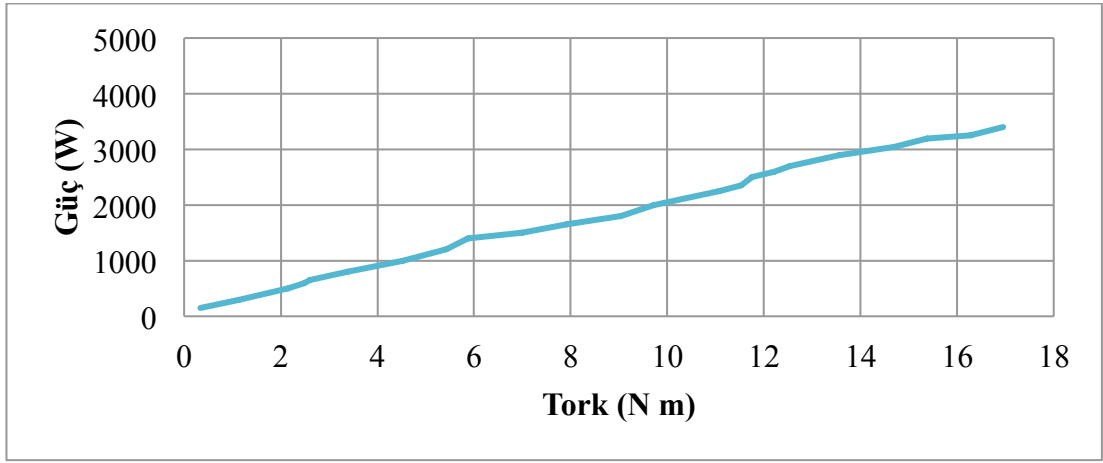
Şekil 2.12. Motorun torka karşı hız diyagramı.

Şekil 2.12’de motorun hızının tork ile çok az miktarda değiştiği görülmektedir. Bir başka deyişle motor, altında olduğu farklı yüklere rağmen anma hızına yakın hızlarda çalışabilmektedir. Bu tip motorlar sabit hız motoru olarak da adlandırılırlar [19].



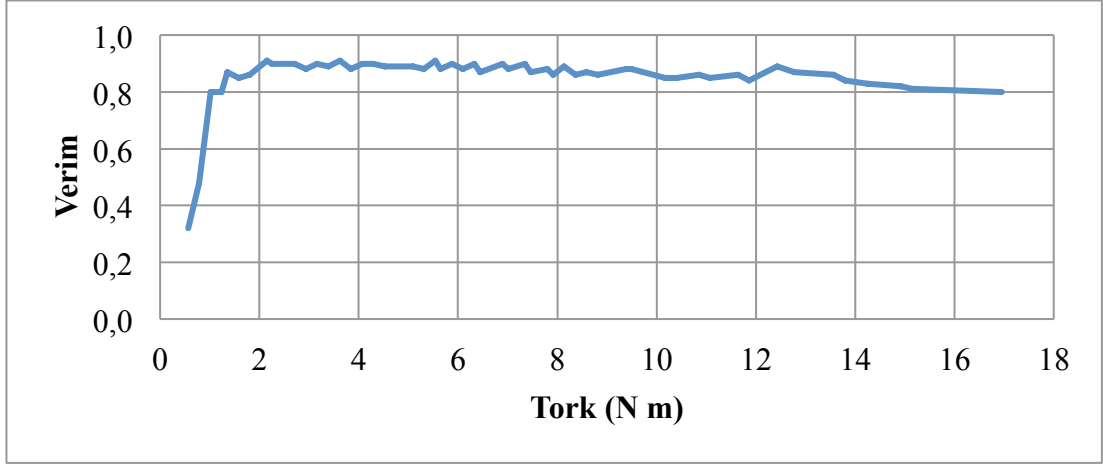
Şekil 2.13. Motorun torka karşı akım diyagramı.

Kullanılan kalıcı mıknatıslı doğru akım motorunda, çekilen akım ve üretilen tork Şekil 2.13'te görüldüğü gibi doğru orantılı değişen büyüklüklerdir.



Şekil 2.14. Motorun nominal çalışma noktası öncesindeki torka karşı güç diyagramı.

Şekil 2.14'te verilen diyagramda motorun normal çalışma bölgesindeki torka karşı güç değişimi verilmiştir. Tork ile güç orantılı değişmektedir.

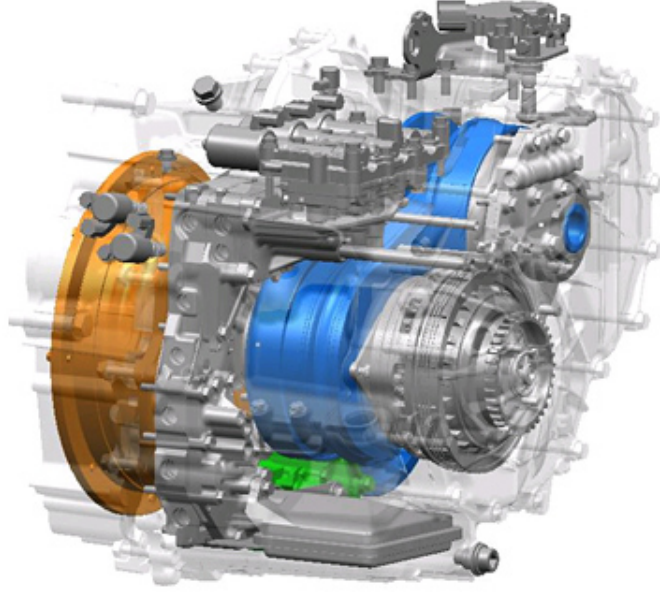


Şekil 2.15. Motorun torka karşı verim diyagramı.

Motorun torka karşı verim diyagramı Şekil 2.15'te verilmiştir. Test sonuçları değerlendirilirken üzerinde en çok durulacak olan motor diyagramı bu diyagramdır. Motorun, üzerindeki yük ile birlikte veriminin önce hızlıca arttığı, en yüksek değerine ulaştığı ve ardından yavaş bir şekilde düşmeye başladığı görülmektedir.

2.1.3. Sürekli Değişken Oranlı Şanzıman

Sürekli değişken oranlı CVT şanzımanlar varyatör kasnak adı ile de bilinir. Temelde iki konik kasnak ve bunlar arasında hareket aktarımı sağlayan bir kayıştan oluşan bir kayış-kasnak mekanizması olan CVT sisteminde, iki parçalı konik kasnakların parçalarının birbirine yaklaşması ve uzaklaşması yoluyla kasnak çapları değişir. Değişen kasnak çapları şanzımanın aktarma oranının da değişmesini sağlar. Genellikle motosikletlerde yaygın olarak kullanılan ve günümüzde binek araçlarda da kullanımı yaygınlaşmakta olan CVT şanzımanın bir örneği Şekil 2.16'da verilmiştir.



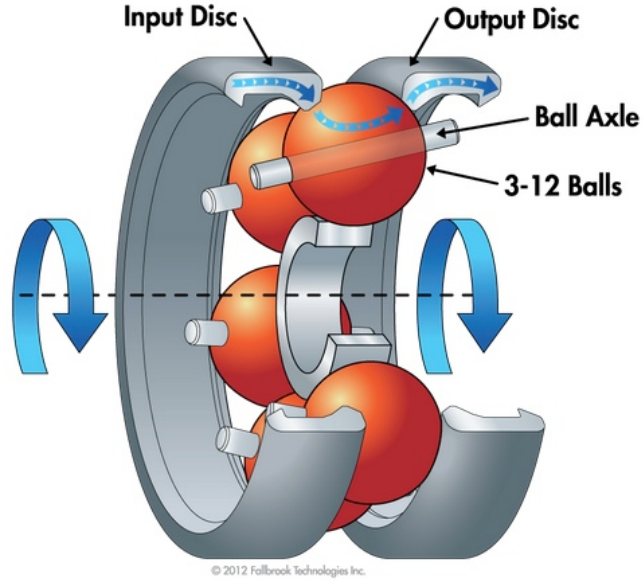
Şekil 2.16. Bir binek araca ait bir CVT şanzıman [20]

Bu tez çalışmasının odak noktasında yer alan ve Fallbrook Technologies firmasının bir ürünü olan NuVinci CVP (Continuously Variable Planetary, Sürekli Değişken Oranlı Gezegenel) ünitesi, CVT ile aynı işlevi yerine getiren fakat mekanizması ile CVT'lerden farklılaşan elektronik kontrollü sürekli değişken oranlı bir şanzımandır. CVP bisikletlerde, hafif elektrikli araçlarda, hafif içten yanmalı motorlu araçlarda ve buna benzer pek çok uygulamada güç aktarımı için kullanılabilir. CVP ünitesi Şekil 2.17'de görüldüğü gibi iki halka arasına oturtulmuş, dönen ve eksen doğrultusunda ön ve arka tarafa doğru eğilebilen bir set bilya içermektedir.

CVP girişindeki disk bir güç kaynağı tarafından sürülmektedir. CVP çıkışında hareketi alan bir çıkış diski bulunmaktadır. Giriş ve çıkış diskleri arasında merkezi bir avare kasnak üzerinde konumlanmış, hareketi aktaran ve her biri kendi ekseninde dönen bilyalar mevcuttur. Avare kasnağın işlevi bilyalara destek olmaktır.

Avare kasnak, kendi dönme ekseninde yer alan ve dışarıdan döndürülebilen vites değiştirme çubuğunun dönmesi sonucunda eksen doğrultusunda ileri ve geri hareket etmektedir. Avare kasnak üzerinde desteklenen bilyaların merkezlerinden geçen miller, her iki taraftan birer kol ile avare kasnağın komşuluğundaki sabit

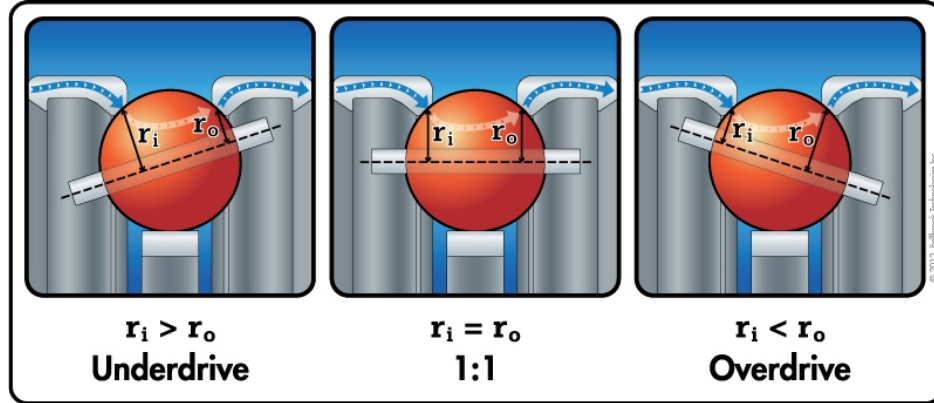
disklere, bu diskler üzerindeki düz kanallarda hareket edebilecek şekilde bağlıdır. Böylece avare kasnağın ileri ve geri hareketi sonucunda milleri tutan kollar hareket ederek millerin eksen ile yaptığı açığı değiştirmektedir. Millerin hareket etmesi sonucunda bilyalar giriş veya çıkış tarafına doğru farklı açılarda konumlanarak aktarma oranını değiştirmektedir.



Şekil 2.17. CVP şanzımanın iç yapısı [21].

Bir motor veya tahrik sistemi elemanından şanzıman girişine iletilen tork, Şekil 2.17’de görüldüğü gibi giriş diskinden, ince bir sıvı tabakası üzerinden bilyalara aktarılmaktadır. Ardından tork, yine ince bir sıvı tabakası üzerinden bilyalardan çıkış diskine aktarılmaktadır. Diskler bilyalara, yeterli tork aktarımını sağlamak üzere sıkı bir şekilde kelepçelenmiştir. Fakat tork, zararlı sonuçları olacak olan metal-metal temasının engellenmesi adına itme sıvısı vasıtası ile aktarılmaktadır.

Giriş diski devir hızının çıkış diski devir hızına oranı olarak tanımlanan aktarma oranı, Şekil 2.18’de görülen biçimde bilyalar ile şanzıman eksenini arasındaki açının sağladığı kuvvet kollarının uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada kullanılan CVP şanzımanın içinde hareket aktarımı 6 bilya ile sağlanmaktadır. Uygulamanın gerektirdiği hız ve tork koşullarına göre bilya sayısı farklı şanzımanlar üretilebilmektedir.



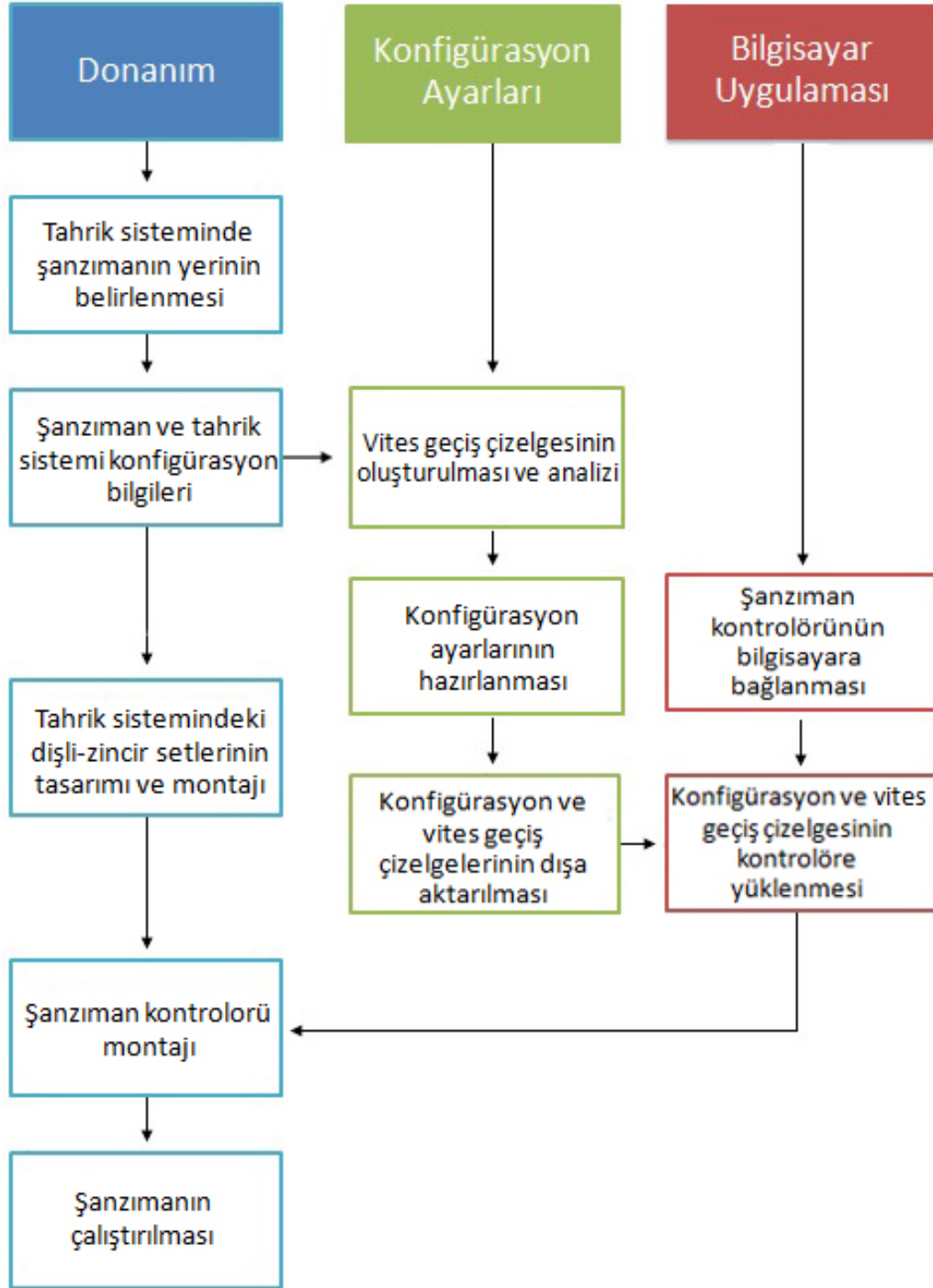
Şekil 2.18. CVP şanzımanın aktarma oranını değiştirme mekanizması [22].

CVP sistemi sürekli değişken oranlı şanzıman, elektronik vites değiştirici ve şanzıman kontrolöründen meydana gelmektedir. Ürüne ait bir arayüz yazılımı aracılığıyla şanzıman kontrolörü ile bilgisayar arasında haberleşme ve dosya alışverişi gerçekleştirilmektedir.

Şanzıman, araç hızına göre aktarma oranını otomatik olarak değiştirme prensibi ile çalışmaktadır. Şanzıman kontrolörü bir hız sensörü vasıtasıyla anlık olarak araç hızı bilgisini almakta ve bünyesindeki vites değiştirme programı doğrultusunda mevcut araç hızının gerektirdiği aktarma oranına karar vermektedir. Ardından bu aktarma oranını sağlamak üzere vites değiştiriciye mesaj göndererek vites pozisyonunu değiştirmekte ve gerekli vites pozisyonunu sağlamaktadır.

Bir şanzımanın bir araca sağladığı yüksek ivme, yüksek son hız, yüksek tırmanma kabiliyeti gibi faydalar, sürekli değişken oranlı şanzıman ile de elde edilmektedir.

CVP ünitesinin programlanma aşamaları Şekil 2.19’da şematik olarak gösterilmiştir. Önce şanzıman, araç uygulamasına göre hedeflenen performans kriterlerini sağlamak üzere tahrik sisteminin uygun bir noktasına yerleştirilir. Şanzımanın tahrik sistemindeki giriş ve çıkış bağlantıları dişli, kayış veya kaplin elemanları ile yapılarak araç konfigürasyonu ortaya çıkarılır.



Şekil 2.19. Sürekli değişken oranlı şanzıman sisteminin programlanma aşamaları.

Araç konfigürasyon bilgileri kullanılarak, hedeflenen çalışma karakteristiklerine göre vites geçiş çizelgeleri hazırlanır. Vites geçiş çizelgeleri aracın hangi hızda hangi şanzıman aktarma oranı ile çalışacağını belirler. Bir vites geçiş çizelgesi .CSV formatında bir metin dosyasıdır. Bu dosya ile şanzımana düzenli artan 64 adet hız

değeri, ardışık iki hız değerleri arasındaki artış miktarı ve o hız değerlerine karşılık gelen aktarma oranları tanıtılır. Kontrolörün vites değiştirme çizelgesini uygulayabilmesi için aracın hız değerini hesaplayabilmesi gerekir. Tekerlek eksenine yerleştirilen manyetik cıvatalardan devir hızını okuyan hız sensöründen devir bilgisini alan kontrolöre, aracın tekerlek yarıçapı ve gerekli bazı diğer mekanik ve elektronik bilgiler önceden konfigürasyon çizelgesi ile verilir. Konfigürasyon çizelgesi de vites değiştirme çizelgesi gibi .CSV formatında bir metin dosyası olarak hazırlanır. Hazırlanan konfigürasyon dosyasının ayrıntıları Yol Testleri başlığı altında verilmiştir.

Time	Speed	Accel	Brake	Throttle	Clutch	Rev	Gear	Shift	Clutch	Rev	Gear	Shift	Clutch	Rev	Gear	Shift	Clutch	Rev	Gear	Shift	
1146.909	24.242	0.000	0.540	2.186	0	427	252	17.408	0	247	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1146.929	24.180	0.000	0.640	1.969	0	425	252	17.408	0	325	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1146.949	24.180	0.000	0.820	2.118	0	423	252	17.408	0	387	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1146.969	24.180	0.000	0.980	2.258	0	421	252	17.408	0	434	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1146.992	24.180	0.000	0.980	2.177	0	417	252	16.896	0	450	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.009	24.118	0.000	1.480	2.578	0	415	252	16.896	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.029	24.180	0.000	1.260	2.195	0	412	252	16.384	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.049	24.180	0.000	1.040	1.811	0	407	252	16.384	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.091	24.180	0.000	0.980	1.707	0	398	252	15.872	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.109	24.180	0.000	0.900	1.567	0	395	252	16.384	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.129	24.180	0.000	0.880	1.533	0	390	252	15.872	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.149	24.180	0.000	0.900	1.567	0	386	252	15.360	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.191	24.180	0.000	0.880	1.533	0	377	252	15.360	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.209	24.180	0.000	0.880	1.533	0	373	252	15.360	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.229	24.180	0.000	0.880	1.533	0	368	252	14.848	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.249	24.180	0.000	0.860	1.498	0	364	252	14.848	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.291	24.180	0.000	0.860	1.498	0	355	252	14.848	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.309	24.180	0.000	0.840	1.463	0	351	252	14.336	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.329	24.242	0.000	0.860	1.498	0	346	252	14.336	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.349	24.242	0.000	0.860	1.498	0	342	252	13.824	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.391	24.242	0.000	0.840	1.463	0	333	252	13.312	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.409	24.242	0.000	0.820	1.428	0	329	252	13.312	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.429	24.242	0.000	0.840	1.463	0	324	252	13.312	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.449	24.242	0.000	0.820	1.428	0	320	252	12.800	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.491	24.242	0.000	0.820	1.428	0	311	252	12.288	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.509	24.242	0.000	0.820	1.428	0	307	252	12.288	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.529	24.242	0.000	0.840	1.463	0	302	252	12.800	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.549	24.180	0.000	0.860	1.498	0	298	252	11.776	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.591	24.242	0.000	0.840	1.463	0	289	252	11.776	0	574	1	38016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.609	24.180	0.000	0.860	1.490	0	285	252	11.264	0	577	1	37824	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.629	24.242	0.000	0.860	1.490	0	280	252	11.264	0	577	1	37824	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.649	24.242	0.000	0.820	1.469	0	276	252	11.264	0	558	1	37824	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.691	24.304	0.000	0.300	0.867	0	268	252	10.752	0	346	1	37824	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.709	24.428	0.000	0.000	0.000	0	264	252	10.752	0	1	1	37824	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1147.729	24.428	0.000	0.000	0.000	0	262	252	10.752	0	1	1	37824	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 2.20. Aracın çalışması esnasında şanzıman kontrolörü bilgisayara bağlandığında 20 ms'lik periyotlarla okunan parametreler.

