



**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN İÇ HABERLEŞME
AĞINDAKİ BİLGİLERLE ANLIK FİZİKSEL YÜK
TABANLI KALAN MESAFE HESABI**

İlkay ERDENİZ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN İÇ HABERLEŞME AĞINDAKİ BİLGİLERLE
ANLIK FİZİKSEL YÜK TABANLI KALAN MESAFE HESABI**

İlkay ERDENİZ
0000-0003-4011-972X

Dr. Öğr. Üyesi Barış ERKUŞ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FEN BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN İÇ HABERLEŞME AĞINDAKİ BİLGİLERLE ANLIK FİZİKSEL YÜK TABANLI KALAN MESAFE HESABI

İlkay ERDENİZ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERKUŞ

Dünya genelindeki yetkili kurumlar tarafından taşıt emisyonlarındaki limitler sıkılaştırıldıkça, taşıt üreticileri üzerindeki baskı giderek artmaya başlamıştır. Üreticiler, regülasyonlara uyum sağlayabilmek için, egzoz sistemi üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmak zorunda kalmıştır. Yapılan çalışmalar, egzoz sistemi maliyetini de artırmaktadır. Ayrıca, Uluslararası kurumların regülasyonlarına göre CO₂ kredisi kazanmak ve satılan taşıtlardaki filo ortalamalarını düşürebilmek için, hibrit ve tam elektrikli araçlar üzerine yapılan yatırımlar da her geçen gün artmaktadır. Çeşitli ülkelerdeki vergi avantajları, kullanım kolaylığı, araç performansı ve müşteri ilgisi de göz önüne alındığında, elektrikli araçların tercihi her geçen gün artmaktadır. Üzerinde yoğun olarak nispeten yeni çalışılmaya başlanması dolayısıyla kullanıcı beklentisi iki problem üzerine yoğunlaşmaktadır, araç bataryasının kısa süre içinde doldurulması ve aracın bataryasında kalan enerji ile ne kadar yol alabileceği. Bu iki temel problem, elektrikli araç kullanımının yaygınlaşması üzerinde engel oluşturmaktadır. Elektrikli araç kullanıcılarında bataryadaki enerji ile ne kadar mesafe gidileceği bir kaygı oluşturmaktadır. Bu sebeple, kalan mesafe bilgisinin doğru tespiti, elektrikli araç sayısının daha fazla artması için büyük önem arz etmektedir.

Yapılan pek çok araştırmada, sonucun doğru tespit edilebilmesi için GPS ve Navigasyon gibi ek bir maliyet getiren özelliklere ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bu tezdeki çalışmada ise, sadece araç üzerindeki sensörlerden ve iç haberleşme ağındaki bilgiler kullanarak, doğruluk payı yüksek kalan mesafe hesaplanabileceği yeni bir metot ele alınmıştır. Ayrıca bu yeni metot ek bir sensör ya da kontrol ünitesine ihtiyaç duymamaktadır. Araç üzerindeki bilgiler hızla değişim gösterdiği için, bilgi içerisinde yüksek frekansla seyreden gürültü de bulunmaktadır. Gürültüyü azaltmak için de alçak geçiren filtre kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araçlar, Kalan Menzil Hesabı, Batarya Enerji Tüketimi
2022, vii + 29 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INSTANT PHYSICAL LOAD BASED RANGE ESTIMATION CALCULATION BASED ON INTERNAL COMMUNICATION NETWORK

İlkay ERDENİZ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Barış ERKUŞ

The pressure on vehicle manufacturers has gradually increased due to the tightened emission standards. Manufacturers have had to concentrate their work on the exhaust system to comply with regulations. Studies conducted also increase the cost of the exhaust system. According to the international regulations, investments made on hybrid and full electric vehicles are increasing day by day to gain CO₂ credits and to reduce the fleet average in vehicles sold. Considering the tax advantages, ease of use, vehicle performance and customer interest in various countries, the preference of electric vehicles is increasing day by day. Due to the relatively new work on it, the expectation of the user focuses on two problems: filling the vehicle battery fastly and how far it can travel with the energy remaining in the vehicle battery. These two basic problems pose an obstacle using of electric vehicles widely. Electric vehicle users are concerned about the distance to travel with the energy in the battery. For this reason, determination of remaining distance information is of great importance for increasing the number of electric vehicles.

In many studies, it has been observed that additional cost-bearing features such as GPS and Navigation are needed to determine the result correctly. In this thesis, using only the information on the vehicle's sensors and the internal network, a new method has been discussed. Furthermore, this new method does not require an additional sensor or control unit. As the information on the communication bus of the vehicle changes rapidly, there is some high frequency noise within these information. For this reason, a low-pass filter used to eliminate the unwanted high frequency components.

Key words: Battery Electric Vehicles, Distance to Empty, Battery Energy Consumption
2022, vii + 29 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca akademik anlamda bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Barış Erkuş'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez sürecimde; testleri gerçekleştirmemdeki yoğun emek ve katkılarından dolayı takım arkadaşlarıma, özellikle Arda Kahraman, Mehmet Çakıcı ve Buğra Aksop'a, eğitim hayatım boyunca yardımını esirgemeyen aileme ve eşim Zeynep'e teşekkürlerimi sunarım.

İlkay ERDENİZ
07/01/2022



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM	8
3.1 P_{uzun} ve P_{kisa} Hesaplaması	8
3.2 P_{karma} Hesaplaması.....	10
3.3 Kalan menzil değerinin hesaplanması.....	11
3.4 λ değeri hesaplanması	12
3.5 Genel sistem akışı	15
4. BULGULAR	17
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	25
KAYNAKLAR.....	26
ÖZGEÇMİŞ.....	28

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Puzun	Son 50 kilometredeki enerji tüketim ortalaması
Pk15a	Son 5 kilometredeki enerji tüketim ortalaması
Pkarma	Puzun ve Pk15a değerleri kullanılarak yapılan karma enerji tüketimi
λ	Anlık harcanan gücün idealden sapma miktarı

Kısaltmalar	Açıklama
GPS	Global Pozisyonlama Sistemi
LPG	Likitleştirilmiş Petrol Gazı
CNG	Sıkıştırılmış Doğal Gaz
CARB	California Air Resources Board
AC	Alternatif Akım
NN	Sinir Ağı
MLR	Çoklu Lineer Regresyon
CAN	Controller Area Network
NEDC	Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi
WLTP	Dünya Geneline Uyumlu Test Prosedürü
SOC	Batarya Şarj Durumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Yıllara göre Elektrikli ve Hibrit araçların kullanım öngörüsü	2
Şekil 3.1. P_{uzun} (P_{long}) ve $P_{kısa}$ (P_{short}) hesaplanması	9
Şekil 3.2. Kilometre başına yapılan enerji tüketimi hesaplanması.....	10
Şekil 3.3. P_{karma} (P_{blend}) hesabı ve Aracın hareket durumundaki kalan mesafe (Distance_to_Empty) hesabı	11
Şekil 3.4. Aracın hareket halinde olduğunun tespiti.....	12
Şekil 3.5. Araç hareket etmediği durumda kalan mesafe hesaplanması	12
Şekil 3.6. λ Parametresi hesaplanması.....	13
Şekil 3.7. Alçak Geçiren Filtrenin Frekans Cevabı	14
Şekil 3.8. Sistemin genel görünümü ve alt sistemler arası haberleşme	15
Şekil 3.9. Sistemin genel görünümü ve kullanılan giriş ve çıkışlar	16
Şekil 3.10. Sistemin genel görünümü ve kullanılan giriş ve çıkışlar	16
Şekil 4.1. 8km serbest sürüş ve NEDC döngüsü boyunca zamana bağlı Araç Hızı ve Odometre değişimi	18
Şekil 4.2. 8 km serbest sürüş ve NEDC döngüsünde zamanla λ parametresi değişimi	19
Şekil 4.3. P_{uzun} , $P_{kısa}$, P_{karma} değerlerinin 8km serbest sürüş ve NEDC Döngüsündeki zamana bağlı değişimleri	19
Şekil 4.4. 8km serbest sürüş ve NEDC döngüsü boyunca zamana bağlı olarak Araç hızı ve Kalan Menzil değerindeki değişim.....	20
Şekil 4.5. 7 km serbest sürüş ve sonrasında WLTP döngüsü boyunca zamana bağlı olarak araç hızı ve araç odometresindeki değişim	21
Şekil 4.6. Zamana bağlı 7km serbest sürüş ve WLTP çevrimi boyunca Araç Hızı ve λ Parametresi değerlerindeki değişim	22
Şekil 4.7. Zamana bağlı 7km serbest sürüş ve WLTP çevrimi boyunca P_{uzun} , $P_{kısa}$, P_{karma} değerlerindeki değişim.....	22
Şekil 4.8. Zamana bağlı 7km serbest sürüş ve WLTP döngüsü boyunca kalan menzil ve araç hızındaki değişim	23
Şekil 4.9. %20 ağırlık fazlasıyla yapılan WLTP döngüsünde zamana bağlı araç hızı ve odometresindeki değişim.....	24
Şekil 4.10. %20 ağırlık eklenerek yapılan WLTP döngüsü boyunca zamana bağlı olarak λ parametresi ve araç hızındaki değişim.....	24
Şekil 4.11. %20 ağırlık eklenerek yapılan WLTP döngüsü boyunca zamana bağlı olarak araç hızı ve kalan menzildeki değişim.....	25

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Elektrikli Araç Şarj Modları ve Karakteristikleri	2
Çizelge 3.1. Araç hızına bağlı olarak güç değerlerinin başvuru çizelgesi	13



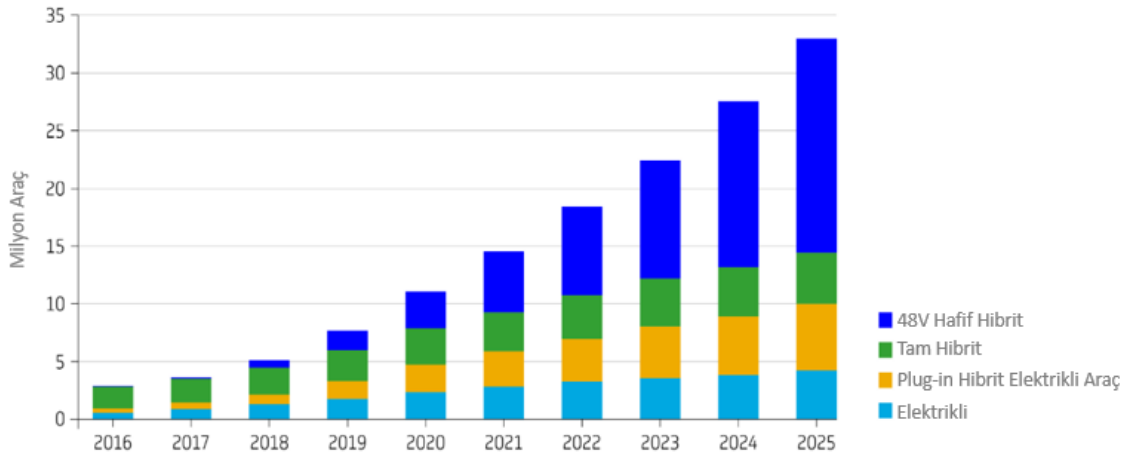
1. GİRİŞ

Elektrikli motor teknolojisinin doğuşu, hemen hemen elektriği tarihte ilk olarak kullanılmaya başladığı tarihe kadar dayanmaktadır. İlk elektrikli araçlarda, 19. Yüzyılın ortalarından sonra ortaya çıkmaya başlamıştır. Şarj edilebilir kurşun-asit bataryanın elde edilmesiyle birlikte, elektrikli araçlar da kendisine yer bulmuştur. Rakiplerine kıyasla titreşim ve gürültülerinin az olması, kokusuz meydana getirmemeleri sebebiyle, 1900’lü yılların başlarına kadar altın çağlarını yaşamışlardır. Ayrıca, elektrikli araçlar 1900’lü yıllara kadar kara üzerinde hareket eden en hızlı taşıtlar olmuştur.

20. Yüzyılın başlangıcında yaygınlaşmaya başlayan İçten Yanmalı Motorlu taşıtlarla kıyaslandığında, Elektrikli araçlar yüksek maliyet ve kısa menzile sahip olduğu için, dünya çapında İçten Yanmalı Motorlu araçlar yaygınlaşmaya başlamıştır ve Elektrikli araçlar giderek popülerliğini kaybetmiştir (Anonim, 2021). Fakat, az da olsa, elektrikli araçlar üzerine çalışmalar devam etmiştir. Ayrıca, elektrikli vagonlar ve diğer kara taşıtları da kendilerine yer bulmuştur.

21. yüzyılın başlarında ise, içten yanmalı motorlu araçların neden olduğu taşıt emisyonları ve çevre kirliliği, birlikteliğinde çevre kirliliği endişesi getirmiş ve toplumu yeni alternatifler aramaya itelemiştir. Bunun sonucunda diğer alternatif yakıtlara bir ilgi oluşmaya başlamıştır. LPG, CNG, Biyodizel ve diğer sentetik ve Biyoyakıtlar kullanılarak, çevre kirliliği bir miktar önlenmeye çalışılmıştır. Bunların bir kısmı devletler tarafından da desteklenerek, vergi indirimleri ve diğer mali teşvikler verilerek, kullanımlarının yolu açılmıştır. Emisyon kurallarıyla ilgili özellikle Kaliforniya’da (CARB – California Air Resources Board) düşük emisyon ile ilgili getirilen kurallar, elektrikli araçlara olan ilgiyi tekrar gün yüzüne çıkartmıştır. 20. Yüzyıl sonları ve içinde bulunduğumuz 21. Yüzyıl başlarında yapılan çalışmalar elektrikli araç teknolojisini her geçen gün ileriye taşımıştır. Özellikle yarı iletken teknolojilerindeki iyileştirmeler, her geçen gün elektrikli araçların daha popüler olmasını sağlamaktadır.

İçten yanmalı motorlu araçlarda, yakılan yakıtın en iyi ihtimalle %30-40'ı kadarı hareket enerjisine dönüştürülebilir. Elektrikli araçlarda ise, bataryada depolanan enerjinin iş enerjisine dönüştürülme verimi bu orandan çok daha fazladır (Gürbüz ve Kulaksız, 2016). Meeus (2018) tarafından yapılan seminerde, elektrikli araç teknolojilerinin son yıllardaki ivmelenerek artışının en büyük sebebi, batarya teknolojilerinde yaşanan gelişmeler olduğu bildirilmiştir. Birim batarya kütlesi başına depolanabilen enerji yoğunluğu arttıkça, aynı ağırlıktaki bataryada daha fazla enerji depolanabilir. Ayrıca bataryanın ömrü ve sağlığı, kaç defa doldurulup boşaltılabileceği gibi konularda iyileşmeler, batarya teknolojilerindeki temel gelişmeler olarak özetlenebilir. Bu gibi sebeplerden dolayı, şehir içi ve kısa mesafeli kullanımlar için, elektrikli araçların tercih edilmesi hızla artmaktadır ve gelecekte de büyük oranda ivmelenerek artış öngörülmektedir.



Şekil 1.1. Yıllara göre Elektrikli ve Hibrit araçların kullanım öngörüsü (Delphi Technologies: 2016'dan 2025'e elektrikli araçlardaki artış)

Elektrikli araç kullanımının daha da yaygınlaşması için iki temel teknik problem vardır; tam dolu batarya ile ne kadar yol gidilebileceği ve bataryanın ne kadar zamanda şarj olabileceği. Bu iki temel sorun, alışılmış olunan içten yanmalı motorlu araçlarla karşılaştırıldığında, elektrikli araç kullanımının yaygınlaşması için en büyük psikolojik iki engeli oluşturmaktadır. Batarya teknolojileri her geçen gün yeni materyal ve tekniklerin kullanılmasıyla birlikte daha verimli hale gelmektedir. Bataryaların şarj edilebilme hızı da her geçen gün artmaktadır. Tablo 1.1'den, Amin ve arkadaşları

tarafından yapılan çalışmada, şarj modu standartları, şarj edilme voltajı ve şarj süresi gibi standartlar listelenmiştir (Amin, 2020)

Tablo 1.1. Elektrikli Araç Şarj Modları ve Karakteristikleri

Şarj Modu	Şarj Karakteristikleri					Şarj Süresi (Saat)	Avantajlar	Dezavantajlar
	Şarj Çıkışı	Voltaj (V)	Akım (A)	Güç (kW)	Güç Kaynağı Bağlantısı			
Mod 1	Evsel	120V(AC)	12-16	1,4 – 1,9	Tek faz	6-10	Düşük maliyet	Uzun Şarj Süresi, Yavaş Şarj
Mod 2	Evsel, Kamusal	240V(AC)	80	19,2	Tek/Üç Faz	1-3	Hızlı Şarj süresi, enerji verimliliği	Yüksek Maliyet,
Mod 3	Kamusal	480V(AC)	80-200	20-120	Üç Faz	0,5	Çok Hızlı şarj süresi, Yüksek Enerji Verimi	Çok Yüksek Maliyet,

Batarya teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, depolanan enerji ile gidilebilecek mesafenin doğru biçimde hesaplanması da önemlidir. Çünkü bu durum elektrikli araç kullanıcıları üzerinde kalan mesafe endişesi (Range Anxiety) oluşturduğu, (Yuan ve ark. 2018) ve (Graser ve ark. 2014) tarafından yapılan çalışmalarla gözlemlenmiştir. Kısıtlı sürüş menzili, elektrikli otomobillerin yaygın olarak kullanılmasının önündeki en büyük engellerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. İçten yanmalı araçlara kıyasla, elektrikli araç bataryalarının dolma süresi, hala akaryakıt dolum süresine oranla düşürülememiştir. Bununla beraber doldurulan batarya ile kaç kilometre yol alınabileceği ise ciddi bir problem olarak elektrikli araç kullanıcılarının karşısına çıkmaktadır.

Araç dinamiği ve yeryüzü topolojisinden ötürü, eğimin pozitif olduğu bir yerde bataryadan çekilen akımın anlık değeri, yere paralel yola oranla birkaç kat daha fazla olabilmektedir. Ek olarak bataryanın ısıtılma ve soğutulma gibi dış çevreye bağlı ihtiyaçlarından ötürü ekstra enerjiler de tüketilmektedir. Aynı zamanda batarya sağlığı her çevrimde (tam dolma-boşalma) azalmakta, bu da tam dolma kapasitesini her çevrim

sonrası düşürmektedir. Tüm yan ve ana enerji yükleri, batarya sağlığındaki zamanla yaşanan azalma vb. gibi etkenler düşünüldüğünde, kalan menzil hesabı çok ciddi bir matematiksel probleme dönüşmektedir. Bu sebeple, yapılan bu çalışmanın asıl hedefi, elektrikli araç kullanıcılarının kalan mesafe endişesinin önüne geçebilmek için, uygulanabilirliği kolay, yüksek maliyet getirmeyen, yenilikçi bir algoritma ortaya koymaktır.



2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kalan mesafeyi düzgün hesaplamak, elektrikli araç kullanımının yaygınlaşması ve kullanıcılarda oluşabilecek kalan mesafe endişenin giderilmesi için çok önemlidir. Bu probleme çözüm bulabilmek için birçok çalışma yapılmıştır.