Kontrolörün hedeflenen vites değiştirme programına göre çalışması için gereken iki dosya olan konfigürasyon çizelgesi ve vites geçiş çizelgesi, USB kablosu ile seri bilgisayara bağlanarak seri bağlantı noktasından haberleşilen şanzıman kontrolörüne üretici firmanın sağladığı arayüz yazılımı vasıtasıyla yüklenir.

Aracın çalışması esnasında şanzıman kontrolörü bilgisayara bağlanarak vites pozisyonları, araç hızı ve başka çeşitli bilgiler 20 ms'lik periyotlar ile okunabilmektedir. Şekil 2.20'de verilen ekran çıktısında Virgülle ayrılmış her değer ayrı bir parametreyi ifade etmektedir. Çerçeve içine alınmış üç sütun sırası ile mevcut vites pozisyonu, vites geçiş çizelgesine ve anlık araç hızına göre hedeflenen vites pozisyonu ve mph biriminde anlık araç hızı değerlerini göstermektedir.

2.2. TAHRİK SİSTEMİ HESAPLAMALARI

Edinilmiş olan elektrik motoru ve şanzımanın teknik özellikleri ve sınırlamaları göz önüne alınarak motor, şanzıman ve aksı arasında hareket aktarımını sağlayacak olan, Şekil 6'da belirtilen 1. ve 2. dişli-zincir setlerinin tasarımı için (2.1)'den (2.15)'e kadar numaralandırılan denklemler kullanılarak bir tahrik sistemi matematiksel modeli geliştirilmiştir.

ω rad/s biriminde açısal hız ve n rpm biriminde devir hızı olmak üzere,

$$\omega = \frac{2 * \pi * n}{60} \quad (2.1)$$

$\omega_{CVP,giriş}$ şanzıman giriş milinin açısal hızı, ω_{motor} motorun açısal hızı, N_{motor} motor mili üzerindeki dişlinin diş sayısı ve $N_{CVP,giriş}$ şanzıman giriş mili üzerindeki dişlinin diş sayısı olmak üzere,

$$\omega_{CVP,giriş} = \omega_{motor} * \frac{N_{motor}}{N_{CVP,giriş}} \quad (2.2)$$

Bir dişli çiftinde veya aktarma organında i aktarma oranı, $n_{giriş}$ giriş devir hızı ve $n_{çıkış}$ çıkış devir hızı olmak üzere,

$$i = \frac{n_{giriş}}{n_{çıkış}} \quad (2.3)$$

$\omega_{CVP,çıkış}$ şanzıman çıkış tekerleğinin açısal hızı ve i_{CVP} şanzıman aktarma oranı olmak üzere,

$$\omega_{CVP,çıkış} = \frac{\omega_{CVP,giriş}}{i_{CVP}} \quad (2.4)$$

ω_{aks} aksın açısal hızı ve N_{aks} aks üzerindeki dişlinin diş sayısı olmak üzere,

$$\omega_{aks} = \omega_{CVP,çıkış} * \frac{N_{CVP,çıkış}}{N_{aks}} \quad (2.5)$$

ϑ m/s biriminde araç hızı, r m biriminde tahrik tekerleği yarıçapı olmak üzere,

$$\vartheta = \omega_{aks} * r \quad (2.6)$$

$\tau_{CVP,giriş}$ N.m biriminde şanzıman giriş mili torku ve τ_{motor} N.m biriminde motor torku olmak üzere,

$$\tau_{CVP,giriş} = \tau_{motor} * \frac{N_{CVP,giriş}}{N_{motor}} \quad (2.7)$$

$\tau_{CVP,çıkış}$ N.m biriminde şanzıman çıkış tekerleği torku olmak üzere,

$$\tau_{CVP,çıkış} = \tau_{CVP,giriş} * i_{CVP} \quad (2.8)$$

τ_{aks} N.m biriminde aks torku olmak üzere,

$$\tau_{aks} = \tau_{CVP,\zeta_{k1\zeta}} * \frac{N_{aks}}{N_{CVP,\zeta_{k1\zeta}}} \quad (2.9)$$

Araç seyir halinde iken, F_{itme} N biriminde, motordan tekerleklerle aktarılan tork sonucunda tekerleklerin yere uyguladığı kuvvetten dolayı araç üzerinde oluşan ve aracı ileri iten tepki kuvveti, F_{ad} N biriminde, hava tarafından araca uygulanan direnç kuvveti, F_{yd} N biriminde, aracın tekerleklerinin hareket esnasında yerde bir miktar kaymasına neden olan, yerin araca uyguladığı sürtünme kuvveti, F_{td} N biriminde, araç α değerinde tırmanma açısına sahip bir rampada tırmanırken kendi ağırlığının, ilerleme yönüne zıt yöndeki bileşeni, F_{net} ise araç üzerindeki net kuvvet olmak üzere,

$$F_{net} = F_{itme} - F_{ad} - F_{yd} - F_{td} \quad (2.10)$$

Motor torkundan kaynaklanan ve aracı ileri iten kuvvet olan F_{itme} aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$F_{itme} = \frac{\tau_{aks}}{r} \quad (2.11)$$

Hava tarafından araca uygulanan aerodinamik direnç kuvveti olan F_{ad} , C_d aerodinamik sürüklenme katsayısı, S_k m² biriminde aracın ilerleme yönüne dik olan düzlemdeki kesit alanı, ρ_{hava} ise kg/m³ biriminde havanın yoğunluğu olmak üzere aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$F_{ad} = \frac{1}{2} C_d S_k \rho_{hava} v^2 \quad (2.12)$$

Yer tarafından araca uygulanan yuvarlanma direnci kuvveti olan F_{yd} , f_{yd} yuvarlanma direnci katsayısı ve R_n N biriminde yer tarafından araca yer düzlemine dik doğrultuda uygulanan tepki kuvveti olmak üzere aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$F_{yd} = f_{yd}R_n \quad (2.13)$$

Elektrik motorunun ürettiği tork, yol almasından çok kısa bir süre sonra sabitlendiği için aracın ivmesinin motorun nominal devir hızına dek sabit kalacağı kabul edilebilir. İvme a ile m/s^2 biriminde, kütle m ile kg biriminde ifade edilirse,

$$a = \frac{F_{net}}{m} \quad (2.14)$$

Aracın ulaşabileceği son hız m/s biriminde v_{maks} ise, aracın son hızına ulaşma süresi t s biriminden aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$t = \frac{v_{maks}}{a} \quad (2.15)$$

Geliştirilen matematiksel model üzerinde, ayrıntıları Yol Testleri başlığı altında verilecek ve testlerde kullanılacak olan sabit aktarma oranları ile aracın dinamik ve kinematik hesaplamaları yapılarak Çizelge 2.2 oluşturulmuştur. Aracın ön yüzey alanının oldukça küçük olmasından ve oldukça düşük hızlarda seyretmesinden dolayı aerodinamik sürüklenme kuvveti hesaplarda ihmal edilmiştir.

Çizelge 2.2. Sabit şanzıman oranları kullanılarak yapılacak yol testlerinde ortaya çıkacak olan araç hızı ve tahrik sistemi elemanları devir hızlarının hesaplanmış değerleri

Şanzıman aktarma oranı	0,7	1	1,25	1,5	1,75
Motor dişlisi diş sayısı	13	13	13	13	13
Şanzıman giriş dişlisi diş sayısı	40	40	40	40	40
Şanzıman giriş hızı (rpm)	699	699	699	699	699
Motor devir hızı (rpm)	2150	2150	2150	2150	2150
Şanzıman çıkış hızı (rpm)	998	699	559	466	399
Şanzıman çıkış dişlisi diş sayısı	50	50	50	50	50
Aks dişlisi diş sayısı	32	32	32	32	32
Aks hızı (rpm)	1560	1092	873	728	624
Tekerlek yarıçapı (m)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Araç son hızı (m/s)	22,9	16,0	12,8	10,7	9,15
Araç son hızı (km/h)	82,3	57,6	46,1	38,4	32,9

Motor çıkış dişlisi, aktarmada yüksek redüksiyon oranı elde etmek amacıyla motor miline uygun mümkün olan en küçük dişli olması bakımından 13 dişli olarak seçilmiştir. 1. ve 2. dişli-zincir setleri tasarlanırken, önce elde mevcut olan 32 dişli ve 50 dişli dişliler değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu dişlilerden, çapı şanzıman çıkış tekerleğine montaj yapılmaya uygun olan 50 dişli olanı şanzıman çıkışında değerlendirilmiştir. 32 dişli olanı ise aks üzerine montajlanmıştır. Başlangıçta sabit şanzıman aktarma oranlı testlerin 0,7 ile 1,75 aktarma oranı arasında yapılması öngörülmüştür. Fakat veri toplama amacıyla yapıla yol testlerinden önce deneme amaçlı yapılan yol testlerinde 0,7 aktarma oranının uygun olmadığı görülmüş ve bu oran yol testlerinde kullanılmamıştır. Bu durumun nedeni Yol Testleri başlığı altında açıklanacaktır.

Çizelge 1’de elde edilen değerlerden, şanzıman giriş ve çıkış hızı için üretici firma tarafından belirlenmiş olan 1000 rpm’lik sınır değerini aşmadan mümkün olan en büyük araç ivmesini elde etmek amacıyla şanzıman giriş dişlisinin 40 dişli olmasına karar verilmiştir. Böylece en yüksek şanzıman çıkış hızı 998 rpm ile 0,7 aktarma oranında elde edilmiş ve 1000 rpm sınır şartı sağlanmıştır. Aracın yol testlerinde hesaplanan son hızlara ulaşmayacağı tasarım aşamasında öngörülmüş olmasının yanı sıra, aracın arka tekerlekleri havaya kaldırılarak yapılan durağan haldeki testlerde motorun en yüksek devir hızına kolaylıkla ulaşacağı da öngörüldüğü için güvenlik amacıyla şanzıman sınır şartlarının sağlanmasına dikkat edilmiştir.

Çizelge 2.3’te yine sabit şanzıman aktarma oranları kullanılarak yapılacak yol testlerinde ortaya çıkacak olan araç ivmesi ve tahrik sistemi elemanları torklarının hesaplanmış değerleri verilmiştir. Burada da tasarım kriteri olarak göz önüne alınan, şanzıman giriş torkunun üretici tarafından belirlenmiş üst sınır değeri olan 65 N.m değerinin üstünde olmaması şartının sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 2.3. Sabit şanzıman aktarma oranları kullanılarak yapılacak yol testlerinde ortaya çıkacak olan araç ivmesi ve tahrik sistemi elemanları torklarının hesaplanmış değerleri

Şanzıman aktarma oranı	1	1,25	1,5	1,75
Motor torku (N.m)	9	9	9	9
Şanzıman giriş torku (N.m)	27,4	27,4	27,4	27,4
Şanzıman çıkış torku (N.m)	26,6	33,2	39,9	46,5
Aks torku (N.m)	16,8	21,1	25,3	29,5
İtme kuvveti (N)	120	150	181	211
Araç kütlesi (kg)	220	220	220	220
Araç ivmesi (m/s^2)	0,547	0,684	0,821	0,957
Araç son hızı (m/s)	16,0	12,8	10,7	9,15
Araç son hızı (km/h)	57,6	46,1	38,4	32,9
Sıfırdan son hıza ulaşma süresi (s)	29,3	18,7	13,0	9,55

Dinamik ve kinematik hesaplamalar sonucunda aracın tahrik sistemi bileşenlerinin tasarımı tamamlanmıştır. Tasarlanan dişliler ve motor ile şanzımanı şasi üzerinde taşıyan braketlerin teknik resimleri EK-1’de verilmiştir. Parçalar üretilmiş ve tahrik sistemi bileşenlerinin montajları tamamlanarak araç teste hazır hale getirilmiştir.

3. YOL TESTLERİ, SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Uygulanan yol testlerinde aracın iki farklı özelliği birlikte sınanmıştır. Sınanan özelliklerin ilki, aracın, batarya voltaj değerinin belirli bir üst değerden belirli bir alt değere düşmesine kadar sürüldüğünde kat ettiği yol olan menzildir. Menzil testi, bataryaların depoladığı enerjinin tamamen tükenmesi sonucunda aracın ilerleyemez hale gelmesine kadar değil, batarya voltajının aracın itki kuvvetinde hissedilir bir düşüşün olduğu belirli bir değere düşmesine kadar sürdürülmüştür. Sınanan özelliklerin ikincisi ise aracın test boyunca durakladığı anlar dışında sahip olduğu ortalama hızın dikkate alınmasıyla belirlenen araç performansıdır.

Bu testlerde, elektrikli bir araçta sürüş esnasında tahrik sisteminin aktarma oranının değişken olmasının menzil ve performansa etkisi gözlenmeye çalışılmıştır. Bu etkiyi gözleyebilmek için araç önce sabit aktarma oranlarında sürülerek test edilmiştir. Kullanılan CVP şanzımanın aktarma oranı elle ayarlanabilmektedir. Otomatik vites değiştiricinin kullanılmadığı durumda, şanzıman sürekli olarak elle ayarlanmış olan aktarma oranında hareket aktarımı sağlamaktadır. Araç ile toplam altı adet yol testi gerçekleştirilmiştir.

İlk dört testte araç, otomatik vites değiştirici kullanılmaksızın sabit aktarma oranlarında sürülmüştür. Bu dört testin sonucunda menzil ve performans özellikleri en üstün olan aktarma oranı belirlenmiştir.

Sonraki aşamada, sabit aktarma oranı ile yapılan ilk dört testte elde edilen sonuçlar ışığında iki farklı vites değiştirme çizelgesi hazırlanmış ve şanzıman sürücüsü bu çizelgeler ile programlanmıştır. Bu çizelgelerin ilki, üç kademe aktarma oranına sahiptir. Bu kademeler düşük hızda, orta hızda ve yüksek hızda sırasıyla 1,75, 1,50 ve 1,25 aktarma oranına sahip olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu çizelge ile araç, manuel şanzımanlı bir araç gibi çalışmıştır. Beşinci test bu kademeli vites değiştirme çizelgesine göre gerçekleştirilmiş olup, altıncı test için hazırlanan çizelge içerisinde hem sürekli değişken bölgeler, hem de sabit oranlı bölgeler oluşturulmuştur.

Sabit şanzıman aktarma oranlarıyla gerçekleştirilen ilk dört testte kullanılan yöntem aşağıda açıklanmıştır.

1. Bataryalar tam dolu seviyeye kadar şarj edilmiştir. Tam dolu bir batarya 13,05 V ile 13,10 V arasında bir voltaj değerine sahip olmaktadır.
2. Elde edilmek istenen şanzıman aktarma oranının sağlayacağı tekerlek devir hızı hesaplanmıştır. Aracın arka tekerlekleri havaya kaldırılmıştır. Potansiyometreye tam basılarak motorun 2150 rpm hızında dönmesi sağlanmıştır. Bu konumda Şekil 3.1'de görüldüğü gibi el takometresi yardımıyla şanzıman çıkış tekerleğinin devir hızı ölçülmüştür. Şanzıman ayar vidası, takometrede okunan değer hesaplanan tekerlek hızına eşit olana dek elle çevrilerek ayarlanmıştır.

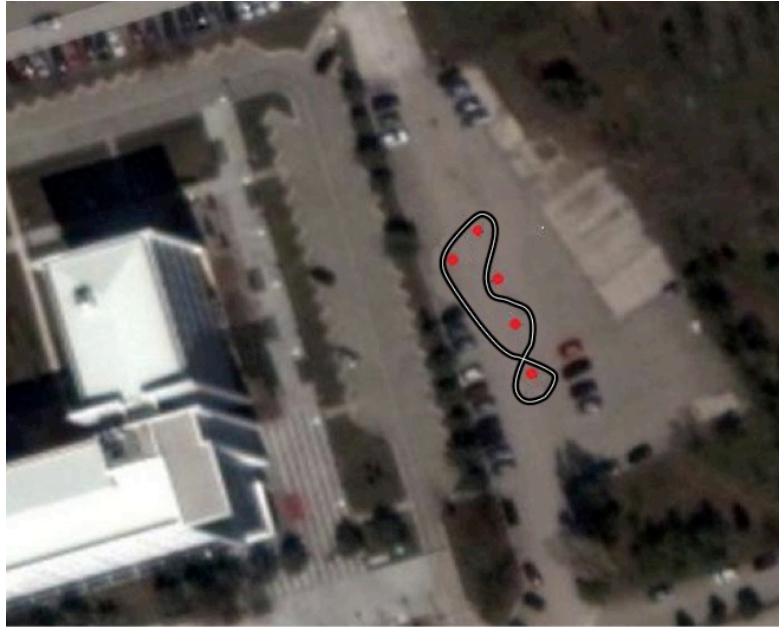


Şekil 3.1. Sabit şanzıman aktarma oranlarını ayarlamak için potansiyometreye tam basılarak şanzıman çıkış tekerleğinin devir hızı ölçülmüş, devir hızının olması gereken hıza eşitlenmesi için vites çubuğu elle ayarlanmıştır.

3. Şanzıman aktarma oranının ayarlanması ve aracın test pistine götürülmesi sırasında bataryadaki enerjinin bir kısmı tüketilmiştir. Bu nedenle testlerin başlangıcında her bir bataryanın voltaj değeri 12,90 V ile 13,00 V arasında

yer almıştır. Testler, her bir bataryanın voltajının 11,95 V ile 12,10 V arasında bir değere kadar düşmesi sonucunda aracın itki kuvvetinin belirgin bir şekilde düşmesine kadar sürdürülmüştür.

4. Test için Şekil 3.2’de görülmekte olan, asfalt zemin üzerinde trafik kukalarının dizilmesi ile slalom ve düzlükler içeren 75 m uzunluğunda bir pist oluşturulmuştur. GPS verilerine göre pistin yaklaşık olarak %3 eğime sahip olduğu belirlenmiştir. Her 5 tur sonunda araç yaklaşık 4 dakika bekletilerek batarya voltajının denge değerine ulaşması beklenmiştir. Ardından batarya voltaj değerleri kaydedilerek teste devam edilmiştir. Enerji sarfiyatını azaltmak adına test sürüşleri fren kullanılmadan gerçekleştirilmiştir.
5. Aracın tur zamanı ve hız değerleri, Android işletim sistemli bir akıllı telefonda GPS fonksiyonunu kullanan bir uygulama ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Uygulamanın hız ölçümlerinin doğruluğunu araştırmak amacıyla bir binek araç ile ayrı bir yol testine çıkılmıştır. Uygulamanın ölçtüğü hız değerleri ile aracın hız göstergesinde okunan değerlerin tutarlı olduğu gözlenmiş olup, böylece ölçümlerin doğruluğu teyit edilmiştir.



Şekil 3.2. Yol testlerinin yapıldığı pist. Kırmızı nokta ile gösterilen konumlara trafik kukaları dizilmiştir. Araç çizgi ile gösterilen 75 m uzunluğundaki yörünge boyunca, büyük bölmeye göre saat yönünün tersinde turlamıştır.

Yol testlerinde, kalkışta düşük ivmeden dolayı performans bakımından sorun teşkil etmeyecek en küçük aktarma oranını tespit etmek amacıyla, sahada ön testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde, elektrikli bir araçta motorun ağır yük altında kalmasının, performanstan yetersizliğinden ziyade, önemli bir güvenlik sorunu ortaya çıkardığı görülmüştür. Araç 0,7 aktarma oranı ile sürülmüştür. Araç eğimsiz zeminde sabit doğrultuda yol almasına rağmen, motor hızlanmayı gerçekleştirememiştir. Araç 25 metre boyunca sürülmüş ve hızı 3,5 km/h değerini aşamamıştır. Araç bu şekilde hızlanamadan sürüldüğünde, 25 metre yol alındıktan sonra motor sürücüsünden duman çıkmıştır. Araç derhal durdurulmuş ve devre açık duruma getirilmiştir. Motor sürücüsünün koruyucu tabakası açılarak devre kartı incelendiğinde, kart üzerindeki epoksi tabakanın kısmen eridiği gözlenmiştir. Bunun nedeni motorun, aktarma oranının düşük olması nedeniyle fazla yük altında kalarak hızlanamamış olması ve mevcut düşük tork çıkış değerinden yüksek tork çıkış değerine ulaşma eğilimi ile sürücüden sürekli olarak anma değerinin üstünde akım talep etmesi ve çekmesidir. Bu durumda sürücüden sürekli olarak geçen yüksek akım nedeniyle sürücü içindeki direncin ısı üretme hızı, sürücünün ve bağlı olduğu fin yapıları soğutucunun ısı terk etme hızından çok daha fazla olmuştur. Böylece sürücü hızlı bir şekilde ısınmıştır. Karşılaşılan bu durum neticesinde testlerde en düşük şanzıman aktarma oranı olarak 1,00 kullanılmıştır.

3.1. SABİT ŞANZIMAN AKTARMA ORANLARI İLE YAPILAN YOL TESTLERİ

Bu bölümde, araç üzerindeki şanzımanın pasif durumda olduğu yol testleri gerçekleştirilmiştir. Şanzıman elle 0,60 ile 2,00 arasında herhangi bir aktarma oranına sahip olabilecek şekilde ayarlanabilmektedir. Bu bölümdeki testlerde şanzıman aktarma oranı sırasıyla 1,00, 1,25, 1,50 ve 1,75 aktarma oranlarına sahip olacak şekilde ayarlanarak sürüş yapılmıştır. Bu testler ile, araç üzerinde bir şanzıman olmasa idi ve motordan aksa doğrudan bir dişli çifti ve zincir ile aktarma yapılsa idi, farkı dişli oranlarında ortaya çıkacak olan araç menzil değerlerinin ve performansının ölçülmesi amaçlanmıştır.