Kalan menzil algoritmalarında, matematiksel model tabanlı metotlar ve veriler üzerinden hesaplama odaklı olmak üzere iki temel yol bulunmaktadır. Kalan menzil hesabında ne kadar çok dış veri hesaba katılırsa, o kadar çok keskin ve doğru hesap yapılmaktadır. Örnek olarak bir çalışmaya göre o anki trafik yoğunluğu, kullanıcının sürüş stili, araç ağırlığı, sıcaklık, rota ve aracın geçmişindeki tüm tüketim verileri bir arada kullanıldığında %2,5 den daha az hata payıyla kalan menzil hesabının her an doğru tahmin edilebileceği ortaya konmuştur (Enthaler ve Gauterin, 2015). Bu hesaplama anlık araç hızı, anlık enerji tüketimi, coğrafi bilgiler, yeryüzü topolojisi ve batarya modeli gibi ekstra girdiler sağlandığında, sonuçların daha da keskinleştiği gözlemlenmiştir.

Ayrıca, Hayakawa ve ark. (2018) ve Bi ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmalarda ise GPS aracılığıyla gerçek zamanlı olarak aldığı bilgiyi kullanarak, kullanıcının sürüş profili ve trafik yoğunluğunu da hesaba katarak kalan mesafeyi hesaplamaya çalışmaktadır. Sun ve ark. (2019) ve Pan ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmalarda ise, sürücünün aracı kullanım profilini bir data olarak inceleyerek, yapay sinir ağları, makine öğrenmesi gibi tekniklerle işleyerek kalan mesafe hesaplamaktadır. Ayrıca bu gibi tekniklerde gidilecek yolun durumu önceden bilindiği için, araca uygulanan tahrik, daha önceden kesilebilmektedir ve rejeneratif frenleme ile enerji kazanımı önceden başlayabilmektedir. Ayrıca bu gibi teknikler, sadece elektrikli araçlar için değil, içten yanmalı motorlu araçlarda da kullanılabilir.

Bazı tekniklerde ise, kullanıcı davranışları ayırıklaştırma şemaları kullanılarak puanlandırılmaktadır. Farklı bir deyişle, sürücünün ideal sürücüden sapma seviyeleri tanıtılmaktadır. Örnek olarak bu gibi tekniklerde, %0 ile %60 arasında azalma anlamına gelen 10 merteye vardır. Bir sürücü yolculuk geçmişine göre 10. Seviyede

sınıflandırılırsa, tahmin edilen menzil %60 oranında azalmaktadır. Kategori, sürüş stili ve klima/ısıtıcı kullanım tercihlerine göre belirlenmektedir (Ferreira ve ark. 2012, 2013).

Bu gibi tekniklerde, aynı sürücü olsa bile sürücü agresifliğini değiştiren trafik ve çevre koşulları oluşabilir.

Farklı bir veriye dayalı teknikte ise enerji efektif rota oluşturmaya göre bir teknik geliştirilmiştir. Bu tekniğin özelliği, farklı enerji tüketimini etkileyen faktörleri (yol durumu, hava durumu, rakım, vb.) ayırt edebilmeyi mümkün kılarak, bu yaklaşımı herhangi bir yol için enerji tüketimi tahmini için uygun hale getirmesidir. Bu teknik, bir sinir ağı (NN) ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelinden oluşan bir basamaktan oluşur. Çoklu doğrusal regresyon modeli, enerji tüketimini tahmin etmek için kullanılır ve yapay sinir ağı ise, doğrusal regresyon modelinin bilinmeyen tahmin değişkenlerini tahmin eder. Elde edilen sonuçlara göre, ortalamanın %12-14'ü kadar hata ile enerji tüketimi tahmin edilebilmektedir (De Cauwer ve ark. 2017).

Bu gibi teknikler doğru ya da doğruya çok yakın sonuçlar vermesine karşın, yüksek hesaplama gücü ve karmaşıklık getirmektedir. Bu sebeple, mevcut elektrik kontrol üniteleriyle kullanılacak teknikler, nispeten daha az hesaplama gücü getirmelidir.

Rodgers ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada ise, kalan mesafe tahmini için asıl zorluğun, aracın gelecekteki enerji tüketimini doğru biçimde tahmin etmek olduğu vurgulanmıştır. Gelecekteki enerji tüketimi geçmiştekiyle yeterince benzerse ya da gelecekle ilgili uygulanabilir bilgiler önceden biliniyorsa güvenli biçimde tahmin edilebilir. Geleneksel bir kalan mesafe algoritması, geçmiş enerji kullanımının hem uzun vadede hem de kısa vadede karışımını kullanarak harmanlanmış bir formül kullanır. Yapılan bu çalışmada ise, gelecekteki değişiklikler sürücünden rota bilgisi alınarak önceden tespit edilirse, hata oranının azalacağını göstermiştir. Örneğin, sürücü varış noktasını önceden navigasyon üzerinden sağlarsa, internet sistemi üzerinden rota, trafik, hava durumu gibi bilgiler elde edilebilir ve bu bilgiler kalan mesafe tahminini iyileştirmek için kullanılabilir. Hız, trafik ve sıcaklıktaki tahmini değişikliklere dayalı olarak, tarihsel bir enerji tüketimi ortalamasını ayarlayan çok değişkenli doğrusal bir regresyon modeli

üretlmifltir. Bu yntem, diğer yntemlere kıyasla daha az hesaplama gücü gerektirmesine karşın, internet, navigasyon gibi ek ozelliklere ihtiyaç duyulmaktadır.

Gelecekteki enerji tüketime, aracın ağırlığı ve taşıdığı yük, gidilen yolun eğimi, rüzgarın yönü, ortalama hız, yardımcı yüklerin kullanımı gibi sebeplerden dolayı değişim göstermesi yüksek olasılıklıdır. Araç hızına bağlı olarak yapılan enerji tüketime, belirli hız aralıklarıyla belirlenirse, aracın ideal enerji tüketime hesaplanmış olur. Anlık enerji tüketiminden de ideal değerden ne kadar uzaklaşıldığı hesaplanabilir. Bu uzaklaşma miktarı ve geçmişteki enerji tüketime birlikte kullanılarak gelecekteki enerji tüketime doğru biçimde hesaplanabilir. Yapılan alışma bu teknik üzerine yoğunlaşmıştır



3. MATERYAL ve YÖNTEM

Kalan mesafe hesabı basit olarak kalan enerji miktarının bir kilometre başına yapılan ortalama enerji tüketimine oranı ile elde edilir (Siy 2012). Fakat bu hesaplamanın direkt olarak kullanımı doğru sonuçlar vermeyecektir. Çünkü enerji tüketimi ortalaması, gidilen yolun eğimi, yolun rüzgar durumu, klima ve ısıtıcı gibi yardımcı yükler, yolun sürtünme katsayısı gibi değişkenlere göre hızlıca değişecektir.

$$Kalan\ Menzil = \frac{Kalan\ Enerji\ Miktarı\ [kWh]}{Enerji\ Tüketim\ Ortalaması\ [\frac{kWh}{km}]} \quad (3.1)$$

Enerji tüketimi ortalamasının kat edilen son kilometreye göre olan değerini kullanmak, bu nedenle gerçeğe yakın sonuçlar vermeyecektir. Çünkü dinamik olarak hesaplanan enerji tüketim ortalaması, örneğin yokuş yukarı gidilirken çok büyük, yokuş aşağı gidilirken çok küçük olacağı için, kalan menzil miktarı çok fazla değişken olacaktır. Bu sebeple, literatürde sık sık kullanılan aşağıdaki basit hesaplama ile daha doğru sonuçlar alınabilir (Rodgers ve ark. 2013).

$$P_{karma} = P_{uzun} - b * (P_{uzun} - P_{kisa}) \quad (3.2)$$

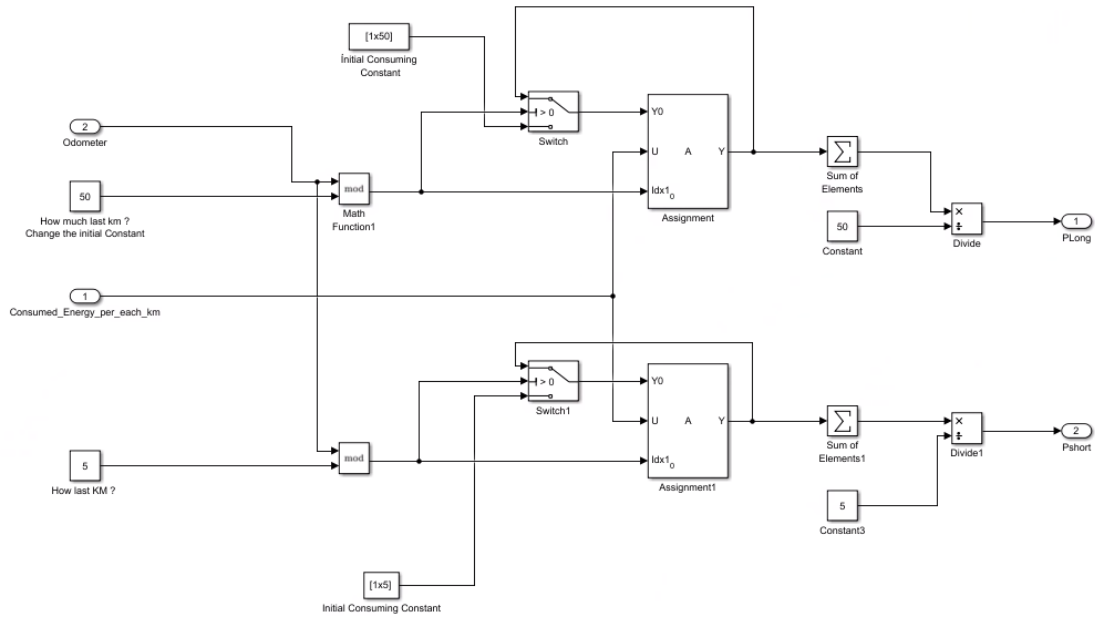
$$b(t) = 1 - SOC(t)/100 \quad (3.3)$$

- P_{karma} : Uzun ve kısa mesafedeki karma enerji tüketim ortalaması
- P_{uzun} : Gidilen son 50 km enerji tüketim ortalaması
- P_{kisa} : Gidilen son 5 km enerji tüketim ortalaması