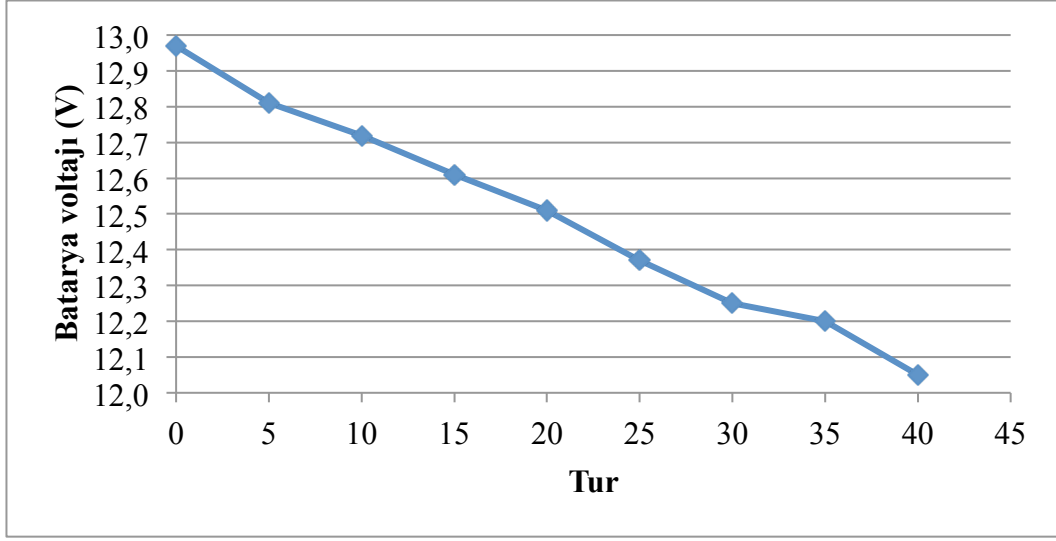
3.1.1. Birinci Yol Testi: 1,00 Sabit Şanzıman Aktarma Oranı

Şanzıman aktarma oranının elle 1,00'a ayarlanması sonucunda yapılan birinci yol testinin menzil, ortalama hız ve en yüksek anlık hız sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Yapılan yol testleri içerisinde en düşük aktarma oranı ile yapılmış olan birinci testin sonucunda, tüm testlerdeki menzil değerlerinin en düşüğü elde edilmiştir. Bu testte aracın kalkışlarda zorlandığı gözlenmiştir. Aktarma oranının düşük olması nedeniyle aracın hızlanması gecikmiş, bunun nedeni olan motorun hızlanması da gecikmiştir. Düşük devir değerlerinde bataryadan yüksek değerde akımı, hızlanmaya kadar geçen uzun süreler boyunca çekmek zorunda kalan motor, yüksek miktarda enerji tüketimine ve ısı oluşumuna neden olmuştur. Bu nedenle bu araç tasarımında, kalkışlarda 1,00 aktarma oranından daha yüksek bir oranın kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3.1. Birinci yol testi için menzil ve performans verileri.

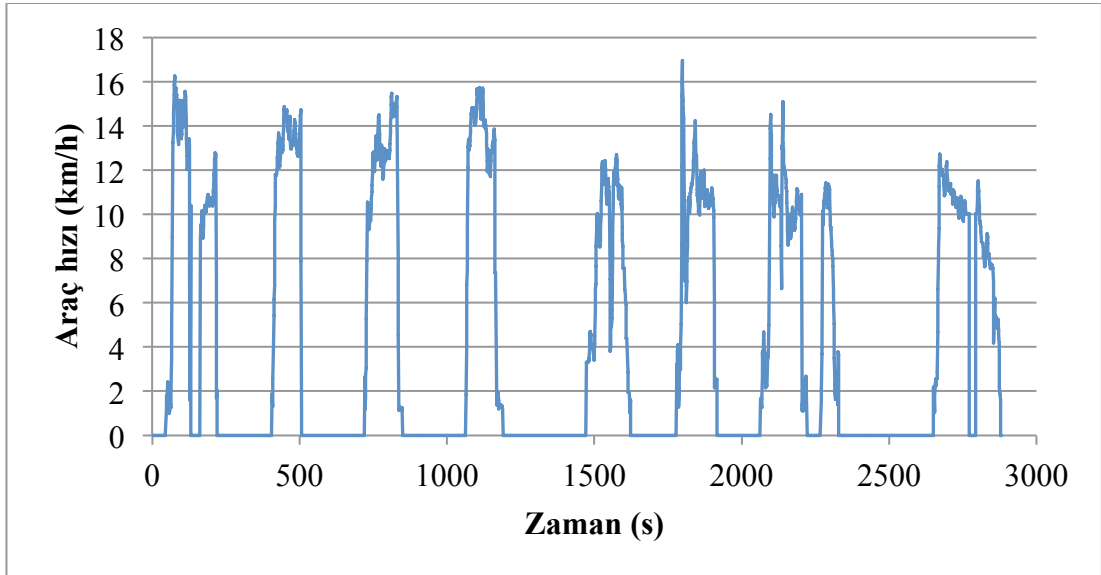
Menzil (km)	2,956
Ortalama araç hızı (km/h)	7,6
En yüksek anlık hız (km/h)	16,8

Testlerde her beş turda bir araç durdurulmuş ve 12 V anma voltaj değerine sahip her iki bataryanın voltaj değerleri ölçülmüştür. Her duruşta, ölçülen iki değer ortalama kaydedilmiş olup, ortalama voltaj değerlerinin turlara göre değişimi Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Birinci testin genelinde batarya voltajı düzenli bir düşüş göstermiş olup, son beş turda batarya voltajı daha hızlı ve fazla miktarda bir düşüş göstermiştir. Bunun nedeni, otuz beşinci turdan sonra batarya kapasitesinin aracın çekiş kuvvetinde hissedilir ölçüde bir düşüşe neden olacak kadar azalmış olmasıdır. Son 5 turda araç, yavaşlamış olmasına rağmen sürülmeye devam edilmiş ve bunun sonucunda motorun, bataryalardan anma akımından daha yüksek miktarda akım çekmesi nedeniyle batarya voltajında ani bir düşüş gözlenmiştir.



Şekil 3.3. Birinci yol testinde iki bataryanın voltaj değerlerinin ortalamasının turlara göre değişimi.

Şekil 3.4’te aracın zamana karşı GPS uygulaması üzerinden ölçülen hızı verilmiştir. Aracın en yüksek hızı 16,8 km/h ölçülmüş olup, bu hız çok kısa süreli olarak elde edilmiştir. Ortalama araç hızı ise 7,6 km/h olarak gerçekleşmiştir. Araç pist üzerinde toplam 40 tur atarak testi tamamlamıştır.

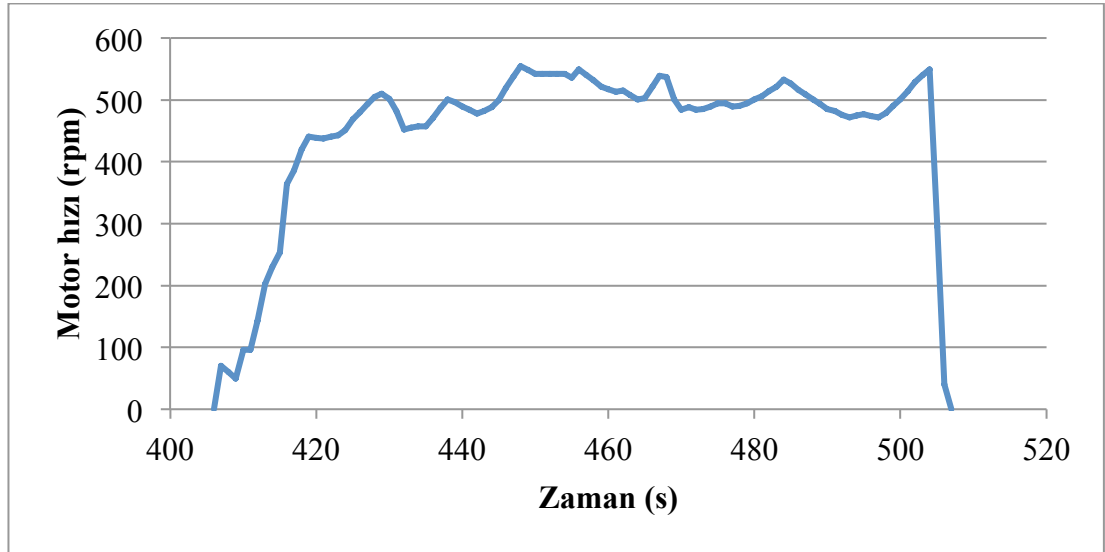


Şekil 3.4. Birinci yol testinde araç hızının zamana göre değişimi. Sıfırdan farklı hız değerlerinden oluşan her veri seti 5 turluk sürüşleri ifade etmektedir. 5 turluk sürüşler arasında ara verilmiştir.

Testlerden elde edilen hız-zaman diyagramları, ortalama hızın ölçülen ortalama hız değerinden daha fazla olması gerektiğini düşündürülebilir. Ölçülen ortalama hızın hız-

zaman diyagramında görülen değerlerin tahmini ortalamasının altında olmasının nedeni, beş turluk bölümler arasında aracın voltaj ölçüm noktasına giderken yavaşça yaptığı manevralar esnasında sahip olduğu hız değerlerinin diyagramdan çıkarılmış, fakat ölçülen hız ortalamasında hesaba katılmış olmasıdır.

Aracın sabit aktarma oranı ile çalışması sonucunda hız-zaman diyagramından elde edilebilen önemli bir sonuç, motorun hız-zaman diyagramıdır. Testlerde meydana gelen motorun hız değişimlerinin ve menzil sonuçlarının birlikte incelenmesi motorun verimli çalışma bölgesini tespit etmek açısından faydalı bir inceleme olacaktır. Her testte koşulan ikinci beş turluk bölümün araç hız değerlerinden yola çıkılarak motor hız değerleri hesaplanmıştır. 1,00 şanzıman aktarma oranı ile yapılan birinci yol testinde, beş turluk bir sürede motorun hız değişimi Şekil 3.5'te verilmiştir. Motor bu testte ortalama olarak dakikada 500 devir hız ile çalışmıştır.



Şekil 3.5. İkinci yol testinde 5 turluk bir veri aralığında motor hızının zamana göre değişimi.

3.1.2. İkinci Yol Testi: 1,25 Sabit Şanzıman Aktarma Oranı

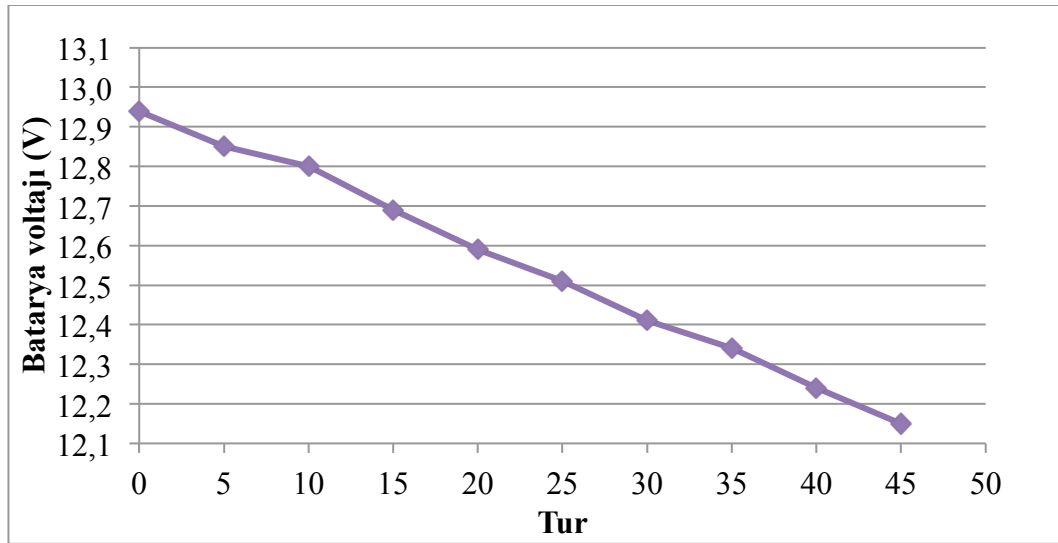
Şanzıman aktarma oranının elle 1,25'e ayarlanması sonucunda yapılan ikinci yol testinin menzil, ortalama hız ve en yüksek anlık hız sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir. İkinci testte aracın kalkışları ve hızlanması birinci teste kıyasla daha çabuk bir şekilde gerçekleşmiş olup, bu testin sonucunda birinci teste kıyasla %18,2

oranında önemli miktarda bir menzile artış elde edilmiştir. Durağan halden yol alması ve hızlanması kolaylaşan motor, birinci teste göre daha düşük yükte çalıştığı için daha çabuk hızlanarak verimli çalışma bölgelerine daha yakın hızlarda çalışmıştır. Birinci teste göre testin genelinde motorun daha az akım çekerek çalışması sonucunda motor sürücüsünün de daha az ısındığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.2. İkinci yol testi için menzile ve performans verileri.

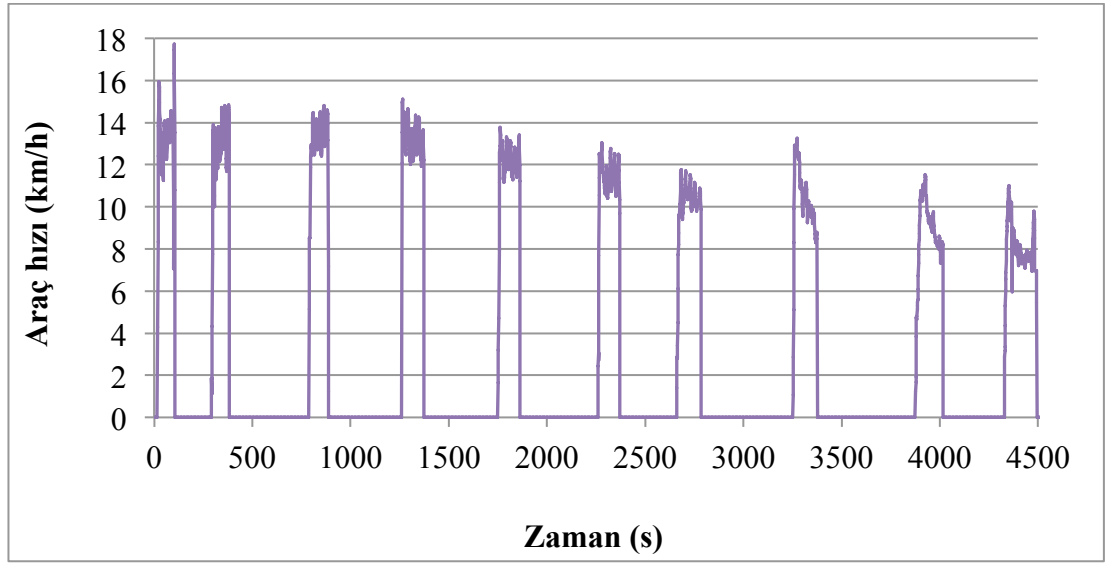
Menzile (km)	3,494
Ortalama araç hızı (km/h)	8,2
En yüksek anlık hız (km/h)	17,7

Birinci yol testinde uygulanan prosedür ikinci testte de tekrarlanmıştır. Bataryaların ortalama voltaj değerlerinin turlara göre değişimi Şekil 3.6'da gösterilmiştir. İkinci testin tamamında batarya voltajı düzenli bir düşüş göstermiş olup, birinci testte olduğu gibi son beş turda batarya voltajı daha hızlı ve fazla miktarda bir düşüş göstermemiştir. Yine son 5 turda araç, yavaşlamış olmasına rağmen sürülmeye devam edilmiştir. Buna rağmen testin son turlarında, önceki testte ortaya çıkan hızlı voltaj düşmesi gerçekleşmemiştir. Bunun nedeni, motorun birinci teste kıyasla daha az yük altında çalışması sonucunda daha çabuk hızlanması sayesinde motor sürücüsünün bataryadan daha az miktarda akım çekerek çalışmasıdır.



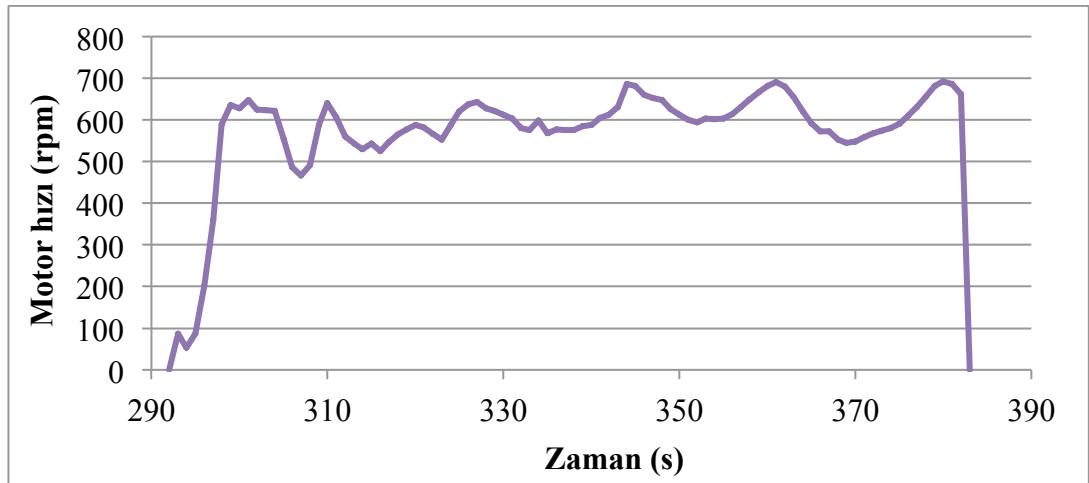
Şekil 3.6. İkinci yol testinde iki bataryanın voltaj değerlerinin ortalamasının turlara göre değişimi.

Şekil 3.7’de aracın zamana karşı GPS uygulaması üzerinden ölçülen hızı verilmiştir. Aracın en yüksek anlık hızı 17,7 km/h olarak ölçülmüştür. Birinci yol testine göre iyileşen menzile rağmen ortalama araç hızında kayda değer bir değişim gerçekleşmemiştir. Ortalama araç hızı 8,2 km/h olarak gerçekleşmiştir. Araç pist üzerinde toplam 47 tur atarak testi tamamlamıştır.



Şekil 3.7. İkinci yol testinde araç hızının zamana göre değişimi. Sıfırdan farklı hız değerlerinden oluşan her veri seti 5 turluk sürüşleri ifade etmektedir. 5 turluk sürüşler arasında ara verilmiştir.

1,25 şanzıman aktarma oranı ile yapılan ikinci yol testinde, beş turluk bir sürede motorun hız değişimi Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. İkinci yol testinde 5 turluk bir veri aralığında motor hızının zamana göre değişimi.

Motor bu testte ortalama olarak dakikada 600 devir hız ile çalışmıştır. Motor hızının hesaplanması için referans alınan test verisi, birinci testte olduğu gibi ikinci 5 turluk veri setidir. Test başlangıcındaki 5 turluk ilk setlerde birinci teste göre ortalama %20 oranında daha yüksek olan araç hız değerleri, testin ilerleyen kısımlarında düşmüş ve ortalama araç hızındaki farklılık %7,9 gibi daha düşük bir değere karşılık gelmiştir.

3.1.3 Üçüncü Yol Testi: 1,50 Sabit Şanzıman Aktarma Oranı

Şanzıman aktarma oranının elle 1,50'ye ayarlanması sonucunda yapılan üçüncü yol testinin menzil, ortalama hız ve en yüksek anlık hız sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir. Üçüncü yol testinde tüm sabit oranlı testlerin en yüksek menzil değeri elde edilmiştir. Testte aracın kalkışları ve hızlanması birinci ve ikinci teste kıyasla çok daha çabuk bir şekilde gerçekleşmiş olup, aracın performansındaki artış test esnasında kolayca gözlenebilmiştir. Yüksek aktarma oranı sayesinde üzerindeki yükün azalmasıyla birlikte durağan halde iken yol alması ve ardından hızlanması daha da kolaylaşan motor, en verimli çalışma bölgelerindeki hızlarda çalışmıştır. Bunun nedeni, bu yol testinde, tüm testler arasında motor üzerindeki en uygun yükleme durumunun elde edilmiş olmasıdır. Motor sürücüsünün sıcaklığı birinci ve ikinci testlere kıyasla daha az miktarda yükselmiştir.

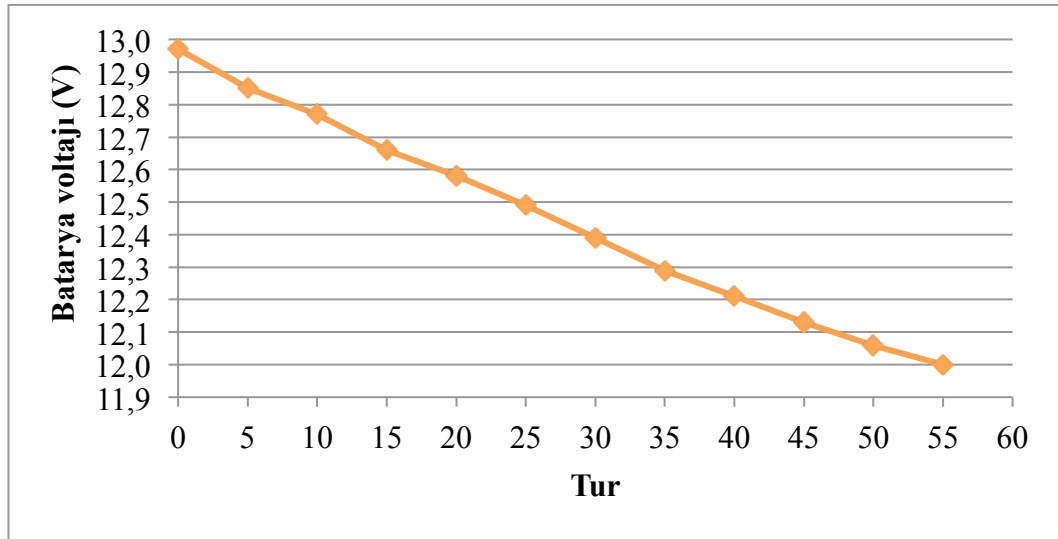
Çizelge 3.3. Üçüncü yol testi için menzil ve performans verileri.

Menzil (km)	4,349
Ortalama araç hızı (km/h)	10,1
En yüksek anlık hız (km/h)	19,9

Önceki testlerde uygulanan prosedür üçüncü testte de tekrarlanmıştır. Bataryaların ortalama voltaj değerlerinin turlara göre değişimi Şekil 3.9'da gösterilmiştir. İkinci testte olduğu gibi, bu testte de batarya voltajı test boyunca düzenli aralıklarla ölçüldüğünde düzenli bir düşüş göstermiş olup, birinci testte olduğu gibi son beş turda batarya voltajı daha hızlı ve fazla miktarda bir düşüş göstermemiştir. Motor önceki testlere kıyasla daha yüksek olan aktarma oranından dolayı daha az yük altında çalışmış, bunun sonucunda daha çabuk hızlanmış ve bu sayede motor

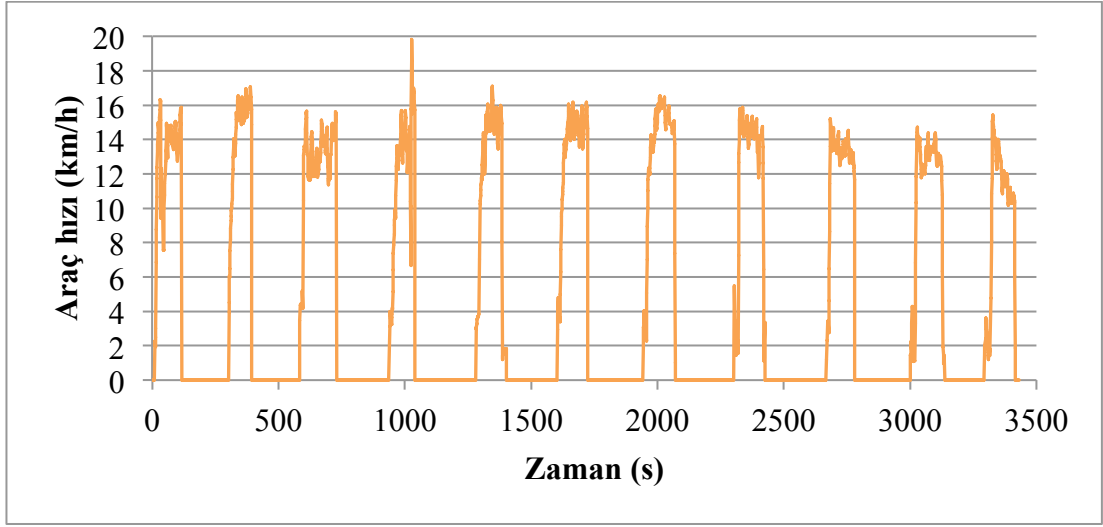
sürücüsü bataryadan, alınan birim yolda daha az miktarda akım çekerek daha az ısınmıştır.

Tüm yol testleri arasında en yüksek menzilin elde edildiği 1,50 şanzıman aktarma oranı ile yapılan bu testte, menzilde 1,00 şanzıman aktarma oranının kullanıldığı birinci teste göre %47,1 artış, 1,25 şanzıman aktarma oranının kullanıldığı ikinci teste göre %24,5 artış, 1,75 şanzıman aktarma oranının kullanıldığı dördüncü teste göre ise %28,7 artış sağlanmıştır. Motorun Şekil 2.15'te verilen verimin tork ile değişimi diyagramına göre, motor veriminin en yüksek olduğu tork aralığının 2-6 N.m olduğu görülmektedir. Kullanılan araçta, tasarlanan araç tahrik sistemi ile ve uygulanan test koşullarında sabit aktarma oranına sahip tahrik sisteminde menzil için optimizasyonun mümkün olduğu görülmüştür. 1,50 şanzıman aktarma oranı kullanıldığında elektrik motoru en verimli yüklenme koşulları altında çalışmış ve böylece motor sürücüsünden, alınan birim yolda en az miktarda akımı talep ederek en yüksek verimde çalışmıştır.



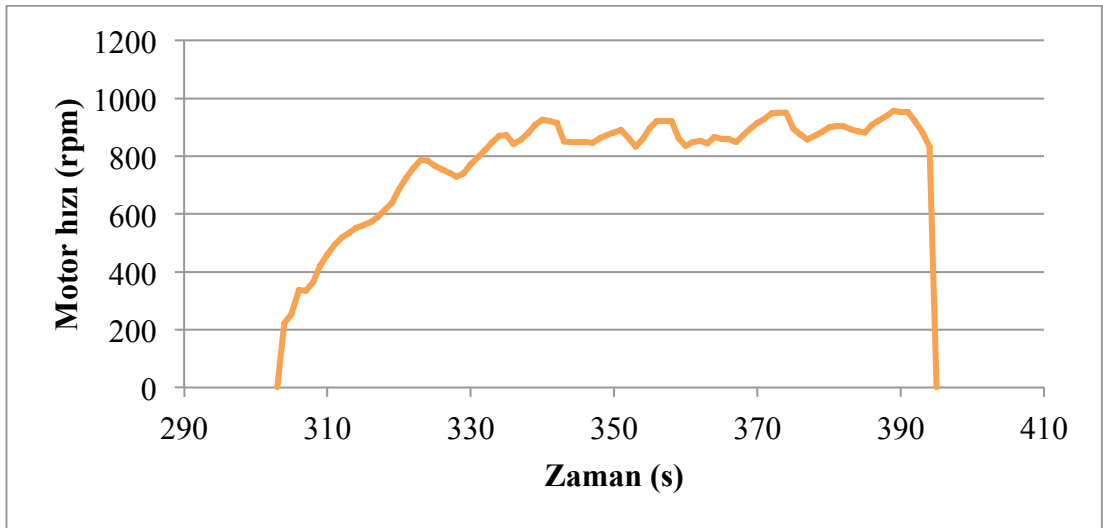
Şekil 3.9. Üçüncü yol testinde iki bataryanın voltaj değerlerinin ortalamasının turlara göre değişimi.

Şekil 3.10'da aracın zamana karşı GPS uygulaması üzerinden ölçülen hızı verilmiştir. Aracın en yüksek anlık hızı 19,9 km/h olarak ölçülmüştür. Birinci ve ikinci yol testlerine göre önemli miktarda iyileşen menzille birlikte, ortalama araç hızı da artmıştır.



Şekil 3.10. Üçüncü yol testinde araç hızının zamana göre değişimi. Sıfırdan farklı hız değerlerinden oluşan her veri seti 5 turluk sürüşleri ifade etmektedir. 5 turluk sürüşler arasında ara verilmiştir.

1,50 şanzıman aktarma oranı ile yapılan ikinci yol testinde, beş turluk ikinci bölümde gerçekleşen motor hız değişimi Şekil 3.11’de verilmiştir. Motor bu testte, düzenli bölgede ortalama olarak dakikada 900 devir hız ile çalışmıştır. Ortalama araç hızı birinci teste kıyasla %32,5, ikinci teste kıyasla %23,2 oranında artış göstererek 10,1 km/h olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3.11. Üçüncü yol testinde 5 turluk bir veri aralığında motor hızının zamana göre değişimi.

Araç pist üzerinde önceki testlerdeki gibi çekiş kuvveti sürücü tarafından hissedilir miktarda düşene dek sürülmüş ve toplam 58 tur atarak testi tamamlamıştır. Testin başından sonuna doğru, azalan batarya kapasitesinin beklenen bir sonucu olarak 5 turluk bölümlerde gerçekleşen ortalama araç hızı az miktarda düşüş göstermiştir. Bir deşarj çevrimi boyunca araç performansında ortaya çıkan bu düşüş, elektrikli araçların kullanıcı nezdinde olumsuz karşılanabilecek olan bir durumdur. Bu olumsuz durum, performans düşüşünü engelleyen veya sınırlayan gelişmiş motor kontrol ve batarya yönetim sistemlerinin kullanımı ile birlikte büyük ölçüde bertaraf edilebilmektedir.

3.1.4. Dördüncü Yol Testi: 1,75 Sabit Şanzıman Aktarma Oranı

Şanzıman aktarma oranının elle 1,75'e ayarlanması sonucunda yapılan dördüncü yol testinin menzil, ortalama hız ve en yüksek anlık hız sonuçları Çizelge 3.4'te verilmiştir. Bu testte, sabit şanzıman aktarma oranı ile yapılan ilk dört test arasında en yüksek performans elde edilmiştir.

Testte aracın kalkışları ve hızlanması önceki üç teste kıyasla çok daha çabuk bir şekilde gerçekleşmiş olup, aracın performansındaki gözle görülür şekilde yükselmiştir. Elektrik motorunun nominal devir hızına kadar hızlandıkça torkunu yüksek seviyede tutma kabiliyeti sayesinde, yüksek aktarma oranı sonucunda diğer testlere göre en az yük altında kalan motor, araç performansını tüm testler arasında en iyi seviyeye çıkarmıştır. Üçüncü testte olduğu gibi yüksek aktarma oranı sayesinde motorun, üzerindeki yükün azalmasıyla birlikte durağan halde iken yol alması ve ardından hızlanması daha da kolaylaşmıştır. Buna rağmen motor, üzerindeki yüklemenin bir sonucu olarak üçüncü teste göre daha az verimli bir çalışma bölgesinde çalışmıştır. Motor sürücüsünün sıcaklığında kritik bir yükselme olmamıştır. Düşük yükleme ve çabuk hızlanma sayesinde motor sürücüsü bataryadan, alınan birim yolda daha az miktarda akım çekerek önceki testlere göre daha az ısınmıştır.

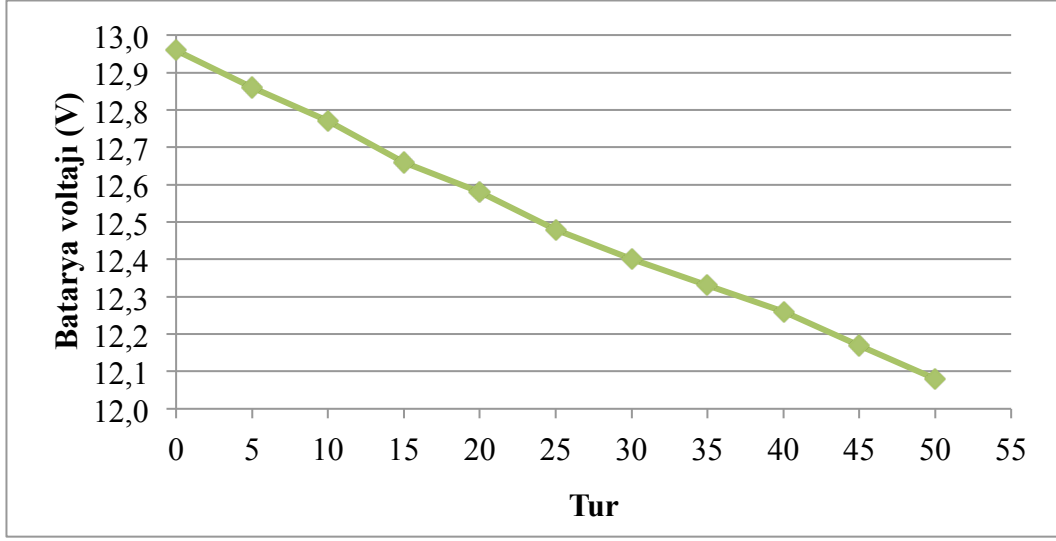
Çizelge 3.4. Dördüncü yol testi için menzil ve performans verileri.

Menzil (km)	3,378
Ortalama araç hızı (km/h)	10,4
En yüksek anlık hız (km/h)	17,1

Önceki testlerde uygulanan test prosedürü dördüncü testte de tekrarlanmıştır. Bataryaların ortalama voltaj değerlerinin turlara göre değişimi Şekil 3.12’de gösterilmiştir. İkinci ve üçüncü testte olduğu gibi, bu testte de batarya voltajı test boyunca düzenli aralıklarla ölçüldüğünde düzenli bir düşüş göstermiş olup, birinci testte olduğu gibi son beş turda batarya voltajı daha hızlı ve fazla miktarda bir düşüş göstermemiştir. Motor önceki testlere kıyasla en yüksek olan aktarma oranından dolayı en az yük altında çalışmış, bunun sonucunda daha çabuk hızlanmıştır.

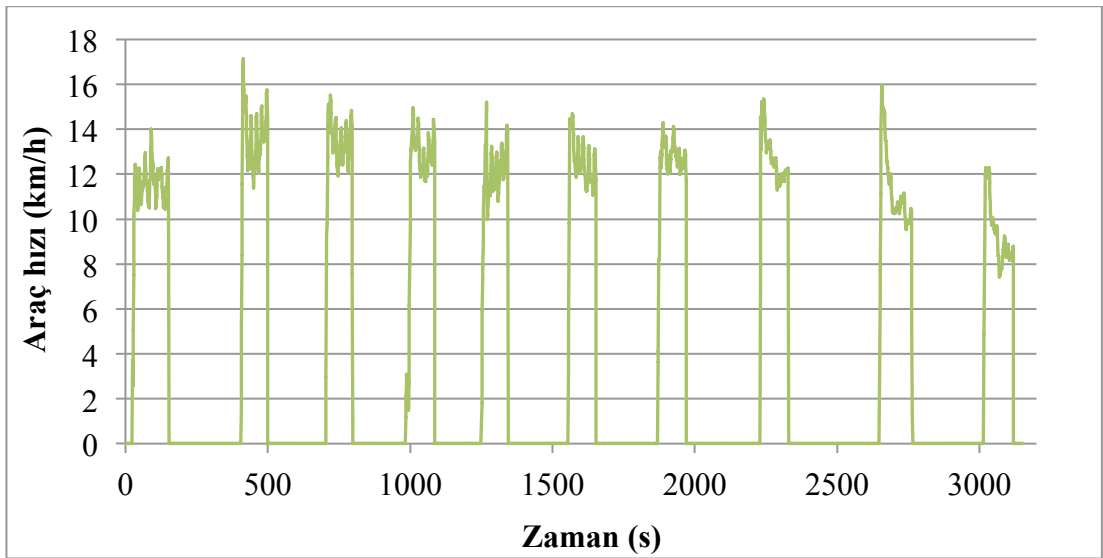
Ortalama hıza bakılarak ölçülen performans bakımından ikinci sırada bulunan üçüncü testin sonuçlarına göre ortalama hızda %3,0 artış sağlanmıştır. Ayrıca birinci ve ikinci teste kıyasla ortalama hızda sırasıyla %26,8 ve %36,8 artış sağlanmıştır. En iyi performansın elde edilmiş olmasına rağmen menzil bakımından en iyi sonucun gerçekleşmediği bu testte, menzilde birinci teste kıyasla %14,3 artış, ikinci teste kıyasla %3,3 düşüş ve üçüncü teste kıyasla %22,3 düşüş gerçekleşmiştir. Üçüncü teste göre menzilde önemli bir düşüşle birlikte performansta ihmal edilebilecek ölçüde düşük bir artış gerçekleşmiştir.

Motorun Şekil 2.15’te verilen verimin tork ile değişimi diyagramına göre, motor veriminin en yüksek olduğu tork aralığının 2-6 Nm olduğu, bu tork aralığından önce ve sonra motor veriminin düştüğü görülmektedir. 1,75 sabit şanzıman aktarma oranı motorun üzerindeki yükün azalmasını ve kısa mesafelerde yüksek hızlara çıkmasını mümkün kılmıştır. Fakat bu durum, motorun sürücüden talep ettiği ve çektiği akımı daha verimli kullandığı anlamına gelmemektedir. Yapılan faydalı iş endüvi üzerinde elektrik enerjisinden mekanik enerjiye dönüştürülen enerji miktarına bağlıdır. Test sonuçları, motorun yükleme koşullarının Şekil 2.15’te görülen, en yüksek verim sağlayan tork bölgesinin gerisinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.12. Dördüncü yol testinde iki bataryanın voltaj değerlerinin ortalamasının turlara göre değişimi.

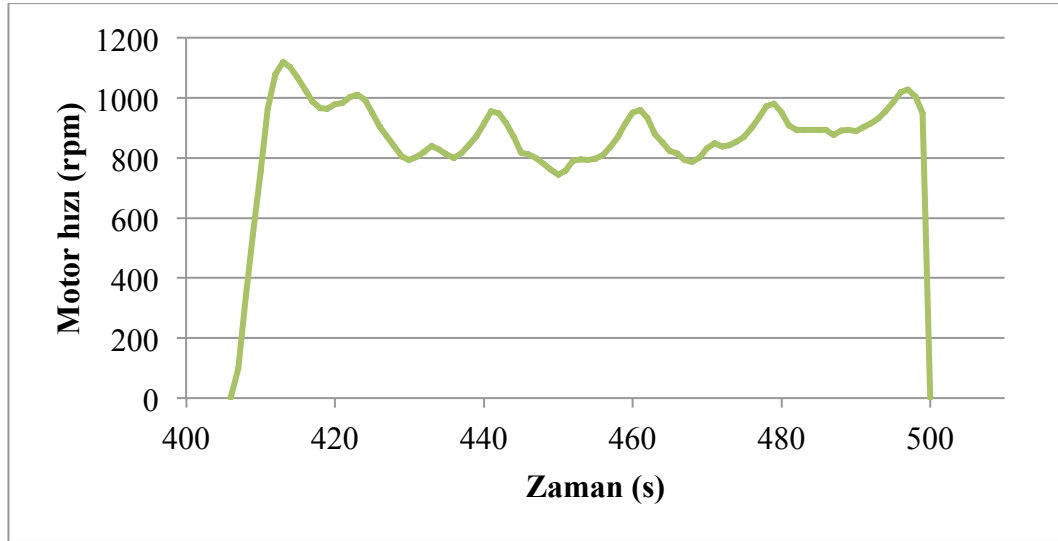
Şekil 3.13'te aracın zamana karşı GPS uygulaması üzerinden ölçülen hızı verilmiştir. Aracın en yüksek anlık hızı 17,1 km/h olarak ölçülmüştür. Test boyunca motor, nominal devrine ulaşmamıştır. Motor nominal devrine ulaşana dek neredeyse sabit tork ürettiğinden ve bu testte yüksek aktarma oranı sayesinde en az yük altında kalarak daha çabuk hızlandığından, en yüksek anlık ortalama ve anlık hızın bu testte ortaya çıkmış olması beklenebilir.



Şekil 3.13. Dördüncü yol testinde araç hızının zamana göre değişimi. Sıfırdan farklı hız değerlerinden oluşan her veri seti 5 turluk sürüşleri ifade etmektedir. 5 turluk sürüşler arasında ara verilmiştir.

En yüksek ortalama hız elde edilmiş, fakat en yüksek anlık hız elde edilmemiştir. Bunun nedeni, piston yapısı ve araç sürücüsünün performans odaklı bir sürüş yerine enerji verimliliği odaklı bir sürüş yapmasıdır. Her testte bu sürüş yöntemi uygulandığından, performans kriteri olarak en yüksek anlık araç hızı yerine ortalama araç hızı dikkate alınmıştır.

1,75 şanzıman aktarma oranı ile yapılan ikinci yol testinde, beş turluk ikinci bölümde gerçekleşen motor hız değişimi Şekil 3.14’de verilmiştir. Motor bu testte, düzenli bölgede ortalama olarak dakikada 950 devir hız ile çalışmış, bazı noktalarda motor hızı dakikada 1100 devre kadar yükselmiştir.



Şekil 3.14. Dördüncü yol testinde 5 turluk bir veri aralığında motor hızının zamana göre değişimi.

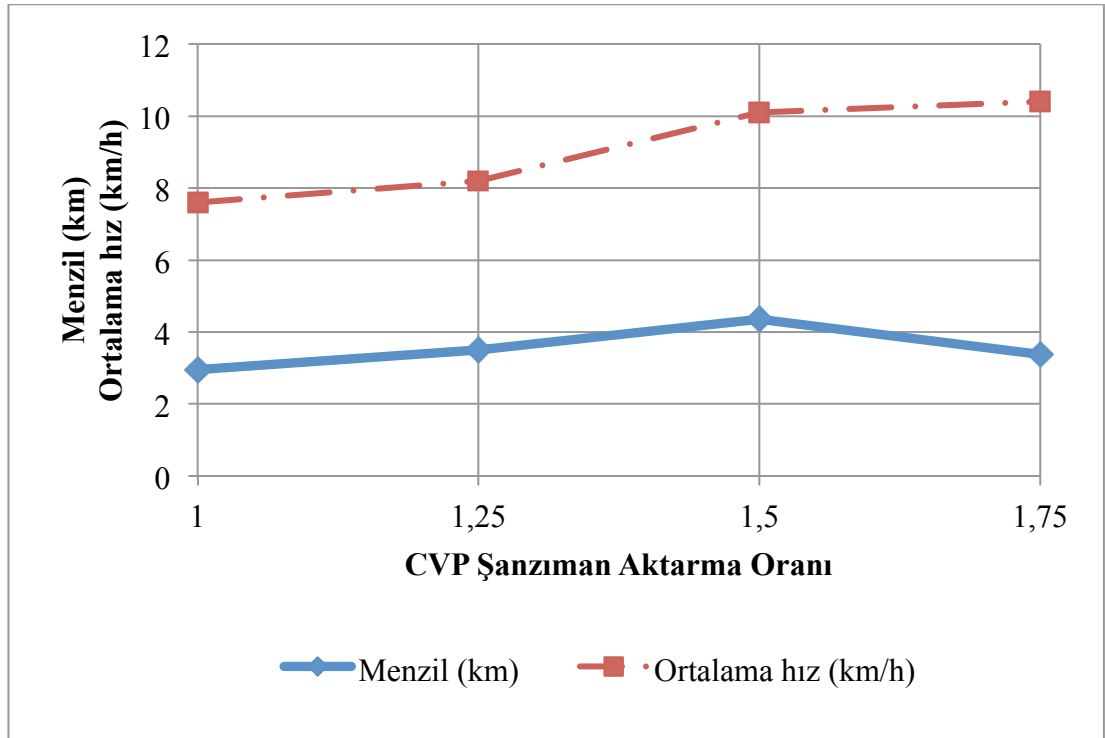
Tüm testlerde her turda ve her beş turluk bölümde aynı motor hız profili elde edilememiştir. Bunun nedeni, değişen araç hızı ile birlikte araç sürücüsünün enerji verimliliği odaklı bir sürüş yapmaya çalışmasıdır. Üçüncü testte Şekil 3.11 ile verilen motor hızı değişim diyagramında görülen turlardaki hız profilinin başlangıçta düzensiz olmasının nedeni budur. Testlerin tümünde, ilerleyen turlarda hız profilleri daha düzenli hale gelmiştir. Dördüncü testte motor hızı değişimini gösteren Şekil 3.14’te ise oldukça düzenli bir sürüş sonucunda turlarda gerçekleşen düzenli hız profili görülmektedir.