3.1 P_{uzun} ve P_{kisa} Hesaplaması

P_{kisa} ve P_{uzun} hesaplanırken, P_{kisa} için gidilen son 5 km yoldaki ortalama enerji tüketimi ve P_{uzun} hesaplanırken de gidilen son 50 km yoldaki ortalama enerji tüketimi şekil 3.1 deki gibi hesaplanmıştır. Her bir kilometre başına yapılan enerji tüketimi, 5 elemanlı ve 50 elemanlı bir dizilere (array) atanarak dizilerin elemanlarının aritmetik

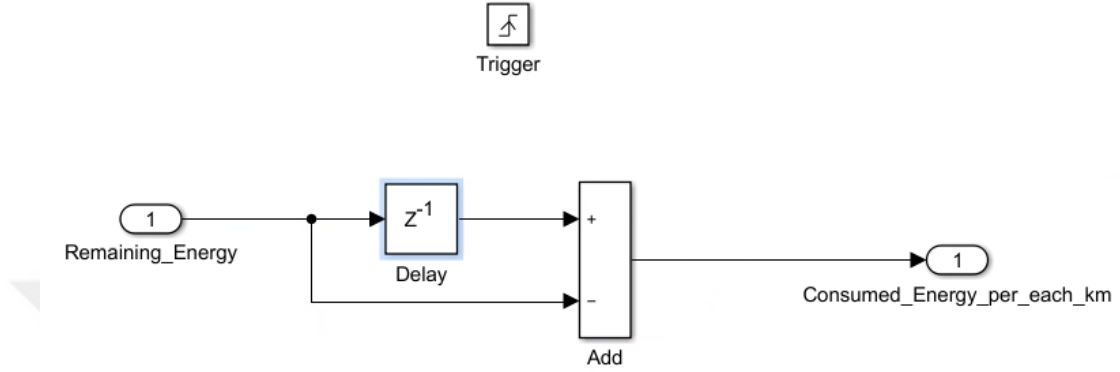
ortalaması alınmaktadır. Dizinin hangi elemanının üzerine yazılacağı ise, odometre değerinin mod5 ve mod50'deki değerleri kullanılarak yapılmıştır. Kilometre başına yapılan tüketim ortalamaları değerlerini bir dizide toplayabilmek için, Simulink'in Assignment operatörü kullanılmıştır. Ayrıca, ilk değer atamaları için, 50 ve 5 elemanlı dizilere ilk değer olarak 180 Wh/km değeri girilmiştir. Bu sayede, bu alt sistem ilk defa çalışacağı zaman, 50 ve 5 elemanlı dizilerin tüm elemanlarının değeri 180 olmaktadır. Daha sonraki çevrimlerde, araç kullanıldıkça, dizinin anlık odometre değerinin mod operatörüne göre değerinde olan elemanı, o kilometre boyunca yapılan kWh/km cinsinden ortalama tüketimine (Consumed_Energy_per_each_km) değer ataması yapılmaktadır. Bu durum yapılmadığında, P_{uzun} için ilk 50 kilometre kullanımda, $P_{kısa}$ için ise, ilk 5 kilometredeki kullanımda dizinin bazı elemanlarının değeri 0 olacağı için, aritmetik ortalama alınırken, doğru sonuçtan büyük sapmalar olacaktır. Bu sebeple, 180 Wh/km olarak bir değer ataması yapılmaktadır. 180 Wh/km değeri aracın batarya kapasitesinin homologatif olarak bildirilen gidebileceği en fazla menzile olan oranıdır.



Şekil 3.1. P_{uzun} (P_{long}) ve $P_{kısa}$ (P_{short}) hesaplanması

$P_{kısa}$ ve P_{uzun} hesaplamaları yapılırken, aracın bir kilometre başına yaptığı enerji tüketimi bilgisi kullanılmaktadır. Bu hesaplama, bir kilometre önceki bataryada kalan enerji miktarının anlık bataryada kalan enerji miktarıyla farkının alınmasıyla

hesaplanmıştır. Alt sistem tetiklemesini OdometerIncreased bayrağı (flag) ile almaktadır. Bu bayrak değerinin değeri her defasında 1 olduğu zaman kilometre başına yapılan enerji tüketimi ortalaması hesaplanmaktadır. Gecikme (Delay) elemanına ilk değer olarak 0, gecikme uzunluğu olarak da 1 değeri verilmiştir.



Şekil 3.2. Kilometre başına yapılan enerji tüketimi hesaplanması

3.2 P_{karma} Hesaplaması

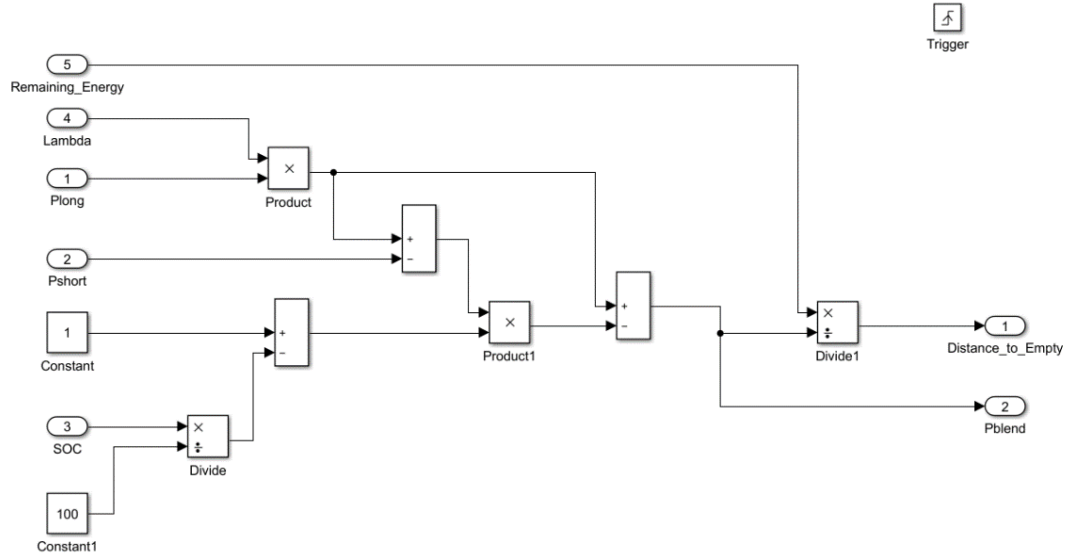
Formül 3.2'den de anlaşılacağı üzere, batarya şarj durumu (SOC) azaldıkça, P_{kisa} 'nın hesaplamada olan ağırlığı artmaktadır. P_{uzun} ise, batarya şarj durumu fazla iken, formül içindeki ağırlığı daha güçlüdür. Bu hesaplama tekniği kullanılarak yapılan gözlemlerde, geçmişteki enerji tüketim ortalamaları, gelecekteki ile paralelse, doğru sonuçlar elde edilmektedir (Rodgers ve ark. 2013). Fakat, bu formülde, araç ve taşıdığı yükün ağırlığı, yol ve hava koşulları ya da eğim gibi gelecekteki enerji tüketimine direkt etkili olacak parametreler belirtilmemiştir. Ek olarak ısıtıcı ya da soğutucu gibi yardımcı yükler de yer almamaktadır. Bu gibi parametreler gelecekteki enerji tüketimini direkt olarak etkileyeceği için, mevcut enerjiyle gidilebilecek menzil de direkt olarak etkilenecektir.

Gelecekte ya da anlık olarak etki eden parametreleri, kalan mesafe hesabına olan etkisini hesaba katmak için λ adı verilen bir çarpan ile kullanılmıştır. Bu çarpan P_{uzun} , (son 50 km enerji tüketim ortalaması) ile çarpılmaktadır. Çünkü, araç dinamiğinde, ya da örnek olarak aracın kütlesinde geçmiştekine göre bir değişiklik olması durumunda, uzun

dönemdeki enerji tüketim ortalaması da etkilenmelidir. P_{kisa} , değeri P_{uzun} , değerine göre kısa bir süre içinde güncelleneceğinden, bu çarpanın P_{uzun} için kullanılmasına gerek görülmemiştir. Yukarıdaki formüle λ çarpanının eklenmesiyle formül aşağıdaki hali alacaktır. Algoritma, bu hesaplamanın her bir kilometre artışında olacağı biçimde tasarlanmıştır.

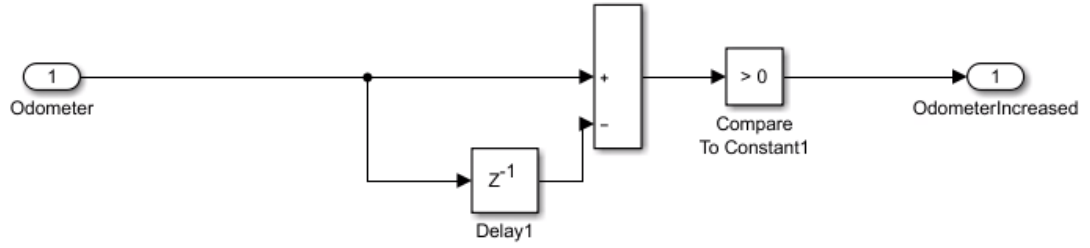
$$P_{karma} = \lambda * P_{uzun} - b * (\lambda * P_{uzun} - P_{kisa}) \quad (3.4)$$

3.3 Kalan menzil değerinin hesaplanması



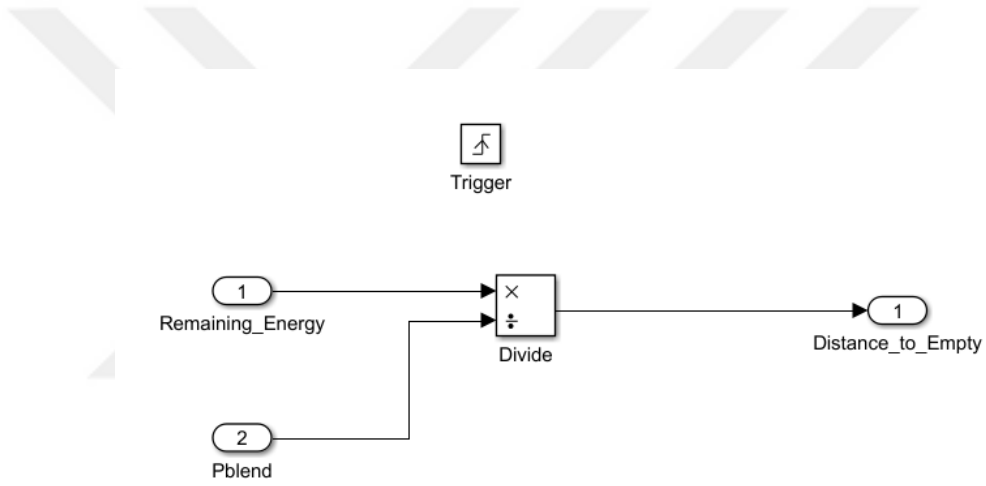
Şekil 3.3. P_{karma} (P_{blend}) hesabı ve Aracın hareket durumundaki kalan mesafe (Distance_to_Empty) hesabı

Aracın hareket halinde olup olmadığı, aşağıdaki şekildeki gibi tespit edilmektedir. Bu hesaplama, sistemin çalışma periyodunda çalıştırılmaktadır. Bir önceki çalışma periyodu ve anlık çalışma periyodundaki odometre bilgileri alınmaktadır. Eğer ikisi arasında bir farklılık varsa, OdometerIncreased bayrağı (flag) 1 olmaktadır. Bu sayede, aracın hareket halinde olduğu ve odometre’de artış olduğu tespit edilmektedir. Bu alt sistemde kullanılan gecikme operatörüne (Delay) ilk değer olarak 0 değeri ve gecikme uzunluğu değeri olarak 1 değeri verilmiştir.



Şekil 3.4. Aracın hareket halinde olduğunun tespiti.

Araç hareket etmediği durumda ise, bu hesaplama en son P_{karma} değeri kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

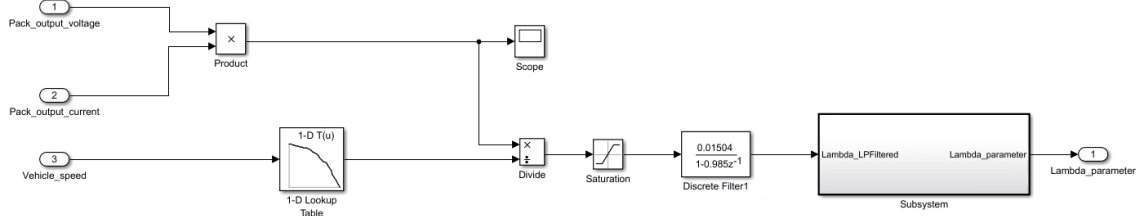


Şekil 3.5. Araç hareket etmediği durumda kalan mesafe (Distance_to_Empty) hesaplanması

3.4 Lambda (λ) değeri hesaplanması

λ çarpanı hesaplanırken, aracın her bir hız değeri için ve harici yük olmadan, tükettiği enerji miktarı, tüm hız değerleri için haritalandırılır. Bu sayede, aracın gidebileceği hız değerleri için, enerji tüketimi değerleri nominal olarak bulunmuş olur. Haritadaki hız değerlerine karşılık olan enerji tüketimi, anlık olarak gelen yeni değere bölünerek birimsiz bir λ çarpanı elde edilir. Eğer içinde bulunulan araç hızı için anlık enerji tüketim değeri haritadaki ile aynıysa, λ çarpanının değeri 1 olmaktadır. Anlık enerji tüketimi, beklenenden daha fazla olması durumunda, λ çarpanının değeri 1'den büyük olmaktadır.

Bu durum aracın, normal durumundan daha fazla harici yüke, karşı rüzgara, eğime karşı hareket edildiğinde ya da ısıtıcı/soğutucu kullanımının olduğu durumlarda olmaktadır.



Şekil 3.6. λ Parametresi hesaplanması

Çizelge 3.1. Araç hızına bağlı olarak güç değerlerinin başvuru çizelgesi

Viewing "n-D Lookup Table" block data [T(:)]:

Breakpoi...	Column	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Row		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
(1)	--	-357	-1053	-1749	-2446	-3062	-3679	-4295	-4623	-4952	-5281	-5610	-6939	-8267	-9596
(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	
70	75	80	85	90	94	102	105	110	115	120	125	130	135	140	
-10925	-11895	-14334	-16773	-19213	-21165	-23056	-25370	-28456	-32313	-36171	-40800	-44195	-48052	-51910	

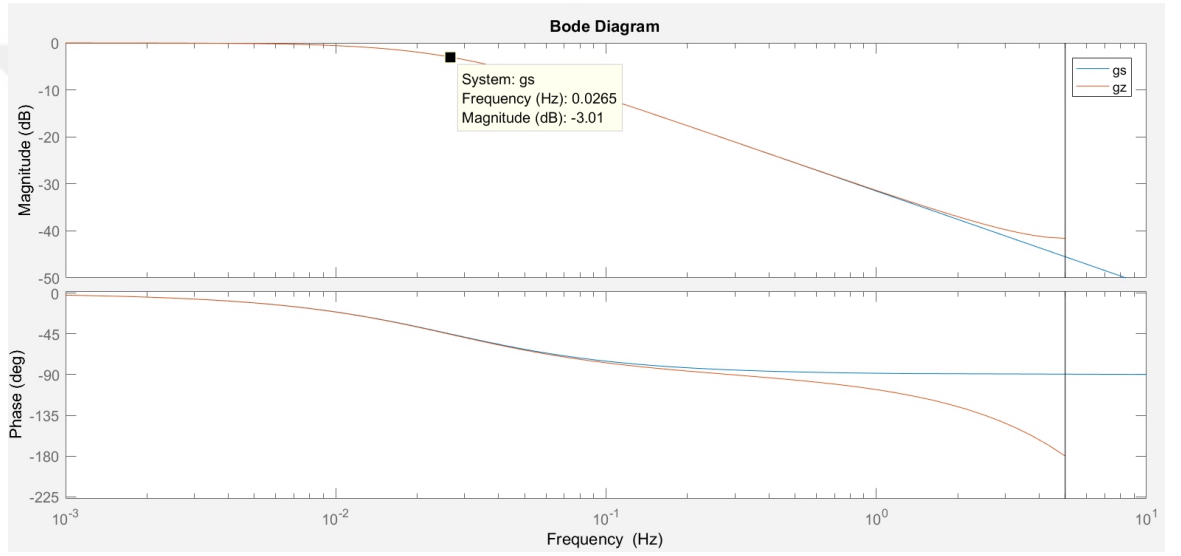
λ çarpanı, ivmelenme, frenleme gibi hız değişimleri olduğu durumda çok hızlı değişim göstereceği için, filtrelenmesi kaçınılmazdır. Sinyal içerisinde bulunan yüksek frekans bileşenleri gürültü olarak düşünülmüştür. Bu sebeple, alçak geçiren filtre ile istenmeyen sinyal bileşenleri filtrelenmiştir. Birinci dereceden alçak geçiren filtrenin ayrık zamanda uygulaması yapılmıştır. Filtrenin kesim frekansı 0.0265 Hz, zaman sabiti ise 6 saniyedir. Filtrenin kazancı da 1 dir. Filtre özelliklerinin kesim frekansı ve zaman sabiti belirlenirken, sürücünün kalan menzili hangi dinamikle görmesi gerektiği dikkate alınmıştır. Sürücü açısından 30 saniyelik bir dinamikle kalan menzili görmesi yeterli bulunmaktadır. Çünkü daha hızlı değişim göstermesi sürücü açısından yanlış değerlendirmelere sebep olabilir. 30 saniyelik dinamikliği kaybetmemek açısından alçak geçiren filtre dinamiği 5 kat daha hızlı seçilmiştir.