1,00 ile 1,75 arasında değişen sabit şanzıman aktarma oranları ile gerçekleştirilen yol testlerinde elde edilen menzil ve ortalama araç hızı değerleri Çizelge 3.5'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.5. Sabit şanzıman aktarma oranları ile gerçekleştirilen testlerde elde edilen menzil ve ortalama araç hızı değerleri

Şanzıman aktarma oranı	Menzil (km)	Ortalama hız (km/h)
1,00	2,956	7,6
1,25	3,494	8,2
1,50	4,349	10,1
1,75	3,378	10,4

Çizelge 3.5'te verilen, ilk dört yol testine ait menzil ve ortalama hız değerlerinin şanzıman aktarma oranına göre değişim diyagramı Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. İlk dört yol testine ait menzil ve ortalama hız değerlerinin şanzıman aktarma oranına göre değişimi

Şekil 3.15'te aracın yol testlerindeki ortalama hız değerlerinin aktarma oranı ile birlikte arttığı görülmektedir. Şanzıman aktarma oranı 1,00 ile 1,75 arasında 0,25'lik

düzenli aralıklarla artırılmıştır. Bununla birlikte 1,00 ile 1,25 aktarma oranları arasında ortalama hız sonuçlarında 0,6 km/s kadar küçük bir fark olduğu, 1,50 oranına geçildiğinde ise 1,25 aktarma oranına göre 1,9 km/s kadar görece daha büyük bir artış olduğu görülmüştür. 1,75 aktarma oranına geçildiğinde ise 1,50 aktarma oranına göre ortalama hızda 0,3 km/h değerinde yine küçük bir artış meydana gelmiştir. İlk iki düşük aktarma oranında elde edilen birbirine yakın ortalama hız değerlerinden sonra, son iki yüksek aktarma oranında elde edilen yine birbirine yakın ortalama hız değerleri arasındaki görece büyük farkın nedeni, ilk iki testte motor üzerindeki görece fazla yükün, motorun nominal akım değerine ulaşmasına müsaade etmemesi sonucunda motorun yeterince hızlanamaması, son iki testte ise motor üzerindeki görece az yük nedeniyle motorun nominal akım değerine ulaşabilmesi veya daha fazla yaklaşabilmesi sonucunda hızlanabilmesidir.

Şekil 3.5'teki diyagramda görülen menzil değerlerinin şanzıman aktarma oranına göre dağılımı ise 1,00 aktarma oranından 1,50 aktarma oranına kadar artan hızda bir artış göstermiş, 1,75 aktarma oranında ise menzil tekrar 1,25 aktarma oranında elde edilen seviyelere düşmüştür. Araçta kullanılan kalıcı mıknatıslı doğru akım motorunun Şekil 2.15'te verilen çalışma verimi karakteristiği göz önüne alındığında, motorun, ürettiği tork ile değişen çalışma verimlerine sahip olduğu görülmektedir. Verim, tork ile birlikte önce hızlıca yükselmektedir. Bu evre motorun yol alma evresidir. Motor yol aldıktan ve ürettiği tork belli bir miktara kadar yükseldikten sonra çalışma verimi zirveye ulaşmakta ve torkun artmaya devam etmesiyle birlikte verim düşüşe geçmektedir. Elde edilen menzil sonuçları, şanzıman 1,50 aktarma oranına sahip olduğunda motorun en verimli olduğu tork değerlerinde çalıştığını göstermektedir. Böylece kullanılan aracın, kullanılan pistte en iyi menzili ortaya koyması için sahip olması gereken aktarma oranı 1,50 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç, şanzımana sahip olmayan ve böylece tahrik sistemindeki aktarma oranı değişmeyen bir aracın zamana karşı hız ile tanımlanabilecek olan belli bir çalışma karakteristiğinde, sahip olacağı menzil üzerinde aracın tahrik sisteminin sahip olduğu aktarma oranının değiştirilmesiyle birlikte bir optimizasyon çalışması yapılabileceğini gösteren önemli bir sonuçtur. Bu çalışmanın sonuçları dikkate alındığında, 1,50 aktarma oranında sahip olunan ortalama araç hızı ile 1,75 aktarma

oranında sahip olunan ortalama araç hızı arasındaki yalnızca 0,3 km/s değerindeki fark ihmal edilirse, 1,50 aktarma oranının hem menzil hem de performans bakımından en iyi sonuçları verdiği ve bu araç ile bu çalışma koşullarındaki ideal şanzıman aktarma oranı olduğu söylenebilir.

Sabit şanzıman aktarma oranı ile yapılan testlerde araç performansı kavramı yalnızca, bu çalışma kapsamında ölçülebilmüş olan ortalama hız ile ilişkilendirilmiştir. Bununla birlikte performansın bir diğer önemli ölçütü tırmanma açısıdır. Şanzıman aktarma oranının artması sonucunda tahrik sisteminin araca uyguladığı itme kuvveti artar. Bu durumda bu testlerdeki en yüksek tırmanma açısının 1,75 aktarma oranına sahip olan araçta elde edilmesi beklenir. Böylece tahrik sistemi aktarma oranı sabit olan bir araçta performans konusunda, aracın ulaşabileceği en yüksek hız ve tırmanabileceği en yüksek açı arasında her zaman bir taviz söz konusu olur. Şanzımanın aktif olarak kullanıldığı durumda ise aktarma oranı değişken olacağından, tırmanma açısından taviz vermeksizin en yüksek araç hızı değerleri elde edilebilir. Böylece performansı belirleyen kriterlerin tümü birlikte eniyileştirilebilir.

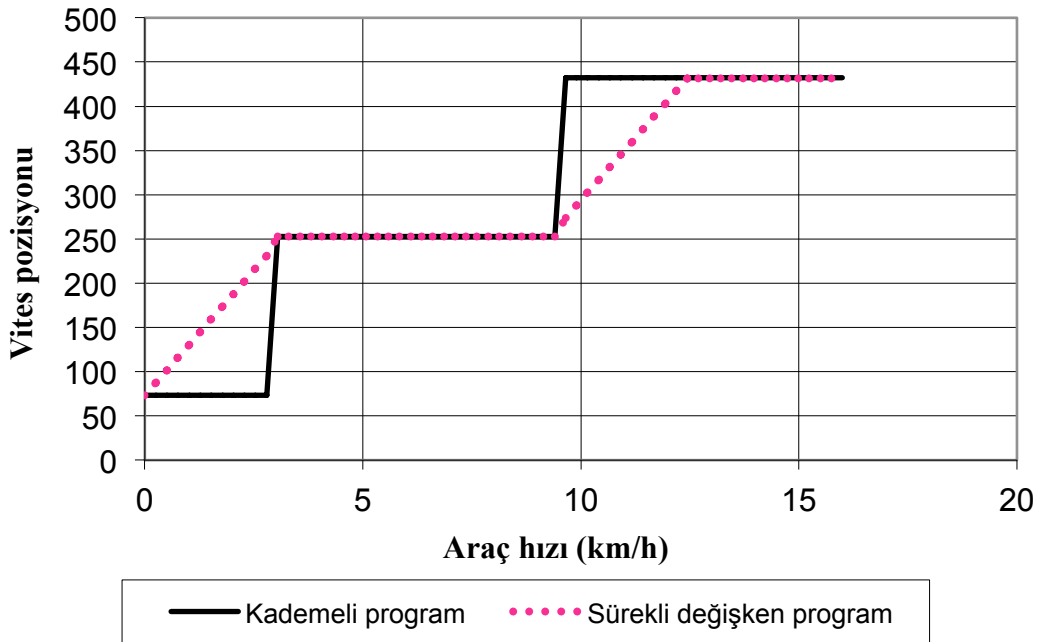
3.2. DEĞİŞKEN ŞANZIMAN ORANLARI İLE YAPILAN YOL TESTLERİ

Bu bölümde şanzıman, otomatik şanzıman işlevi görerek sürüş esnasında araç hızına göre değişken aktarma oranı sağlamıştır. Kademeli ve sürekli değişken şanzıman kullanımının menzil ve performans üzerindeki sonuçları bu bölümde incelenmiştir. Bu bölümde gerçekleştirilen iki testin ilkinde şanzıman, manuel bir şanzıman gibi kademeli oranlarla çalıştırılmıştır. İkinci testte ise şanzıman, hem sürekli değişken aralıklara, hem de kademeli aralıklara sahip olacak şekilde çalıştırılmıştır. Sabit şanzıman aktarma oranı ile yapılan testlerden farklı olarak, bu testlerde tahrik sistemine ilave olarak hız sensörü, şanzıman kontrolörü ve vites değiştirici parçalarının montajı yapılmıştır.

Şanzıman çıkış tekerleğinde 60° açı aralıklarıyla dizilmiş olan 6 adet manyetik cıvatanadan açılabilir hız bilgisini alan hız sensörü bu bilgiyi şanzıman kontrolörüne

göndermektedir. Şanzıman kontrolörü, 20 ms'lik periyotlarla bu bilgiyi işleyerek araç hızını hesaplamakta ve şanzımanı hesaplanan hıza karşılık olarak bünyesindeki vites geçiş programında belirtilen vites pozisyonuna getirmek üzere vites değiştiriciye mesaj göndermektedir. Vites değiştirici bünyesindeki servo motor, kontrolörden aldığı mesaj ile şanzıman ekseninden geçen vites çubuğunu çevirmekte ve şanzımanın aktarma oranını değiştirerek gereken oranı sağlamaktadır.

Sabit şanzıman aktarma oranı ile yapılan testlerden menzil ve performans hakkında önemli bilgiler edinilmiştir. Mevcut araç tasarımında ve mevcut test pistinde en ideal menzil ve performans sonuçlarının 1,50 şanzıman aktarma oranında elde edildiği bilgisine dayanılarak bir kademeli ve bir değişken oranlı iki farklı vites değiştirme çizelgesi hazırlanmıştır.

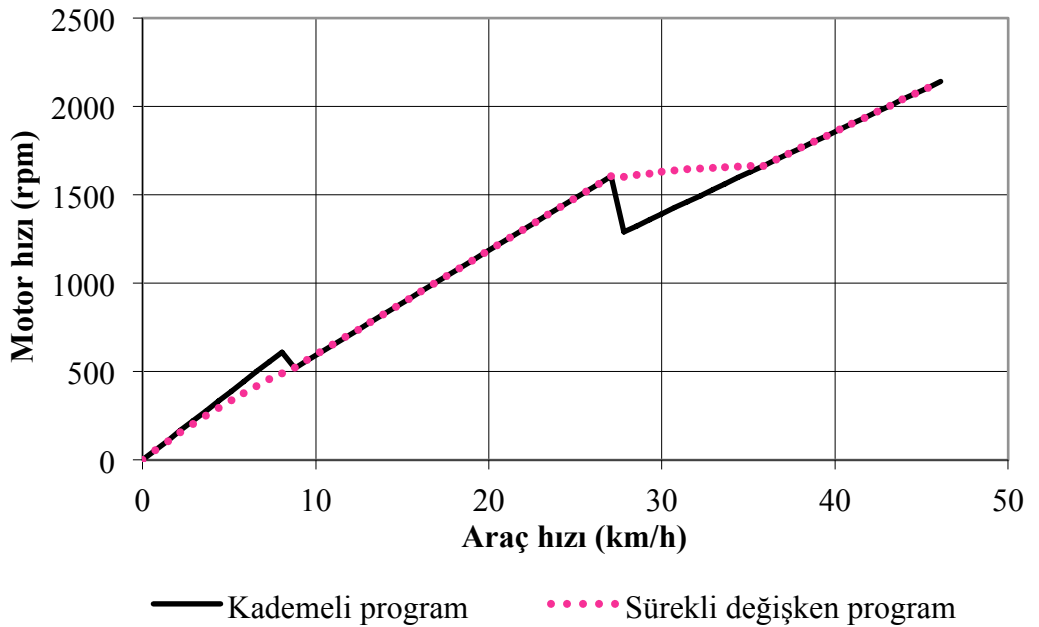


Şekil 3.16. Uygulanan şanzıman programları sonucunda motor hızının araç hızına göre karşılaştırmalı değişimi.

Şekil 3.16'da görüldüğü üzere, birinci çizelgede 0 km/h ile 8,78 km/h hız aralığında 1,75 aktarma oranı, 8,78 km/h ile 27,81 km/h hız aralığında 1,50 aktarma oranı ve 27,81 km/h ile 46,10 km/h hız aralığında 1,25 aktarma oranı oluşturulmuştur. İkinci çizelgede ise 0 km/h ile 8,78 km/h hız aralığında 1,75'ten 1,50'ye doğru doğrusal

olarak azalan aktarma oranları, 8,78 km/h ile 27,81 km/h hız aralığında 1,50 aktarma oranı ve 8,78 km/h ile 27,81 km/h hız aralığında 1,50'den 1,25'e doğru doğrusal olarak azalan aktarma oranları oluşturulmuştur. Aktarma oranının doğrusal olarak azalması vites pozisyonunun doğrusal olarak artması anlamına gelmektedir.

Şekil 3.17'de, kademeli ve sürekli değişken program uygulandığında araç hızına karşılık meydana gelen motor devir hızı değerleri gösterilmiştir. Kademeli oranların kullanıldığı programda motor tipik bir manuel şanzımanlı araç motoru gibi davranmakta, belirli bir devre yükseldikten sonra yüksek aktarma oranına sahip olan vitesten düşük aktarma oranına sahip olan vitese geçiş ile birlikte aracın eylemsizliği nedeniyle aniden yavaşlamakta ve tekrar hızlanmaya başlamaktadır. Sürekli değişken oranların kullanıldığı programda ise motor vites geçişleri ile birlikte yavaşlamamakta, ancak yüksek aktarma oranına geçiş noktalarında motorun açılma ivmesi azalmaktadır. Fakat motor hızı, artan araç hızı ile birlikte sürekli olarak artmaktadır.



Şekil 3.17. Uygulanan şanzıman programları sonucunda şanzıman vites pozisyonunun araç hızı ile karşılaştırmalı değişimi. Şanzıman kontrolörü araç hız bilgisini hız sensöründen alarak vites değiştirmektedir.

Şanzımanın vites değiştirme mekanizması, dönme ekseninden geçen vites çubuğunun döndürülmesine dayanmaktadır. Daha önceki sabit aktarma oranlı testlerin başlangıcında, aks devir hızı el takometresi ile ölçülmekte iken, kullanılmak istenen aktarma oranının tahrik sistemi hesaplamalarına göre motor üst hızında sağlaması gereken aks devir hızı elde edilene dek, vites çubuğu elle döndürülmekte idi. Bu bölümde ise vites çubuğu vites değiştirici tarafından kontrolör bünyesindeki programa göre otomatik olarak döndürülmektedir. Döndürülen vites çubuğu üzerindeki sonsuz dişlinin, şanzımanın dönme eksenini boyunca doğrusal olarak hareket ettirdiği şanzıman mekanizmasının pozisyonu, veya daha sade bir ifade ile vites çubuğunun pozisyonu, 23 ile 977 arasında değişen bir değer ile ifade edilmektedir. Çubuğun pozisyonu 23 iken şanzımanın aktarma oranı 2,00, çubuğun pozisyonu 977 iken şanzımanın aktarma oranı 0,54 olmaktadır.

Çizelge 3.6. Araç için hazırlanan ve şanzıman kontrolörüne yüklenen konfigürasyon çizelgesi.

Ayıklama çıktısı periyodu (ms)	20
Bir devirdeki hız ölçüm nokta sayısı	6
Tekerlek çevresi (mili inç)	54100
Devre kesme en düşük voltaj değeri (mV)	19200
Varsayılan batarya voltaj değeri (mV)	24000
Vites değiştirici kontrol modu	0
Vites değiştirici sıfırlama süresi (ms)	12000

Çubuğun pozisyonu ile şanzıman aktarma oranı doğrusal olarak değişmektedir. Buna göre hazırlanan vites değiştirme çizelgeleri, virgülle ayrılmış metin dosyası biçimindeki .CSV formatında hazırlanarak bilgisayardaki şanzıman uygulaması vasıtası ile seri bağlantı noktasına bağlanan USB kablosu üzerinden şanzıman kontrolörüne gönderilmektedir. Laboratuvar ortamında aracın arka tekerlekleri havaya kaldırılmış durumda iken yapılan testlerde, araç çalışır durumda iken şanzıman kontrolörü seri bağlantı noktasından bilgisayara bağlanabilmekte ve anlık olarak mevcut vites pozisyonu, hedef vites pozisyonu ve araç hızı gibi değerler 20 ms'lik periyotlarla okunabilmektedir. Şanzıman kontrolörüne kademeli şanzıman programı yüklü olduğu ve aracın tekerleklerinin havaya kaldırılmış olduğu durumda iken, yapılan hızlanma testinde araç 3 saniye içinde en yüksek hızı olan 49 km/h hıza

ulaşmıştır. 3 saniye boyunca 20 ms periyotlarla kaydedilen araç hızı ve vites pozisyonu değerleri EK-2’de verilmiştir.

Vites değiştirme çizelgelerinin kontrolör tarafından uygulanabilmesi için, kontrolörün araç hızını hesaplayabilmesi gerekmektedir. Sensörden tekerlekteki açısal hız değerini alan kontrolörün araç hızını hesaplayabilmesi için tekerleğin çevre veya çap değerine ihtiyacı vardır. Tekerlek çevresinin değeri bilgisi, kontrolöre vites değiştirme çizelgelerinin yanı sıra yüklenmesi gereken bir diğer dosya olan konfigürasyon çizelgesi ile aktarılmaktadır. Konfigürasyon çizelgesi de vites değiştirme çizelgeleri gibi virgülle ayrılmış metin dosyası biçimindeki .CSV formatında kontrolöre yüklenmektedir. Araç için hazırlanan konfigürasyon çizelgesindeki bazı önemli bilgiler Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6’da belirtilen ayıklama çıktısı periyodu, kontrolör seri bağlantı noktasından bilgisayara bağlandığında araç hızı, mevcut vites pozisyonu, hedef vites pozisyonu ve batarya voltajı gibi değerlerin okunduğu veri satırının yenilenme periyodunu ifade etmektedir.



Şekil 3.18. Hız sensörü ve manyetik civatalar aks yerine şanzıman çıkış tekerleği eksenine üzerine yerleştirilmiştir.

Bu çizelgeyi hazırlayan şanzıman üreticisi, hız sensörünün, montajı tekerlek eksenine yapılan manyetik civatalardan hız okuyacağını varsaymıştır. Fakat bu tez çalışması kapsamında üretilen araçta manyetik civatalar aks üzerine değil, Şekil 3.18'de görüldüğü gibi şanzıman çıkış tekerleği eksenine yerleştirilmiştir. Bu durumda kontrolörün araç hızını doğru hesaplayabilmesi için, konfigürasyon çizelgesindeki tekerlek çevresi değeri için, gerçek tekerlek çevresi yazılmamalıdır. Bunun yerine, tekerleğin alacağı yolu, sensörün açısal hızını ölçtüğü döner elemanın eksenine takıldığı düşünülen hayali bir tekerleğin aldığı varsayılmış ve bu hayali tekerleğin çevresi hesaplanmıştır. Tahrik sisteminde hareket şanzıman çıkış tekerleğinden 0,64 aktarma oranı ile aksa aktarılmaktadır. Bu durumda şanzıman çıkış tekerleği eksenine takıldığı düşünülen hayali tekerlek gerçek tekerleğin 0,64 katına eşit olan bir açısal hız ile döner. Alınan yollar eşit olduğuna göre, tekerleklerin yüzeydeki çizgisel hız değerleri de eşit olur. Hayali tekerleğin yüzeyindeki çizgisel hız v_h , gerçek tekerleğin yüzeyindeki çizgisel hız v_g ile verilirse Denklem 3.1'deki eşitlik sağlanmalıdır.

$$v_h = v_g \quad (3.1)$$

Buradan, ω_h ve ω_g sırasıyla gerçek ve hayali tekerleğin açısal hızı, R_h ve R_g ise sırasıyla gerçek ve hayali tekerleğin yarıçapı olmak üzere Denklem 3.2'ye geçilir.

$$\omega_h * R_h = \omega_g * R_g \quad (3.2)$$

Hayali tekerlek ile gerçek tekerleğin açısal hız oranı 0,64 olduğuna göre,

$$R_h = R_g/0,64$$

Elde edilir. Çevre yarıçap ile orantılı olduğundan, hayali tekerlek çevresi P_h 'nin değeri gerçek tekerlek çevresi olan 879,6 mm değerinden bulunur.

$$P_h = 1374 \text{ mm}$$

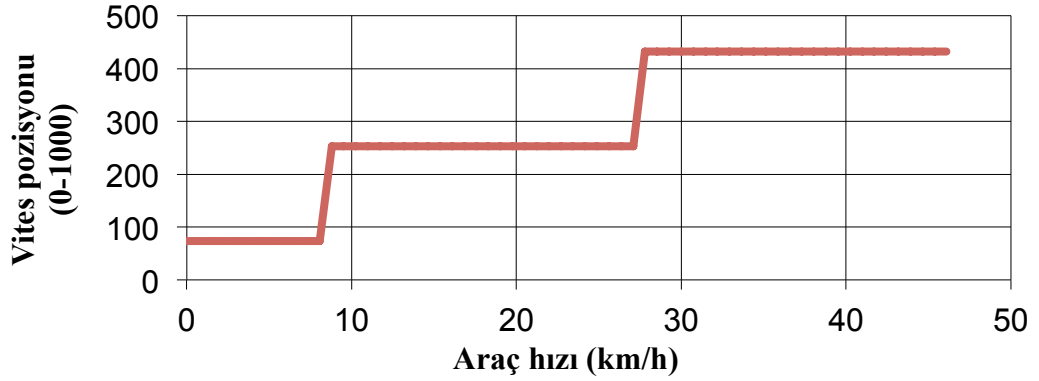
Konfigürasyon çizelgesine tekerlek çevre değerinin mili inç biriminde girilmesi gerektiği için, bu alana gerçek tekerlek çevresi olan 34600 mili inç yerine 54100 mili inç değeri girilmiştir. Böylece araç hızı kontrolöre tekerlek eksenine yerine şanzıman çıkış tekerleği eksenine üzerinden tanıtılmıştır.

Çizelge 3.6'da devre kesme en düşük voltajı olarak ifade edilen büyüklük, batarya voltajının belirtilen 19200 mV değerinin altına düşmesi durumunda şanzıman sisteminin pasif duruma geçeceğini ve vites değiştirme işlevini yerine getirmeyeceğini ifade etmektedir. Vites değiştirici kontrol modu için 0 girildiğinde şanzıman, bünyesindeki vites değiştirme çizelgesine göre çalışmakta olup, 1 girildiğinde ise manuel olarak bir vites kolu ile çalıştırılması gerekmektedir.

Şanzıman kontrolörüne bataryadan enerji verildiği anda mevcut vites pozisyonundan bağımsız olarak vites değiştirici belli bir süre boyunca vites çubuğunu başlangıç pozisyonu olan 23 pozisyonuna doğru döndürmektedir. Vites değiştirici sıfırlama süresi, bu süreyi belirlemektedir. Bu süre içerisinde çubuk başlangıç konumu olan 23'e ulaşmalı ve ardından kontrolörde yüklü olan vites değiştirme çizelgesindeki başlangıç konumuna gelmelidir. Vites çubuğu önce 23 pozisyonuna gelmez ise, çizelgedeki başlangıç konumuna ayarlanamamakta ve çalışmamaktadır. Bu yüzden bu sıfırlama süresinin yeterince uzun olması gerekmektedir.

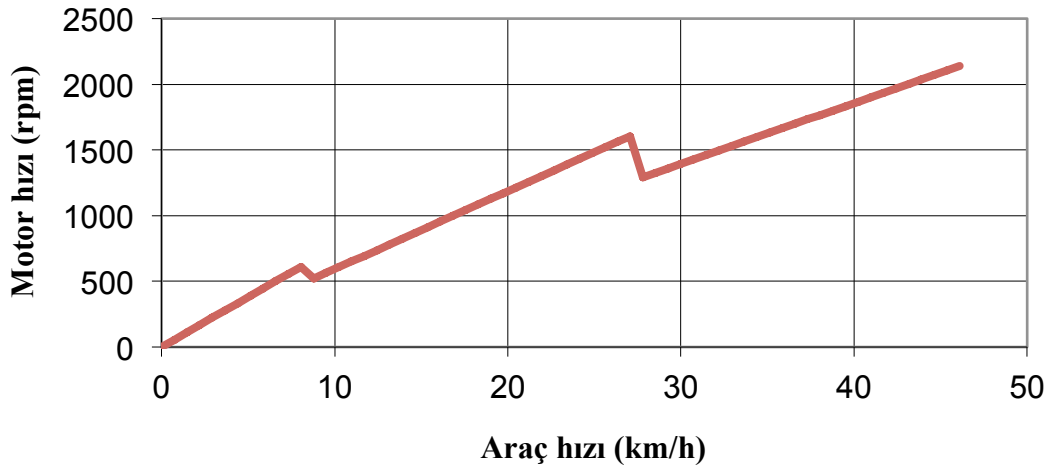
3.2.1. Beşinci Yol Testi: Kademeli Otomatik Şanzıman Programı

Bu yol testinde araca kademeli bir otomatik vites değiştirme programı yüklenmiştir. Şekil 3.19'da verilen bu programa göre kalkışta 1,75 olan şanzıman aktarma oranı 8,78 km/h araç hızı elde edildikten sonra 1,50'ye düşmektedir. Testin bu iki aktarma oranı ile gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Buna rağmen 27,81 km/h araç hızından sonra motor hızını düşürmek amacıyla aktarma oranı 1,25 olacak şekilde ayarlanmıştır. Fakat araç test boyunca 27,81 km/h hıza ulaşmadığı için şanzıman 1,25 aktarma oranını kullanmamıştır.



Şekil 3.19. Kademeli programda şanzıman vites pozisyonunun araç hızı ile değişimi. Şanzıman kontrolörü araç hız bilgisini hız sensöründen alarak vites değiştirmektedir.

Araç hızına göre motorun devir hızındaki değişim Şekil 27’de verilmiştir. Eğri, manuel şanzımanlı araçlardan bilinen motor hızlanma eğrileri gibidir.



Şekil 3.20. Kademeli şanzıman programı sonucunda motor hızının araç hızına göre değişimi.

Kademeli otomatik şanzıman programının şanzıman kontrolörüne yüklenmesi sonucunda yapılan beşinci yol testinin menzil, ortalama hız ve en yüksek anlık hız sonuçları Çizelge 3.7’de verilmiştir. Beşinci yol testinde tüm sabit oranlı testlerden daha yüksek bir menzil elde edilmiştir. Araç kalkışlarda 1,75 aktarma oranı ile çalıştığı için dördüncü testte olduğu gibi hızlı kalkışlar gerçekleştirmiş ve yüksek ivme ile hızlanmıştır. Kalkışta 1,75 aktarma oranının avantajını kullanan motor, 8,78 km/k araç hızından sonra şanzımanın 1,50 aktarma oranına geçmesi ile birlikte en verimli çalışma bölgelerindeki hızlarda çalışmaya devam etmiştir. Motor

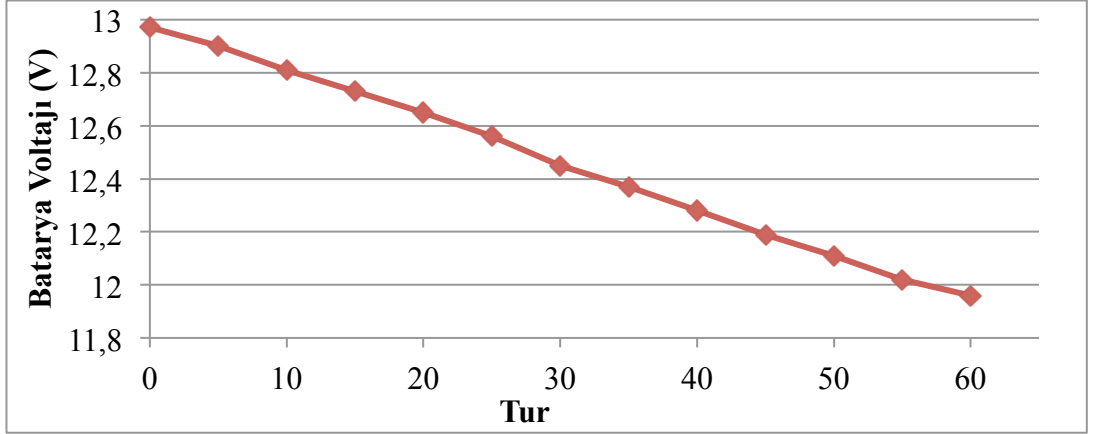
sürücüsünün sıcaklığı üçüncü ve dördüncü testlerde gözlemlenen sıcaklığa yakın bir düzeye yükselmiştir. Kritik bir ısınma gerçekleşmemiştir.

Önceki testlerde uygulanan prosedür beşinci testte de tekrarlanmıştır. Bataryaların ortalama voltaj değerlerinin turlara göre değişimi Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Testlerin genelinde olduğu gibi batarya voltajı test boyunca düzenli aralıklarla ölçüldüğünde düzenli bir düşüş göstermiştir. Yine birinci ve ikinci testlere göre motor, yüksek şanzıman aktarma oranlarından dolayı az yük altında çalışmış, çabuk hızlanmış ve böylece motor sürücüsü bataryadan, alınan birim yolda daha az miktarda akım çekerek daha az ısınmıştır.

Çizelge 3.7. Beşinci yol testi için menzil ve performans verileri.

Menzil (km)	4,842
Ortalama araç hızı (km/h)	11,9
En yüksek anlık hız (km/h)	20,9

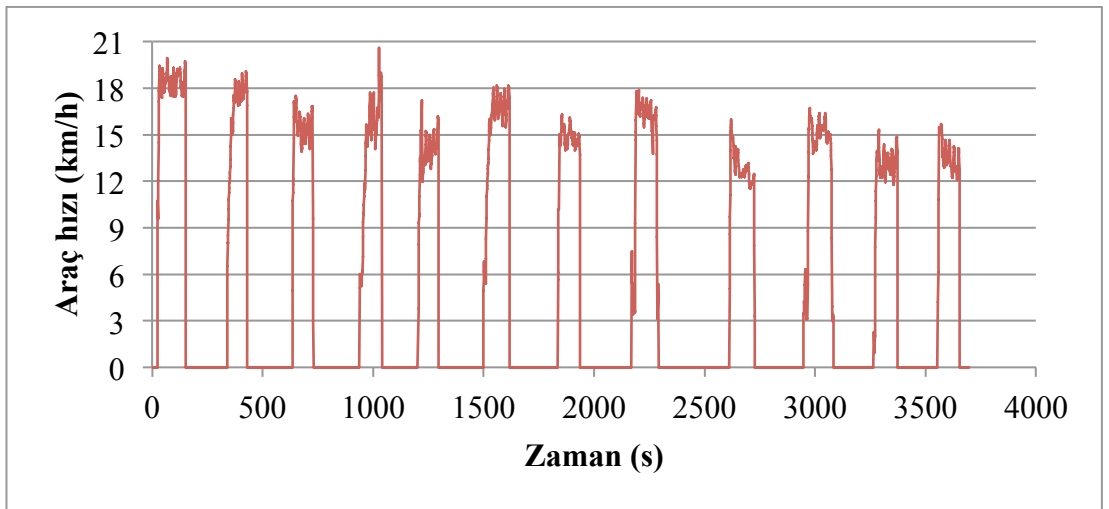
Tüm sabit şanzıman aktarma oranlı yol testlerinden daha yüksek bir menzilin elde edildiği bu testte, menzilde 1,00 şanzıman aktarma oranının kullanıldığı birinci teste göre %63,8 artış, 1,25 aktarma oranının kullanıldığı ikinci teste göre %38,6 artış, 1,50 aktarma oranının kullanıldığı üçüncü teste göre %11,3 artış, 1,75 aktarma oranının kullanıldığı dördüncü teste göre ise %43,3 artış sağlanmıştır. Kullanılan araçta, tasarlanan araç tahrik sistemi ile ve uygulanan test koşullarında sabit aktarma oranına sahip tahrik sisteminde menzil için optimizasyonun mümkün olduğu görüldükten ve en iyi menzil ve performans sonuçlarını ortaya koyan aktarma oranları tespit edildikten sonra bu oranlar ile hazırlanan kademeli otomatik vites değiştirme programının menzil ve performans özelliklerinin her ikisinde birden iyileşme sağladığı görülmüştür.



Şekil 3.21. Beşinci yol testinde iki bataryanın voltaj değerlerinin ortalamasının turlara göre değişimi.

Şekil 3.22’de aracın zamana karşı GPS uygulaması üzerinden ölçülen hızı verilmiştir. Aracın en yüksek anlık hızı 20,9 km/h olarak ölçülmüştür. Tüm sabit oranlı testlere göre iyileşen menzille birlikte, ortalama araç hızı da artmıştır.

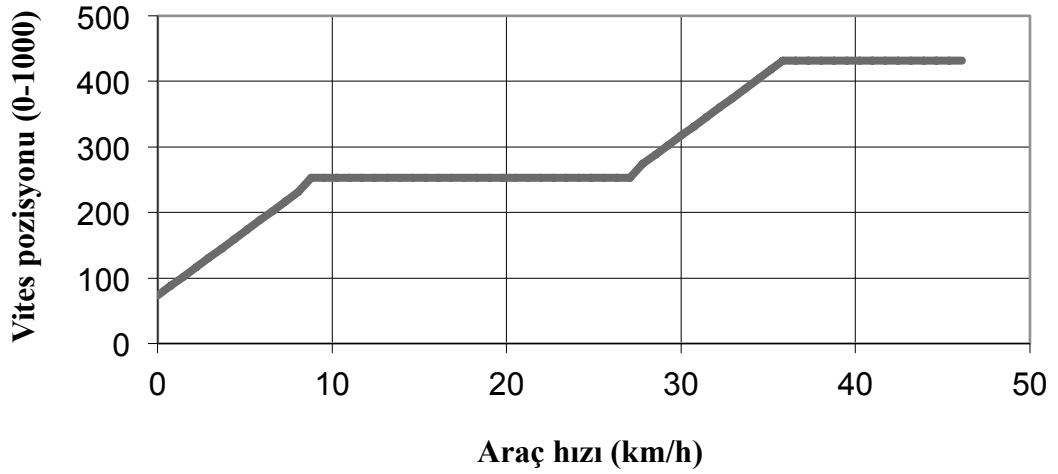
Ortalama araç hızı birinci teste kıyasla %56,6, ikinci teste kıyasla %45,1, üçüncü teste kıyasla %17,8 ve dördüncü teste kıyasla %14,4 oranında artış göstererek 11,9 km/h olarak gerçekleşmiştir. Araç pist üzerinde önceki testlerdeki gibi çekiş kuvveti sürücü tarafından hissedilir miktarda düşene dek sürülmüş ve toplamda 60 tur atarak testi tamamlamıştır. Yine önceki testlerde olduğu gibi, testin başından sonuna doğru, azalan batarya kapasitesinin beklenen bir sonucu olarak 5 turluk bölümlerde gerçekleşen ortalama araç hızı bir miktar düşüş göstermiştir.



Şekil 3.22. Beşinci yol testinde araç hızının zamana göre değişimi. Sıfırdan farklı hız değerlerinden oluşan her veri seti 5 turluk sürüşleri ifade etmektedir. 5 turluk sürüşler arasında ara verilmiştir.

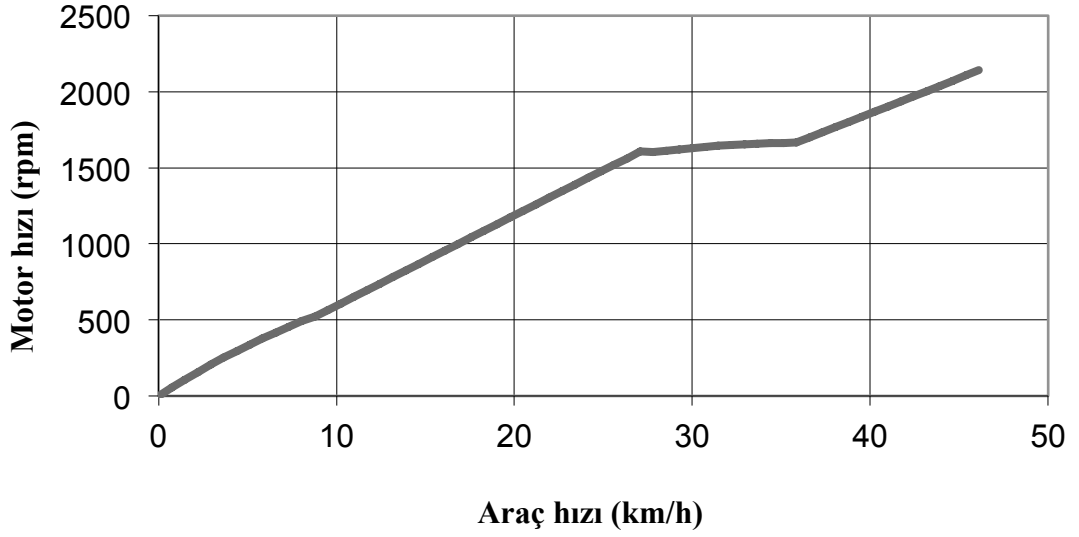
3.2.2. Altıncı Yol Testi: Sürekli Değişken Oranlı Otomatik Şanzıman Programı

Bu yol testinde araca sürekli değişken oranlı ve kademeli bölgelere sahip bir otomatik vites değiştirme programı yüklenmiştir. Şekil 3.23'te verilen bu programa göre kalkışta 1,75 olan şanzıman aktarma oranı 8,78 km/h araç hızı elde edilene dek doğrusal olarak azalarak 1,50'ye düşmektedir. Beşinci testte olduğu gibi, testte şanzımanın bu iki aktarma oranı aralığındaki değerlere sahip olması hedeflenmiştir. Buna rağmen, yine beşinci testte yapıldığı benzer şekilde motor hızını düşürmek amacıyla, 27,81 km/h araç hızından 35,86 km/h araç hızına kadar şanzıman aktarma oranı 1,50'den 1,25'e kadar doğrusal olarak azalacak, ardından 1,25 olarak devam edecek şekilde programlanmıştır. Fakat beklendiği gibi araç yine test boyunca 27,81 km/h hıza ulaşmadığı için şanzıman 1,25 aktarma oranını kullanmamıştır.



Şekil 3.23. Sürekli değişken programda şanzıman vites pozisyonunun araç hızı ile değişimi. Şanzıman kontrolörü araç hız bilgisini hız sensöründen alarak vites değiştirmektedir.

Araç hızına göre motorun devir hızındaki değişim Şekil 3.24'te verilmiştir. Eğri, sürekli değişken oranlı şanzımanlı araçlardan bilinen motor hızlanma eğrileri gibidir. Vites değiştirme noktaları arasında motor devir hızı manuel şanzımanlı araçlarda olduğu gibi azalmamış, bunun yerine azalan bir açısal ivme ile artmaya devam etmiştir.



Şekil 3.24. Kademeli şanzıman programı sonucunda motor hızının araç hızına göre değişimi.

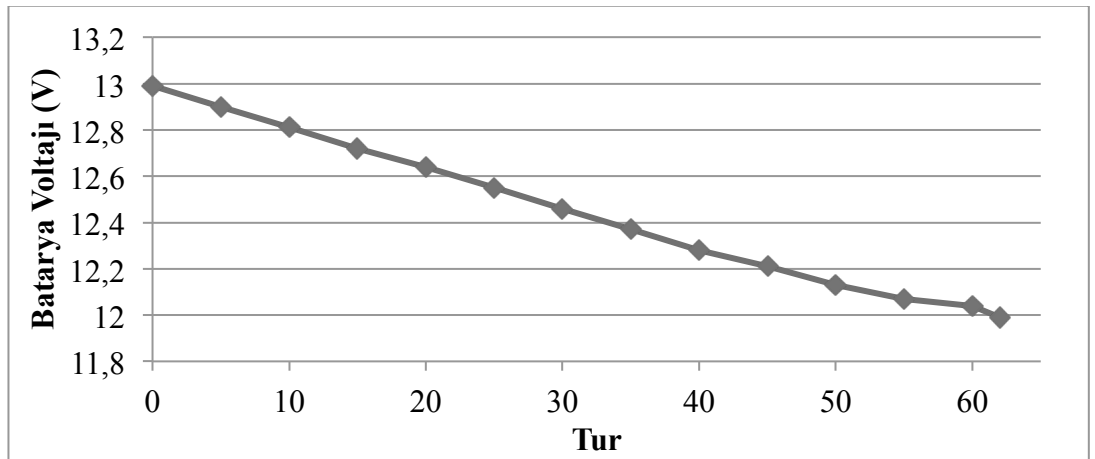
Sürekli değişken otomatik şanzıman programının şanzıman kontrolörüne yüklenmesi sonucunda yapılan beşinci yol testinin menzil, ortalama hız ve en yüksek anlık hız sonuçları Çizelge 3.8’de verilmiştir. Altıncı yol testinde tüm sabit oranlı ve kademeli otomatik programlı testlerden daha yüksek bir menzil elde edilmiştir. Araç kalkışlarda 1,75 aktarma oranı ile çalıştığı için dördüncü testte olduğu gibi hızlı kalkışlar gerçekleştirmiş ve yüksek ivme ile hızlanmıştır. Kalkışta 1,75 aktarma oranının avantajını kullanan motor, 8,78 km/k araç hızından sonra şanzımanın 1,50 aktarma oranına sürekli değişken bir rejim ile, aşamalı olarak geçmesi ile birlikte en verimli çalışma bölgelerindeki hızlarda çalışmaya devam etmiştir. Sürekli değişken vites değiştirme ile birlikte motorun hızı ani bir şekilde azalmak yerine azalan bir ivmeyle artmaya devam ettiği için vites geçişinden hemen sonra bataryadan talep ettiği akımda ani bir yükselme olmaması beklenir. Sürekli değişken oranın kullanıldığı bu aralık sayesinde, bu program menzil bakımından beşinci testteki kademeli programdan daha iyi bir sonuç vermiştir. Motor üzerindeki yük tüm testler arasında en uygun aralıkta tutulmuş ve bunun sonucunda motor en verimli çalışma karakteristiğini göstermiştir. Motor sürücüsünün sıcaklığı beşinci testte gözlemlenen sıcaklığa yakın bir düzeye yükselmiştir. Kritik bir ısınma gerçekleşmemiştir.

Çizelge 3.8. Altıncı yol testi için menzil ve performans verileri.

Menzil (km)	5,047
Ortalama araç hızı (km/h)	11,2
En yüksek anlık hız (km/h)	19,2

Önceki testlerde uygulanan prosedür altıncı testte de tekrarlanmıştır. Bataryaların ortalama voltaj değerlerinin turlara göre değişimi Şekil 3.25'te gösterilmiştir. Testlerin genelinde olduğu gibi batarya voltajı test boyunca düzenli aralıklarla ölçüldüğünde düzenli bir düşüş göstermiştir. Bu testte de birinci ve ikinci testlere göre motor, yüksek şanzıman aktarma oranlarından dolayı az yük altında çalışmış, çabuk hızlanmış ve böylece motor sürücüsü bataryadan, alınan birim yolda daha az miktarda akım çekerek daha az ısınmıştır.

Tüm sabit şanzıman aktarma oranlı ve kademeli aktarma oranlı yol testlerine göre daha yüksek bir menzilin elde edildiği bu testte, menzilde 1,00 şanzıman aktarma oranının kullanıldığı birinci teste göre %70,7 artış, 1,25 aktarma oranının kullanıldığı ikinci teste göre %44,4 artış, 1,50 aktarma oranının kullanıldığı üçüncü teste göre %16,0 artış, 1,75 aktarma oranının kullanıldığı dördüncü teste göre %49,4 artış ve kademeli otomatik programın kullanıldığı beşinci teste göre %4,2 artış sağlanmıştır.