Filtrenin sürekli zamanda ve ayrık zamandaki transfer fonksiyonu denklem 3.5 ve 3.6'daki gibidir. Alt sistemin örnekleme zamanı 0.1 saniyedir. Filtrelenecek sinyal,

filtreleme alt sistemine giriş yapmadan önce, üst limiti 4, alt limiti -1.5 olan bir doyum (saturation) fonksiyonu tarafından değerin alabileceği en büyük ve en küçük değerler belirlenmiştir. Bu fonksiyonun kullanım sebebi, değerin çok ani ivmelenme ve frenlemelerde çok büyük ve çok küçük değerler almasının önüne güvenlik amaçlı geçmektir.

$$G(s) = \frac{1}{6s+1} \quad (3.5)$$

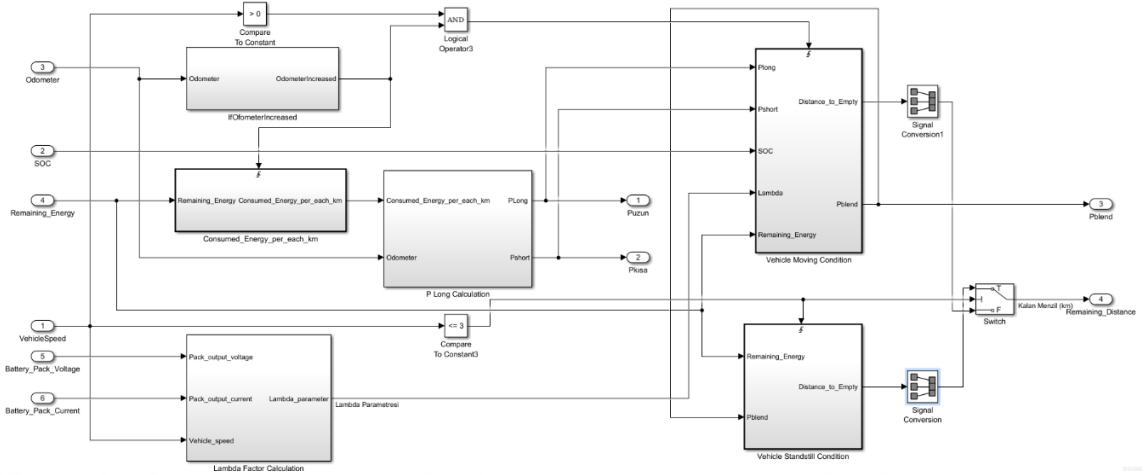
$$G(z) = \frac{0.01653}{z-0.9835} \quad (3.6)$$



Şekil 3.7. Alçak Geçiren Filtrenin Frekans Cevabı

λ değeri filtrelendikten sonra, değerdeki hızlı değişimlerin önüne geçebilmek ve hesaplamaların daha durağan olması amacıyla, λ değerinin aritmetik ortalaması alınmaktadır. Kümülatif olarak örneklenen λ değerleri toplanarak değerin aritmetik olarak toplamı hesaplanır. Daha sonrasında, toplam değer, örneklenme sayısına bölünerek λ değerinin belirli sayıda bir olan aritmetik ortalaması bulunmuş olur.

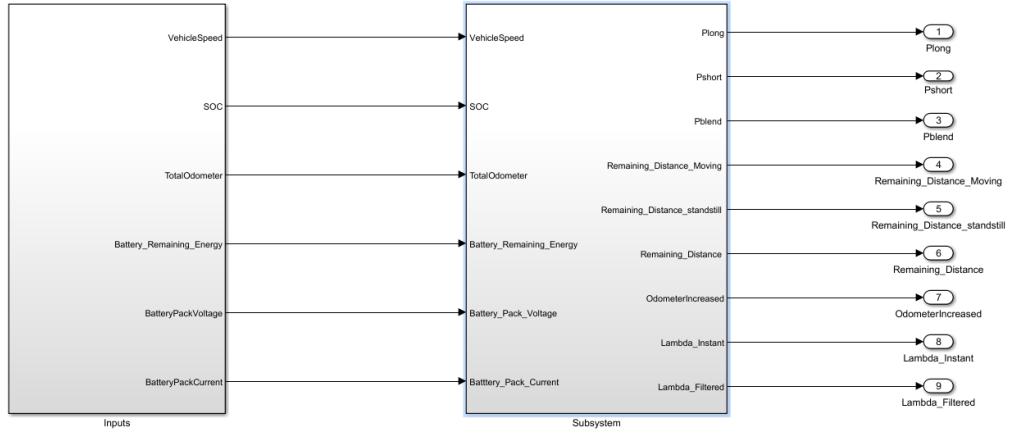
3.5 Genel sistem akışı



Şekil 3.8. Sistemin genel görünümü ve alt sistemler arası haberleşme

Şekil 3.8’te de görüleceği üzere sistemdeki sistemin genel akışı şu şekildedir:

- Her bir kilometredeki enerji tüketimi değeri hesaplanır ve bu bilgi P_{uzun} ve P_{kisa} hesaplanmasında kullanılır.
- Araç hızı, Batarya Voltajı ve Batarya Akımı bilgileri kullanılarak λ çarpanının değeri hesaplanır.
- P_{uzun} , P_{kisa} , Batarya Şarj durumu ve λ değerleri kullanılarak, P_{karma} değeri hesaplanır.
- P_{karma} ve Bataryadaki enerji miktarı bilgileri kullanılarak, araç odometresindeki her değişim değeri için araç hareket halindeki kalan menzili hesaplanır.
- Eğer araç hareket halinde değilse, P_{karma} ve Bataryadaki enerji miktarı bilgileri kullanılarak kalan menzil hesaplanır.
- Daha öncesinde hesaplanmış araç hareket halinde ve dururken kalan menzilleri araç hızı bilgisine göre kullanılarak nihai araç kalan menzili hesaplanır.
- Aracın hiç hareket etmediği ilk durumda ise, P_{karma} değeri, P_{uzun} ve P_{kisa} değerleri hesaplamasında kullanılan dizinin tüm elemanları 180Wh/km değerine eşit olacağı için, Bataryadaki enerji miktarının 180 Wh/km değerine bölünmesi sonucunda kalan menzil değeri hesaplanacaktır.



Şekil 3.9. Sistemin genel görünümü ve kullanılan giriş ve çıkışlar

Algoritmanın çalışması için Araç hızı (VehicleSpeed), Bataryadaki yüzde cinsinden şarj durumu (SOC), Aracın odometresi (TotalOdometer), Bataryadaki enerji miktarı (Battery_Remaining_Energy), Batarya Voltajı (BatteryPackVoltage) ve Batarya çıkış akımını (BatteryPackCurrent) bilgilerine ihtiyacı vardır. Bu bilgiler, aracın kendi haberleşme ağında bulunmaktadır. Ek olarak bir sensörden ölçüm değerine ihtiyaç duyulmamaktadır.

Ayrıca, Simulink modelinin model konfigürasyon parametreleri Şekil 3.10 daki gibidir.

Simulation time

Start time: 0.0 Stop time: 1800

Solver options

Type: Fixed-step Solver: ode4 (Runge-Kutta)

▼ Additional options

Fixed-step size (fundamental sample time): 0.10

Tasking and sample time options

Periodic sample time constraint: Unconstrained

☐ Treat each discrete rate as a separate task

☐ Automatically handle rate transition for data transfer

☐ Higher priority value indicates higher task priority

Şekil 3.10. Simulink modelinin model konfigürasyon parametreleri

4. BULGULAR

Yapılan çalışmada, elektrikli bir hafif ticari araçtan, aracın mevcut verileri (CANBus) üzerinden alınarak, kurulan model üzerinde benzetim yapılarak çalışmanın doğrulanması sağlanmıştır. Kurulan modele giriş olarak gerekli parametreler;

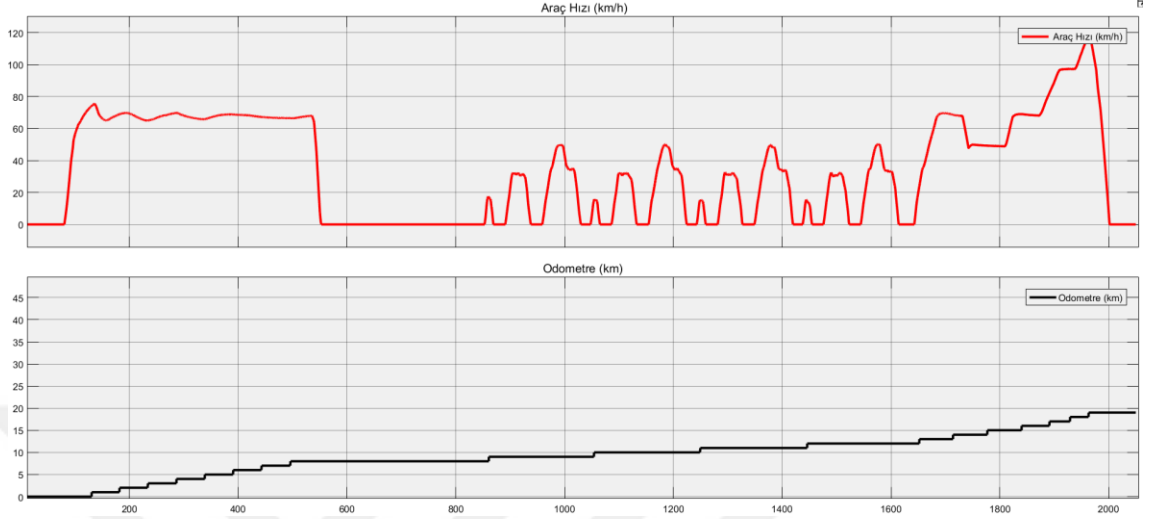
- Kalan Batarya Enerjisi
- Araç hızı
- Batarya Şarj Durumu (State of Charge)
- Odometre
- Anlık Batarya Voltajı
- Anlık Batarya Akımı

Bu bilgiler, CAN hattında araç içi haberleşme ağında kontrol ünitelerinin birbiriyle yaptığı haberleşmeden elde edilmiştir. Araçtan alınan veriler, CANalyser 8.5 SP7 (64 bit) yazılımı ve VECTOR VN1610 donanımı kullanılarak alınmıştır. Simulasyon için kullanılan veriler, zamana bağlı olarak, 100ms örnekleme zamanı ile kullanılmıştır.