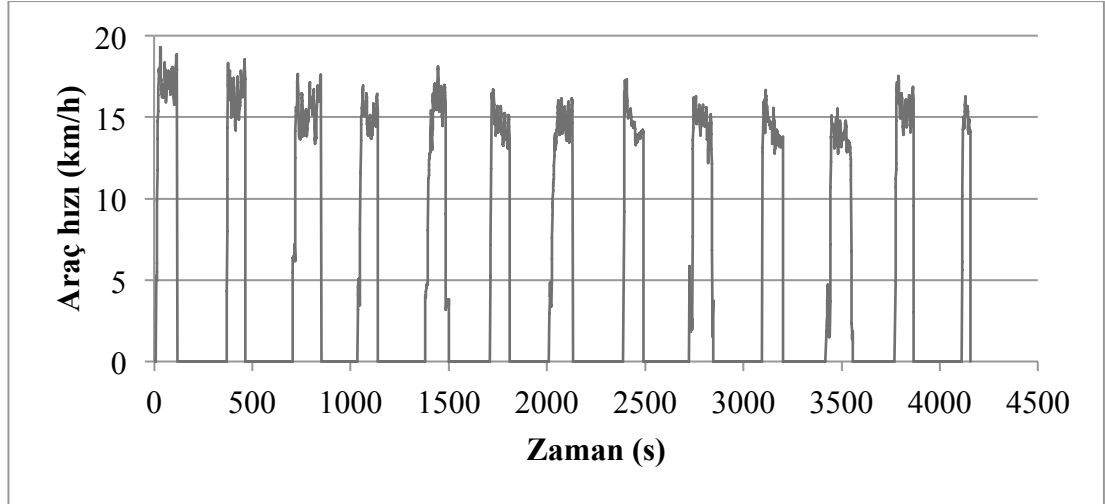


Şekil 3.25. Beşinci yol testinde iki bataryanın voltaj değerlerinin ortalamasının turlara göre değişimi.

Kademeli otomatik vites değiştirme programından farklı olarak, kademeli geçiş bölgesi yerine sürekli değişken ve belli bir araç hız aralığına yayılmış bir geçiş

bölgesine sahip olan bu programda, motorun verimli çalıştığı tork aralığının daha iyi kullanılması neticesinde menzilde kademeli programa kıyasla sağlanan artışa rağmen, performans konusunda düşüş gözlenmiştir. Bu durum, binek araçlardan bilinen bir bilgi ile tutarlıdır. Binek araçlarda manuel şanzımanlı modeller genellikle kalkış, ivme ve tırmanma konularında sürekli değişken oranlı otomatik şanzımana sahip araçlardan üstündür. Bununla birlikte yakıt tüketimi konusunda sürekli değişken oranlı otomatik şanzımanlar bazı modellerde daha avantajlı olabilmektedir.

Şekil 3.26'da aracın zamana karşı GPS uygulaması üzerinden ölçülen hızı verilmiştir. Aracın en yüksek anlık hızı 19,2 km/h olarak ölçülmüştür. Tüm testlere göre iyileşen menzille birlikte, ortalama araç hızı beşinci teste göre daha düşük, diğer testlere göre daha yüksek bir seviyede gerçekleşmiştir.



Şekil 3.26. Beşinci yol testinde araç hızının zamana göre değişimi. Sıfırdan farklı hız değerlerinden oluşan her veri seti 5 turluk sürüşleri ifade etmektedir. 5 turluk sürüşler arasında ara verilmiştir.

Ortalama araç hızı birinci teste kıyasla %47,4, ikinci teste kıyasla %36,6, üçüncü teste kıyasla %10,9, dördüncü teste kıyasla %7,7 oranında artış ve beşinci teste kıyasla %6,3 azalış göstererek 11,2 km/h olarak gerçekleşmiştir. Araç pist üzerinde önceki testlerdeki gibi çekiş kuvveti sürücü tarafından hissedilir miktarda düşene dek sürülmüş ve toplamda 62 tur atarak testi tamamlamıştır. Yine beklendiği üzere, testin başından sonuna doğru, azalan batarya kapasitesinin beklenen bir sonucu olarak 5

turluk bölümlerde gerçekleşen ortalama araç hızı düşüş göstermiştir. Bu düşüş ise kademeli programın kullanıldığı beşinci teste göre daha az miktarda gerçekleşmiştir.

Son olarak, tüm testlerde elde edilen menzil ve ortalama hız sonuçları birlikte Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 Tüm yol testlerinde elde edilen menzil ve ortalama hız değerleri.

Şanzıman aktarma oranı	Menzil (km)	Ortalama hız (km/h)
1	2,956	7,6
1,25	3,494	8,2
1,5	4,349	10,1
1,75	3,378	10,4
Kademeli değişken	4,842	11,9
Sürekli değişken	5,047	11,2

4. DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışması kapsamında, genellikle şanzıman kullanımının olmadığı hafif elektrikli araçlarda menzil ve performans özelliklerinin şanzıman kullanımı ile artırılabilceği fikrinden yola çıkılarak sürekli değişken oranlı bir şanzımana sahip, batarya güçlü ve doğru akım motorlu bir hafif elektrikli araç üretilmiştir.

Üretilen go-kart tipindeki araç için piyasada en yaygın kullanılan içten yanmalı motorlu go-kart araçlarının maksimum motor gücü olan 4 kW değerinde maksimum güce sahip bir elektrik motoru tedarik edilmiş, fakat motor güvenlik amacıyla yol testlerinde 2 kW maksimum güç değerinde çalıştırılmıştır. Aracın tahrik sisteminde motor, şanzıman ve aks arasında hareket aktarımını sağlayan dişli-zincir sistemlerinin tasarımı, kullanılan şanzımanın sahip olduğu hız ve tork sınır değerlerine göre yapılmıştır.

Yol testlerine başlamadan önce araç ile, şanzımanın pasif olduğu ve aktarma oranını değiştirmedeği durumda deneme sürüşleri yapılmıştır. 0,6 ile 2,00 arasında aktarma oranına sahip olan şanzımanın yüksek aktarma oranlarına ayarlandığı durumda sürüşler sorunsuz olarak gerçekleştirilmiş, fakat düşük aktarma oranlarında yapılan sürüşlerde ciddi bir sorun ile karşılaşmıştır. Araç 0,7 aktarma oranı ile sürülmüştür. Araç eğimsiz zeminde sabit doğrultuda yol almasına rağmen, motor hızlanmayı gerçekleştirilememiş, 3,5 km/h hız ile 25 m boyunca sürüldükten sonra motor sürücüsünden duman çıkmıştır. Araç derhal durdurulmuş ve devre açık duruma getirilmiştir. Motor sürücüsü yanmamış, fakat zarar görmüştür. Bu olayın nedeni Yol Testleri bölümünde açıklanmıştır. Edinilen bu tecrübe, özellikle binek araçlar kadar kısıtlayıcı standartlar altında üretilmeyen hafif elektrikli araçların tasarım süreçlerinde güvenlik hususunun ihmal edilmemesinin gerekliliğini ortaya koymuştur.

Yol testleri öncesinde edinilen deneyimlerin ardından aracın tahrik sisteminde bir şanzıman olmadan sağlayacağı menzil ve performans değerlerinin belirlenmesi amacıyla birinci bölümde dört farklı sabit şanzıman aktarma oranı ile yol testleri

gerçekleştirilmiştir. Menzilin ölçütü GPS ünitesi ile takip edilen konum değişimi, performans ölçütü ise test boyunca aracın hareket halinde iken sahip olduğu ortalama hız olarak kabul edilmiştir. Bu bölümde motorun verim-tork diyagramında gösterilen en verimli bölgelerinde çalışması için şanzımanın sahip olması gereken aktarma oranları tespit edilmiştir.

Bu bölümde ölçülen menzil ve performans sonuçlarından yola çıkılarak otomatik vites değiştirme programları hazırlanmış ve şanzıman kontrolörüne yüklenmiştir. Biri kademeli, diğeri sürekli değişken oranlı olan şanzıman programlarının her ikisinde de birinci bölümdeki sabit aktarma oranı ile yapılan testlere kıyasla önemli miktarda menzil ve performans artışları kaydedilmiştir. Sürekli değişken oranlı program ile yapılan testte en yüksek menzil elde edilmiştir. Testlerde ölçülmediği halde, şanzıman kullanımı araca ayrıca tırmanma açısının artması avantajını sağlamıştır. Sürücüsü ile birlikte kütlesi 220 kg olan araçta, yalnızca 8 kg'lık kütle artışına neden olan sürekli değişken oranlı şanzımanın, buna karşın sağladığı faydalar deneysel olarak kanıtlanmıştır.

Gelecek çalışmalar, kalıcı mıknatıslı doğru akım motorundan farklı tip doğru akım veya alternatif akım motorları ile sürekli değişken oranlı şanzımanın birlikte kullanıldığı araçlar üzerine yapılabilir. Farklı çalışma karakteristiğine sahip elektrik motorları ile daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Daha yüksek bütçelere sahip olunduğu takdirde, sürekli değişken oranlı şanzımanın elektrikli binek bir araçta kullanılarak menzilin ve performansın artırılmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilebilir. Ayrıca bu tip bir şanzımanın ömür ve bakım ihtiyacı özelliklerinin de uzun süreli dayanıklılık testleri sonucunda belirlenmesi faydalı olacaktır.

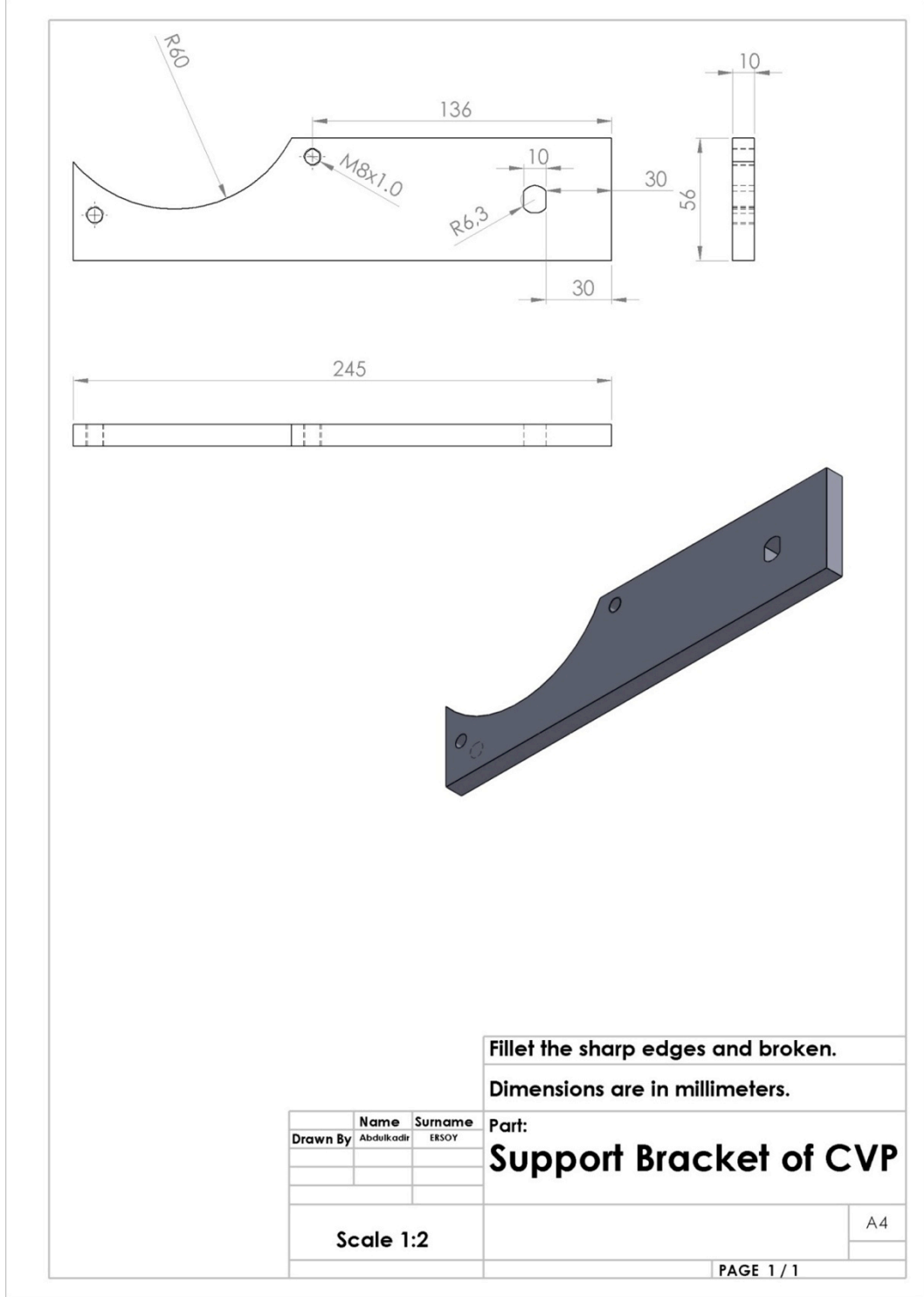
KAYNAKLAR

- [1] Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E., Emadi, A., Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, *CRC Press*, Boca Raton, Florida, 2005.
- [2] Istardi, D., 2009, Modeling and Energy Consumption Determination of an Electric Go-Kart, *Yüksek Lisans Tezi, Chalmers Institute of Technology*, Department of Energy and Environment, Göteborg, Sweden.
- [3] Istardi, D., Comparison of electric karting modelling using Matlab/Simulink software, International Conference on Advanced Science, Engineering, and Information Technology, 4-9, Putrajaya, Malezya, Ocak 2011.
- [4] Grunditz, E., Jansson, E., 2009, Modelling and Simulation of a Hybrid Electric Vehicle for Shell Eco-marathon and an Electric Go-kart, *Yüksek Lisans Tezi, Chalmers Institute of Technology*, Department of Energy and Environment, Göteborg, Sweden.
- [5] Neudorfer, H., Comparison of three different electric powertrains for the use in high performance electric go-kart, International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP '07), Bodrum, Türkiye, Eylül 2007.
- [6] Holmes, A.G., Electrically variable Transmissions for Hybrid Electric Vehicles, *Yüksek Lisans Tezi, Ohio State University*, Department of Mechanical Engineering, Ohio.
- [7] Bowles, P., Peng, H., Zhang, X., Energy management in a parallel hybrid electric vehicle with a continuously variable planetary transmission, American Control Conference, 55-59, Chicago, Illinois, Ocak 2000.
- [8] Lee, H., Kim, H., Improvement in fuel economy for a parallel hybrid electric vehicle by continuously variable transmission ratio control, *Journal of Automobile Engineering*, 219(1), 43-51, 2005.
- [9] Chau, K. T., Chan, C. C., Emerging Energy-Efficient Technologies for Hybrid Electric Vehicles, *Proceedings of the IEEE*, 95(4), 821-835, 2007.
- [10] Zhang, L., Hao, G., Yang, X., Chou, C., The Electric Vehicle Power Design and The Matching Characteristics Analysis of the Transmission System, *Telkomnika Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 11(11), 2013.
- [11] Konishi, K., Development of New CVT for K-Car, *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 193, 271-274, 2013.
- [12] Pentzer, J., Brennan, S., Investigation of the effect of continuously variable transmissions on ground robot powertrain efficiency, American Control Conference (ACC), 4245,4250, Montreal, Quebec, Nisan 2012.
- [13] Xiang, Y., Guo, L., Gao, B., Chen, H., A study on gear shifting schedule for 2-speed electric vehicle using dynamic programming, Chinese Control and Decision Conference (CDCC), 3805-3809, Mayıs 2013.
- [14] Dhameja, S., Electric Vehicle Battery Systems, *Butterworth-Heinemann*, Woburn, Massachusetts, 2002.
- [15] "Haze 12 V 44 Ah akü" erişim adresi:
<http://www.rapidonline.com/catalogueimages/product/S18-1127P01WL.jpg>,
erişim tarihi: 29.07.2013

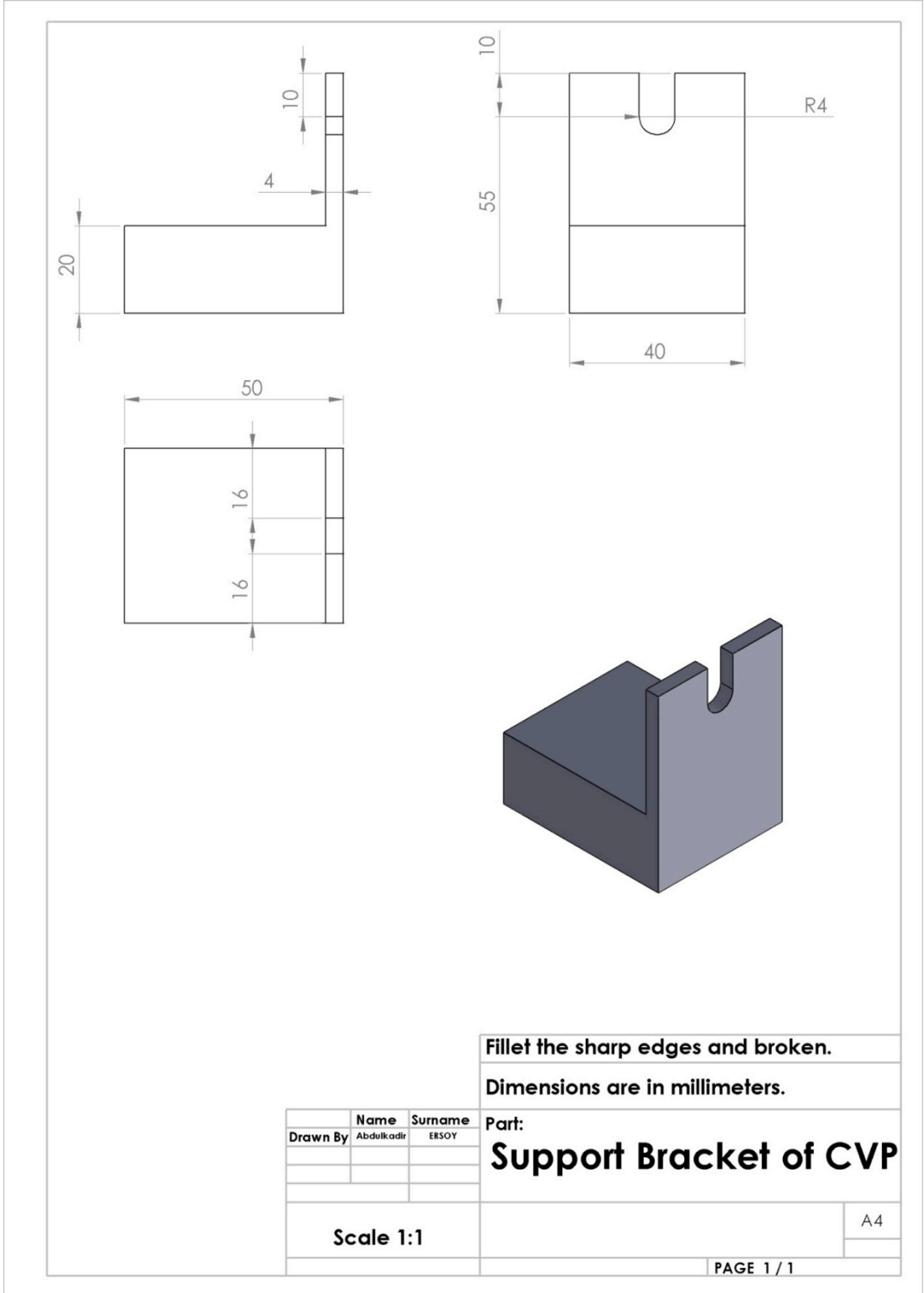
- [16] Pillay, P., Krishnan, R., Application characteristics of permanent magnet synchronous and brushless DC motors for servo drives, IEEE Transactions on Industry Applications, 27(5), 986-996, 1991.
- [17] Chan, C. C., Jiang, J. Z., Chen, G. H., Wang, X. Y., A novel high power density permanent magnet variable-speed motor, IEEE Transactions on Energy Conversion, 8(2), 297-303, 1993.
- [18] “Kelly DC motor drive” erişim adresi:
<http://kellycontrols.en.made-in-china.com>, erişim tarihi: 30.07.2013
- [19] Bal, G., Doğru Akım Makinaları ve Sürücüler, *Seçkin*, Sıhhiye, Ankara, 2008.
- [20] “Honda CVT”, erişim adresi:
<http://world.honda.com/automobile-technology/CVT/detail/>, erişim tarihi: 30.07.2013
- [21], [22] “NuVinci CVP”, erişim adresi:
<http://www.fallbrooktech.com/nuvinci-technology>, erişim tarihi: 31.07.2013

EKLER

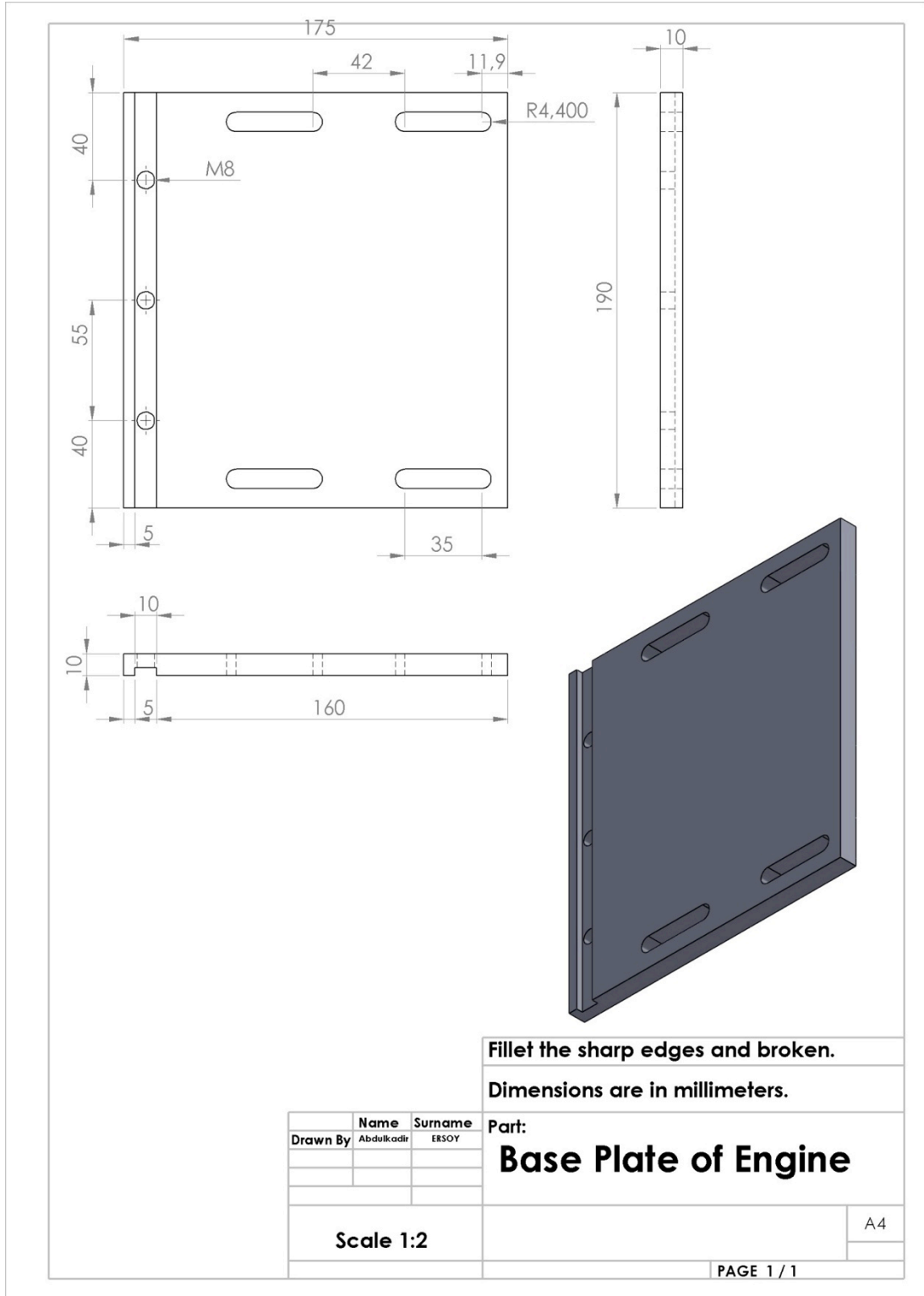
EK-1: Tasarlanan motor ile şanzıman braketleri ve dişlilerin teknik resimleri



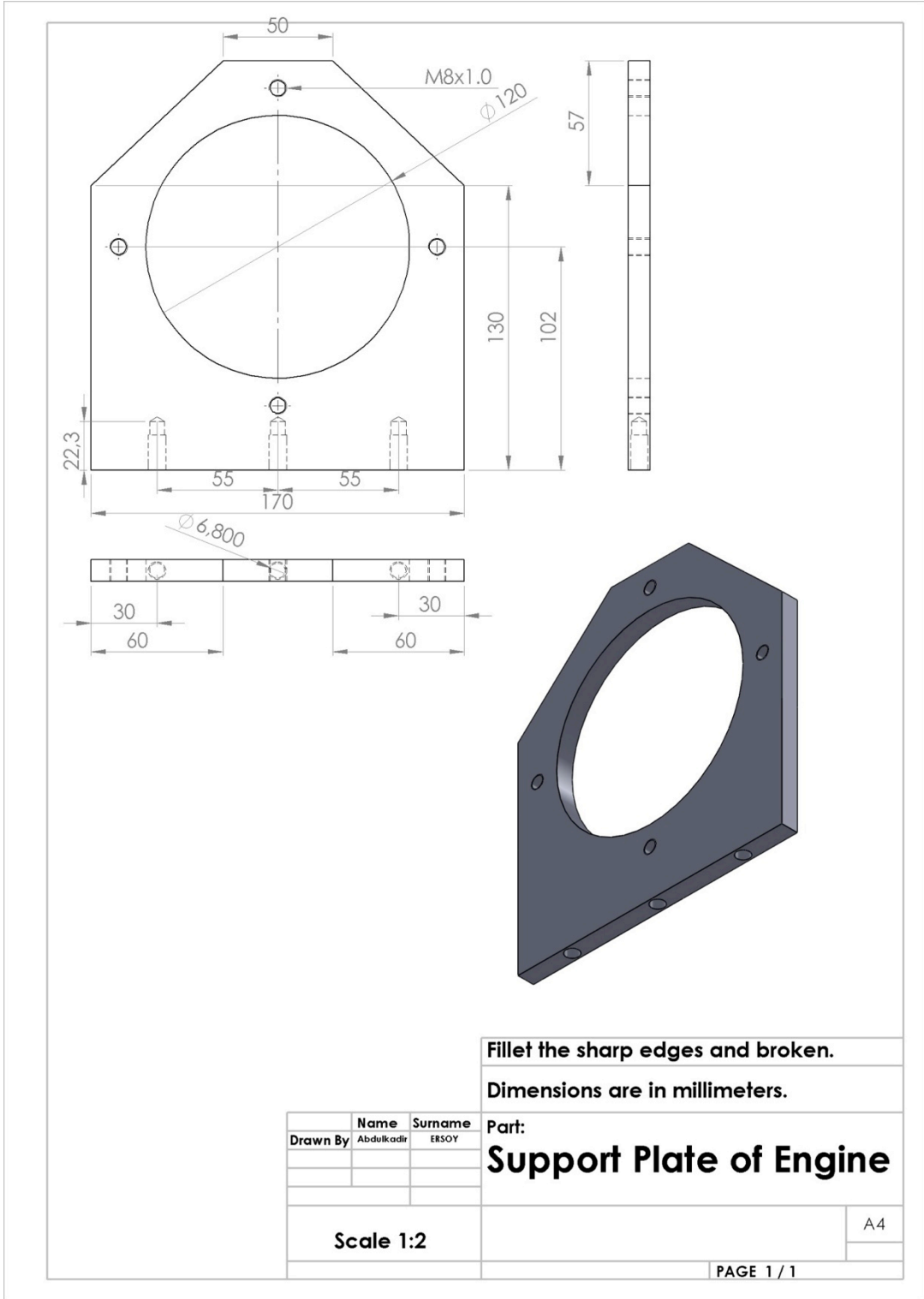
Şekil 1.A. Birinci şanzıman braketi



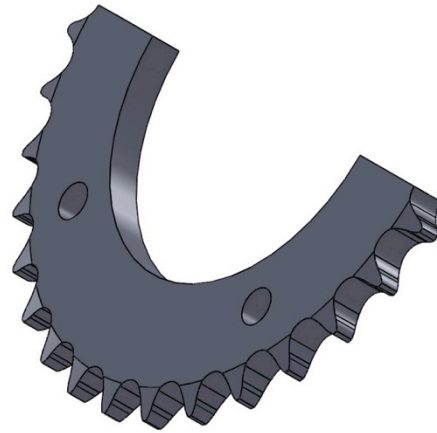
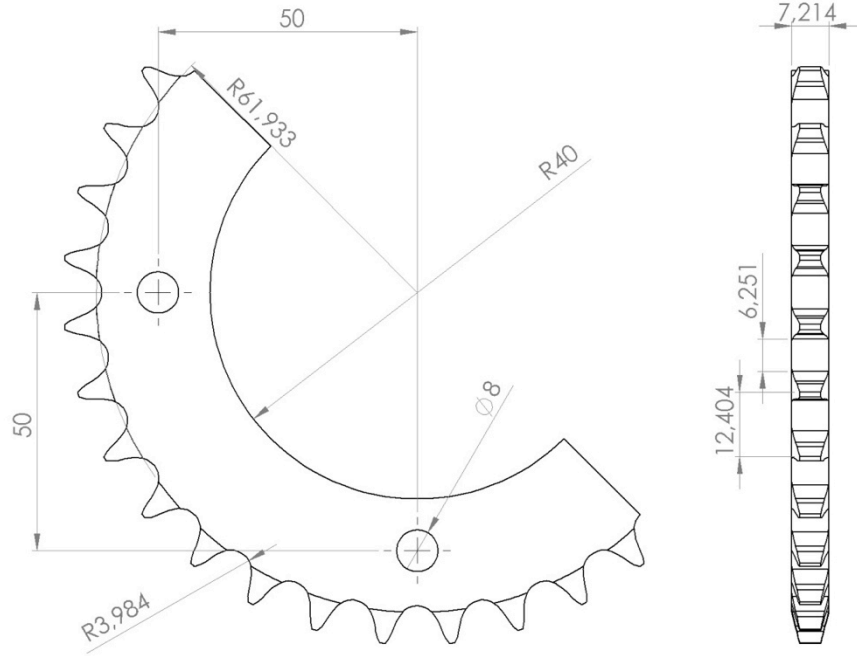
Şekil 1.B. İkinci şanzıman braket



Şekil 1.C. Motor tablası



Şekil 1.D. Motor braketi



Fillet the sharp edges and broken.

Dimensions are in millimeters.

Drawn By	Name	Surname
Abdulkadir	ERSOY	

Part:

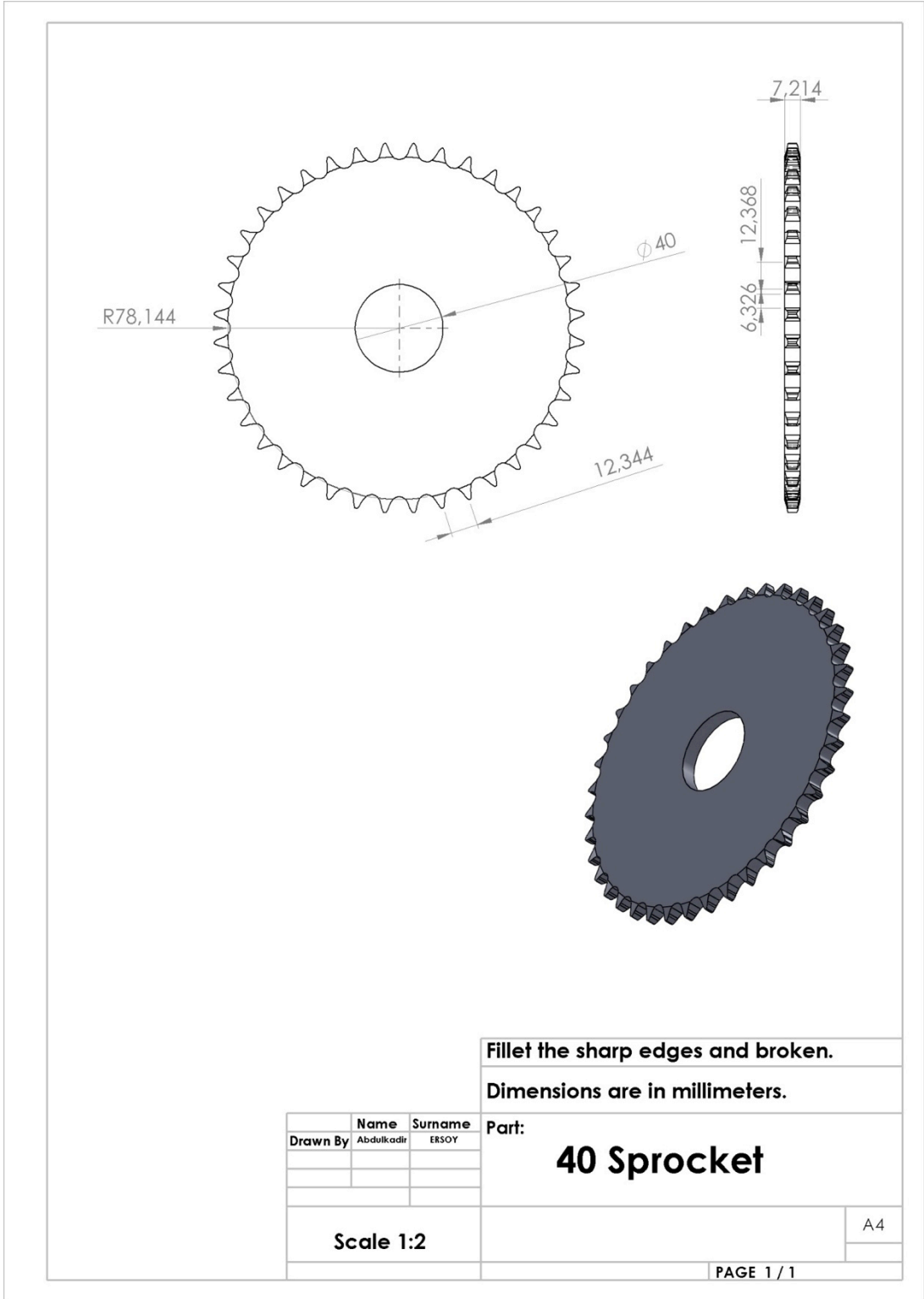
32 Sprocket

Scale 1:2

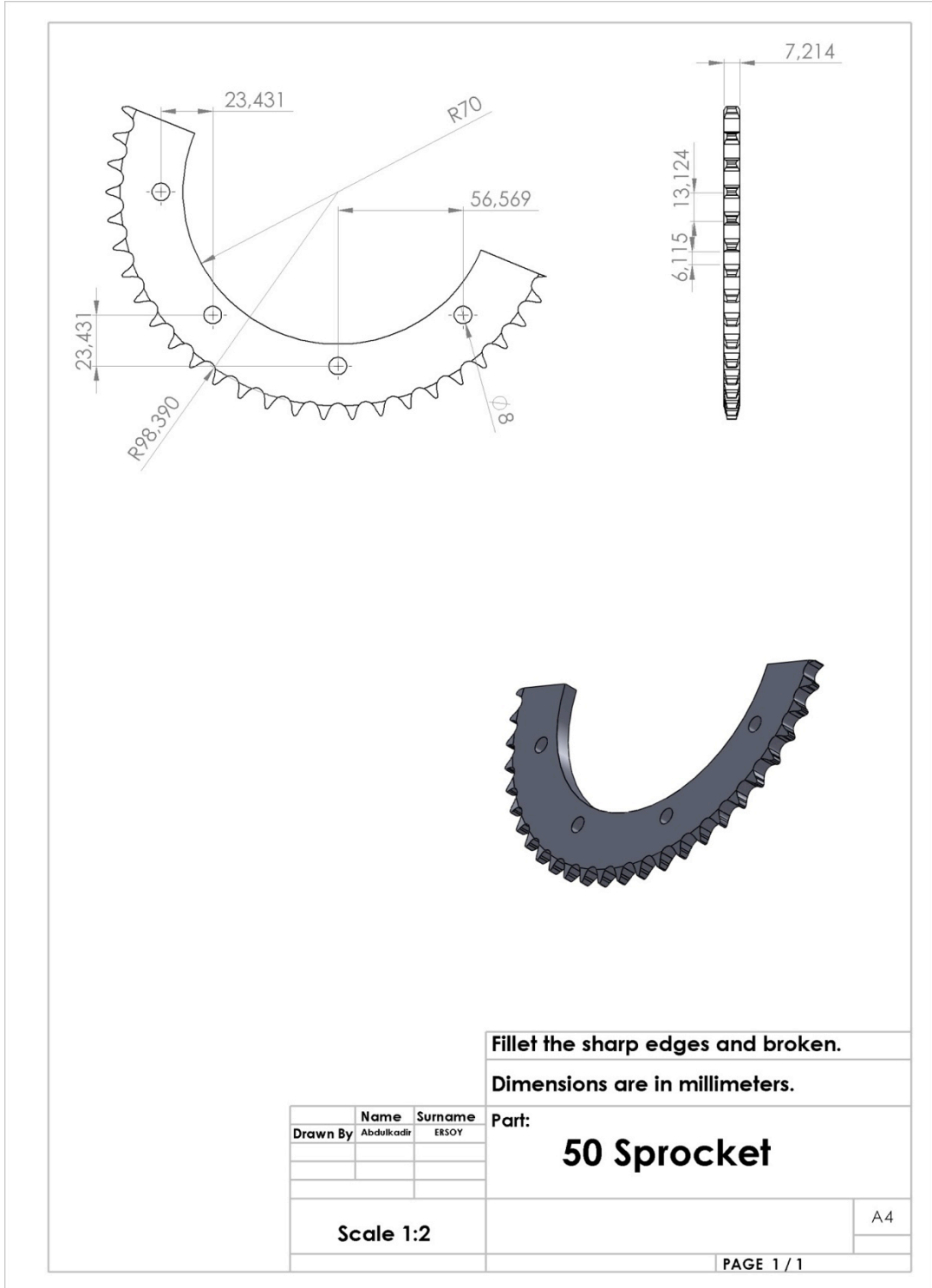
A4

PAGE 1 / 1

Şekil 1.E. Aks dişlisi



Şekil 1.F. Şanzıman giriş dişlisi



Şekil 1.G. Şanzıman çıkış dişlisi

EK-2: Aracın otomatik vites değiştirme programı ile çalışması esnasında toplanan veri seti rneği

Çizelge 2.A. Aracın arka tekerlekleri havaya kaldırılmış iken kademeli vites değiştirme programı ile aracın 3 saniye içinde durağan halden en yüksek hıza çıkana dek okunan mevcut vites pozisyonu, hedef vites pozisyonu ve çizgisel hızının zamanla değişimi.

Zaman (s)	Mevcut vites pozisyonu	Hedef vites pozisyonu	Araç hızı (km/h)
0	77	72	0
0,02	77	72	0,830
0,04	77	72	0,830
0,06	77	72	1,660
0,08	77	72	1,660
0,1	77	72	2,490
0,12	77	72	2,490
0,14	77	72	2,490
0,16	77	72	2,490
0,18	77	72	3,320
0,2	77	72	4,150
0,22	77	72	4,150
0,24	77	72	4,150
0,26	77	72	4,980
0,28	77	72	5,810
0,3	77	72	5,810
0,32	77	72	5,810
0,34	77	72	6,640
0,36	77	72	7,470
0,38	77	72	8,300
0,4	77	72	9,129
0,42	77	72	9,129
0,44	77	252	9,959
0,46	77	252	10,789
0,48	77	252	11,619
0,5	79	252	13,279
0,52	81	252	13,279
0,54	82	252	14,109
0,56	84	252	14,109
0,58	87	252	15,769
0,6	91	252	15,769
0,62	94	252	15,769
0,64	98	252	17,429

0,66	101	252	18,259
0,68	105	252	19,089
0,7	109	252	19,089
0,72	113	252	19,089
0,74	116	252	20,749
0,76	120	252	20,749
0,78	124	252	21,579
0,8	128	252	21,579
0,82	131	252	21,579
0,84	135	252	22,409
0,86	139	252	22,409
0,88	143	252	23,239
0,9	147	252	23,239
0,92	151	252	23,239
0,94	155	252	24,069
0,96	159	252	24,899
0,98	163	252	24,899
1	167	252	24,899
1,02	171	252	24,899
1,04	175	252	25,729
1,06	179	252	25,729
1,08	183	252	25,729
1,1	186	252	26,558
1,12	191	252	26,558
1,14	195	252	25,729
1,16	199	252	26,558
1,18	203	252	26,558
1,2	207	252	27,388
1,22	211	252	27,388
1,24	214	252	27,388
1,26	219	252	27,388
1,28	223	252	27,388
1,3	226	252	28,218
1,32	230	252	28,218
1,34	234	252	28,218
1,36	237	252	29,048
1,38	240	252	29,048
1,4	242	431	29,878
1,42	243	431	29,878

1,44	244	431	29,878
1,46	245	431	29,878
1,48	246	431	30,708
1,5	247	431	30,708
1,52	248	431	30,708
1,54	251	431	30,708
1,56	253	431	31,538
1,58	257	431	31,538
1,6	260	431	31,538
1,62	263	431	31,538
1,64	268	431	32,368
1,66	271	431	32,368
1,68	275	431	32,368
1,7	280	431	33,198
1,72	283	431	33,198
1,74	287	431	33,198
1,76	291	431	34,028
1,78	295	431	34,858
1,8	299	431	34,858
1,82	302	431	34,858
1,84	307	431	35,688
1,86	311	431	35,688
1,88	315	431	35,688
1,9	319	431	36,518
1,92	324	431	36,518
1,94	328	431	36,518
1,96	331	431	37,348
1,98	335	431	37,348
2	340	431	38,178
2,02	344	431	38,178
2,04	348	431	39,008
2,06	352	431	39,008
2,08	357	431	39,838
2,1	361	431	40,668
2,12	365	431	40,668
2,14	369	431	40,668
2,16	373	431	41,498
2,18	378	431	42,328
2,2	382	431	41,498

2,22	385	431	41,498
2,24	390	431	42,328
2,26	394	431	43,158
2,28	398	431	43,158
2,3	402	431	43,158
2,32	406	431	43,987
2,34	411	431	43,158
2,36	414	431	43,987
2,38	417	431	44,817
2,4	420	431	44,817
2,42	422	431	44,817
2,44	423	431	45,647
2,46	423	431	44,817
2,48	424	431	45,647
2,5	424	431	45,647
2,52	424	431	45,647
2,54	424	431	45,647
2,56	424	431	46,477
2,58	424	431	46,477
2,6	424	431	46,477
2,62	424	431	46,477
2,64	424	431	47,307
2,66	424	431	47,307
2,68	424	431	47,307
2,7	424	431	48,137
2,72	424	431	48,137
2,74	424	431	48,137
2,76	424	431	48,137
2,78	424	431	47,307
2,8	424	431	48,137
2,82	424	431	48,137
2,84	424	431	48,137
2,86	424	431	48,137
2,88	424	431	48,137
2,9	424	431	48,137
2,92	424	431	48,137
2,94	424	431	48,137
2,96	424	419	48,967
2,98	424	419	48,967

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : CAMCI, Ahmed Talha
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 15.11.1988 Stuttgart
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (322) 441 02 26
Faks : 0 (322) 355 62 66

Eğitim

Derece	Eğitim birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	TOBB ETÜ – Makine Müh.	01.2011
Yüksek Lisans	TOBB ETÜ – Mikro ve Nanoteknoloji	01.2014

İş deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-2012	TOBB ETÜ	Araştırma Asistanı
2012-	TEMSA GLOBAL A.Ş.	Arge Mühendisi

Yabancı dil

İngilizce, İtalyanca

Yayımlar

A. Ekiz, A. T. Camcı, İ. Türkmen, M. Sankır, S. Uslu, D. K. Baker, E. Ağar, PEM tipi yakıt pilleri için çift kutuplu akış plakalarının modellenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 26, No 3, 591-605, 2011.

A. T. Camcı, İ. Türkmen, M. Sankır, A. Ekiz, S. Uslu, E. Ağar, D. Baker, Modeling of gas flow channels for proton exchange membrane fuel cells, 6th International Green Energy Conference, Eskisehir, Turkey, June 5-9 2011.

A. T. Camcı, M. A. Güler, Improvements in performance and range of a light electric vehicle by making use of a continuously variable planetary transmission, 24th JUMV International Automotive Conference, 23-24 April 2013, Belgrade, Serbia.