λ parametresi elde edilirken, aracın ivmelenme olmaksızın her 5 km/h hız artışıyla yaptığı anlık güç tüketimleri AVL çift akslı ROADSIM dinamometresi üzerinde hesaplanmış olup, bu değerler bir haritada saklanmıştır. 5'er km/h aralıklı hız değerlerinin arasındaki kalan değerler, lineer olarak ara değer hesaplaması (linear interpolation) yapılmıştır. Bu sayede her bir hız değeri için, $\lambda=1$ değeri elde edilmiştir. Bu değer, araç kullanılırken çok hızlı değişim gösterdiği için, λ değerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu ortalama değeri daha sonrasında zaman sabiti 6.6 saniye olan bir düşük geçiren filtreden geçirilmiştir. Bu değerle birlikte, çok daha durağan bir λ değeri elde edilmiştir ve kalan mesafe algoritması hesaplamasında kullanılmıştır.

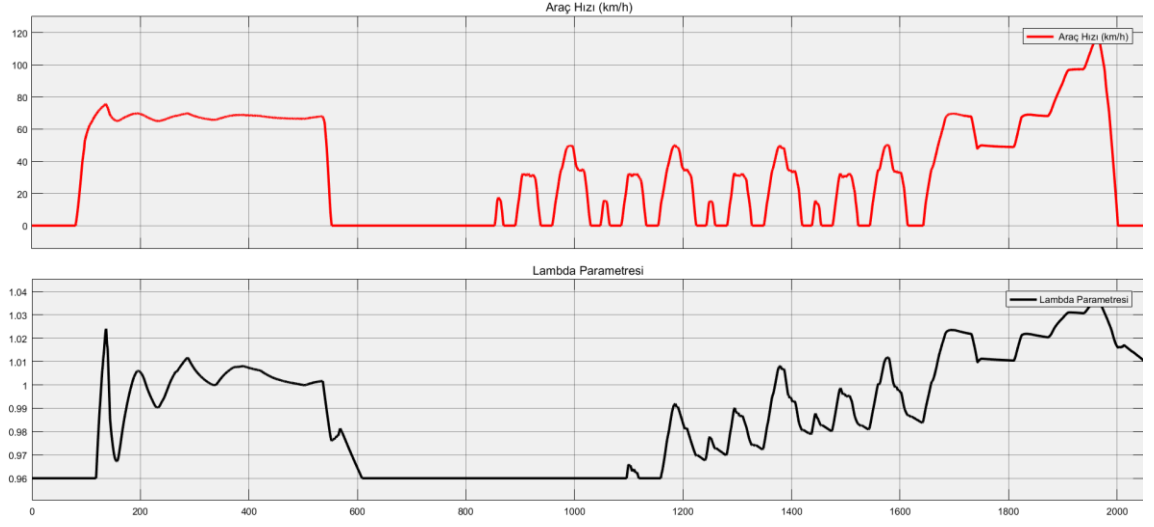
Algoritma ilk olarak, P_{uzun} değerinin hesaplanabilmesi için, 50 kilometre boyunca WLTP çevrimi takip edilerek kullanılmıştır. Daha sonrasında ise, 8 km boyunca 60-70 km/h arasında sakin bir profilde kullanılmıştır ve NEDC (New European Driving Cycle)

döngüsü üzerinde test edilmiştir. 8 kilometre kullanım ve NEDC döngüsü üzerindeki teste, %99 Batarya Doluluk Oranıyla (SOC (State of Charge)) başlanmıştır.

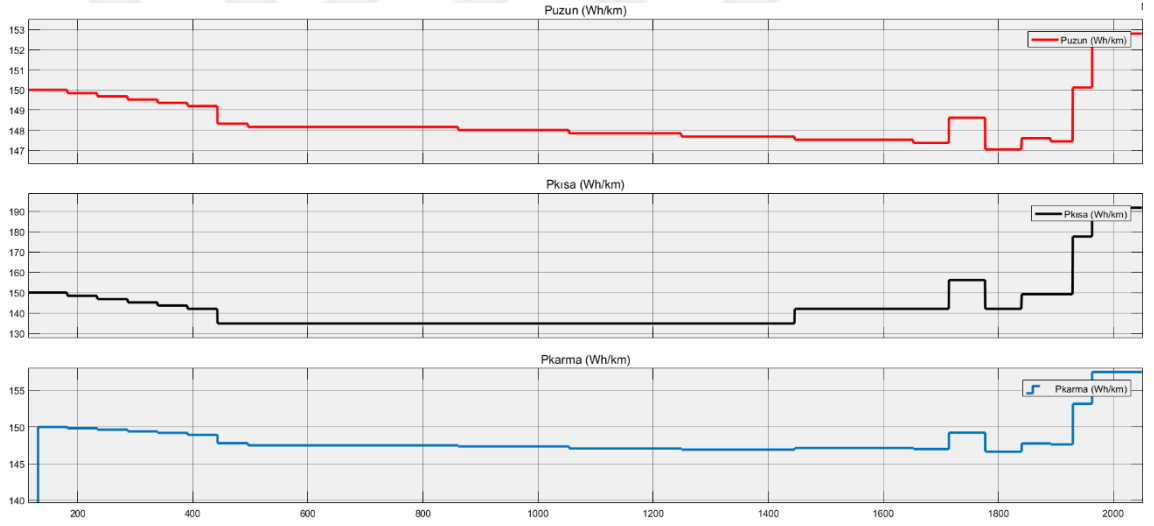


Şekil 4.1. 8km serbest sürüş ve NEDC döngüsü boyunca zamana bağlı Araç Hızı ve Odometre değişimi

Araç toplamda 8 kilometre serbest sürüş ve NEDC döngüsü testleri toplamı olarak 20 kilometre boyunca kullanılmıştır. Araç kullanılırken, sabit hızla kullanımlarda λ parametresinin 1 civarında sabit kaldığı, araç ani biçimde ivmelenirken, λ parametresinin de 1 değerinin üzerine doğru arttığı ve yavaşlarken de fren den enerji kazanımı olması ve enerji tüketimi olmayışı sebebiyle 1 değerinin altına düştüğü görülmüştür. Ayrıca, NEDC döngüsünün son çeyreğinde, araç hızının en fazla olduğu bölümde, Lambda değerinin de en fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, kullanım boyunca, P_{uzun} , $P_{kısa}$ ve P_{karma} değerleri de gözlemlenmiştir. λ değerine benzer biçimde, enerji tüketim ortalama değerlerinin en fazla NEDC döngüsünün son kısmında olduğu gözlemlenmiştir. P_{uzun} , $P_{kısa}$ ve P_{karma} değerlerinin değişim profilleri benzer olmasına rağmen, $P_{kısa}$ değerindeki anlık değişimler diğerlerine nazaran daha ani ve fazla olduğu görülmüştür.



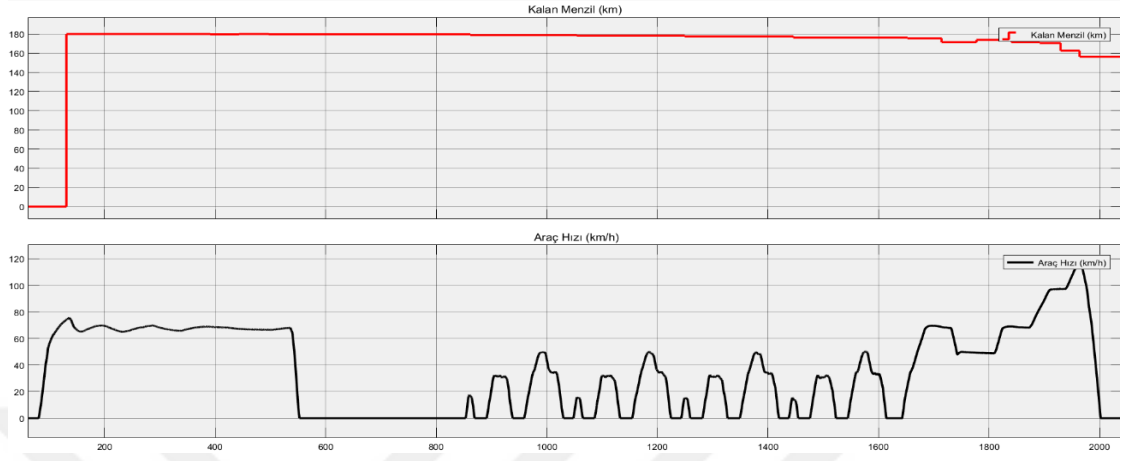
Şekil 4.2. 8 km serbest sürüş ve NEDC döngüsünde zaman bağılı olarak λ parametresi değişimi



Şekil 4.3. P_{uzun} , P_{kisa} ve P_{karma} değerlerinin 8km serbest sürüş ve NEDC Döngüsündeki zamana bağlı değişimleri

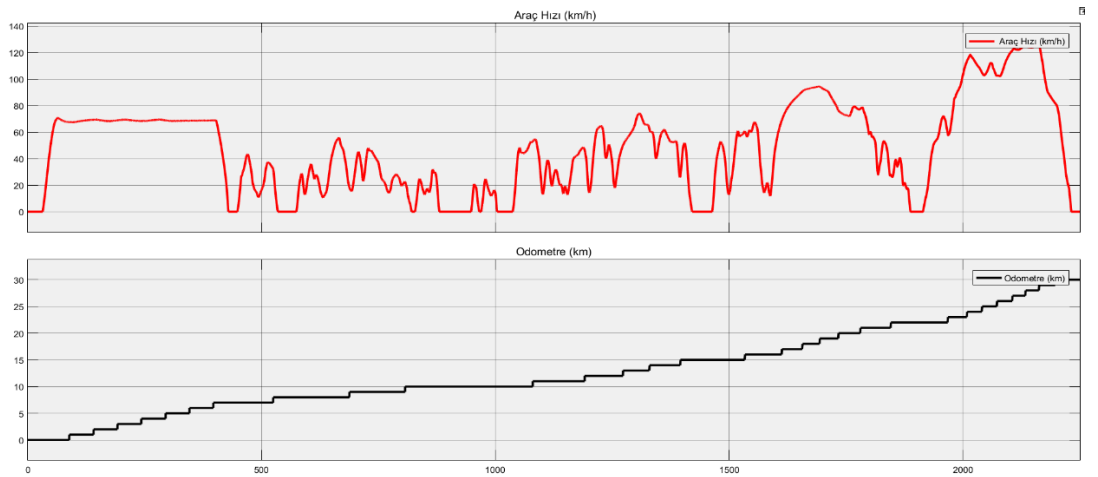
Nihai olarak, yapılan sürüş boyunca kalan menzil miktarındaki değişim de gözlemlenmiştir. 8km boyunca yapılan serbest sürüş boyunca, kalan menzilin stabil olarak yapılan sürüş miktarına paralel olarak düştüğü, NEDC döngüsünün şehir içi fazlarında araç hızının şehir dışına göre daha düşük olduğu için daha sakin fakat ani duruş ve kalkışlar olduğu için sabit kullanıma göre daha fazla, şehir dışı fazında ise, araç hızının ve ivmelenmelerin en fazla olması sebebiyle en hızlı şekilde düştüğü görülmüştür. Araç toplamda 20 km boyunca kullanılmıştır. Kalan menzildeki düşüş ise NEDC döngüsünün

şehir dışı kullanımı profili etkisiyle, 23 kilometre olmuştur. Toplamda gerçek değerlerden %15 sapma olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.4. 8km serbest sürüş ve NEDC döngüsü boyunca zamana bağlı olarak Araç hızı ve Kalan Menzil değerindeki değişim.

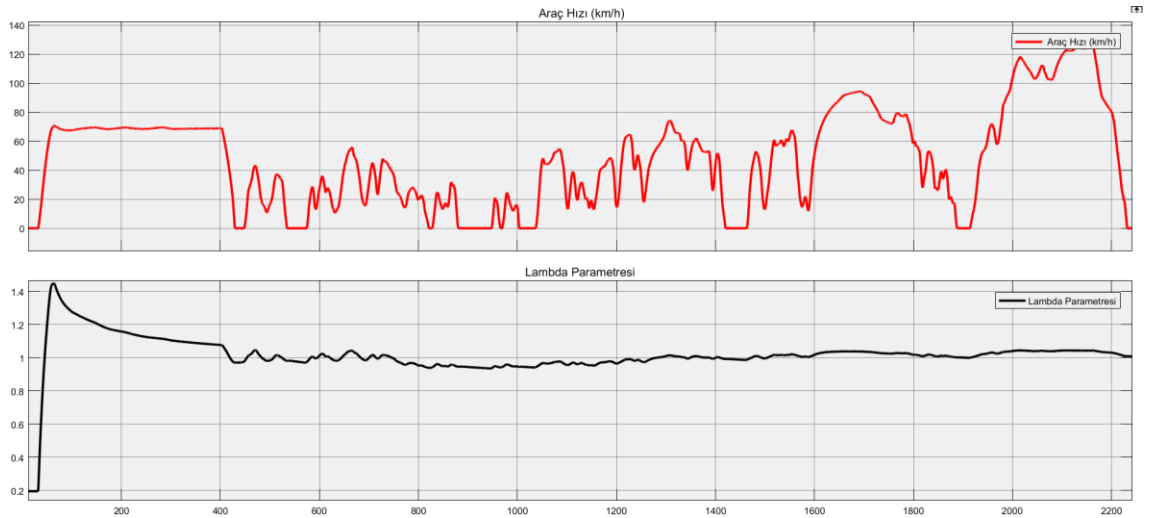
Benzer bir test, WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure) döngüsü ile de yapılmıştır. Daha önceki 50 kilometre boyunca yapılan P_{uzun} öğrenmesi yapıldıktan sonra araç ilk olarak, 7 kilometre boyunca serbest sürüş yapılarak, 70 km/h hız civarında kullanılmıştır. Daha sonrasında ise, WLTP test prosedürü uygulanarak sonuçlar analiz edilmiştir. Ayrıca teste %75 Batarya Doluluk Oranı (SOC (State of Charge)) ile başlanmıştır.



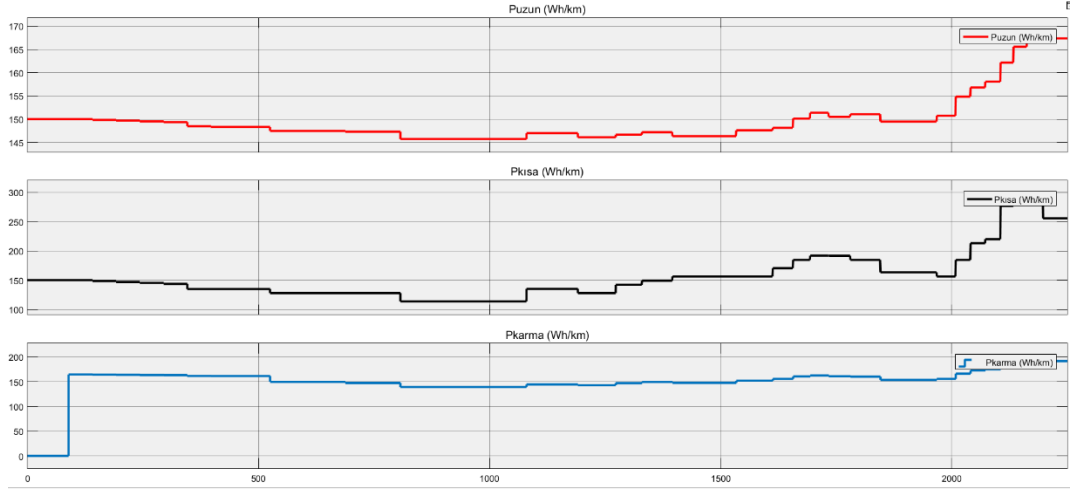
Şekil 4.5. 7 km serbest sürüş ve sonrasında WLTP döngüsü boyunca zamana bağlı olarak araç hızı ve araç odometresindeki değişim

Araç toplamda 7 kilometre serbest sürüş ve WLTP döngüsü olmak üzere 30 kilometre boyunca kullanılmıştır. 7 kilometre sabit sürüş başında λ değerinin en fazla ve sonrasında yavaşça düşüş göstermesinin sebebi, aracın ilk kalkışında yüksek ivmelenme ile bataryadan çok fazla enerji çekmesi, bunun sonucunda da bulunan hız değerinde tüketilmesi beklenen enerjiden çok daha fazla tüketilmesi sebebiyledir. Araç sürüşü devam ettikçe, değerin 1 civarına yaklaştığı gözlemlenmiştir.

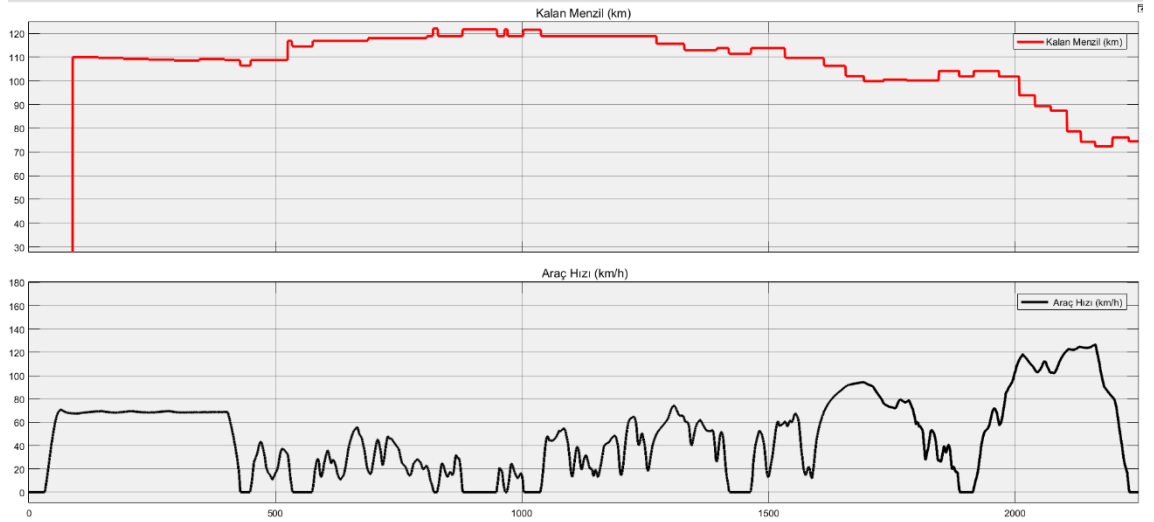
WLTP döngüsü boyunca da λ değerinin 1 civarında olduğu görülmüştür. Hızlanmaların ve ani ivmelenmelerin olduğu kısımlarda λ değeri 1'in üzerine çıkmıştır. Frenleme ve hız düşüşlerinin olduğu bölümlerde ise, frenden enerji geri kazanımı stratejisi ile de, enerji akışı bataryaya doğru olduğundan, λ değeri 1'in altına düşmüştür. Test çevriminin son fazlarında (Yüksek-Çok Yüksek) araç hızının çok yüksek oluşu ve ivmelenmelerin daha keskin olması sebebiyle, Lambda değerinin 1'in üzerinde seyrettiği gözlenmiştir. P_{uzun} , $P_{kısa}$ ve P_{karma} değerlerindeki değişimin de, WLTP çevriminin son iki fazında, en fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca $P_{kısa}$ değerinin, diğerlerine göre daha fazla artıp azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.6. Zamana bağlı 7km serbest sürüş ve WLTP çevrimi boyunca Araç Hızı ve λ Parametresi değerlerindeki değişim.



Şekil 4.7. Zamana bağlı 7km serbest sürüş ve WLTP çevrimi boyunca P_{uzun} , P_{kisa} ve P_{karma} değerlerindeki değişim

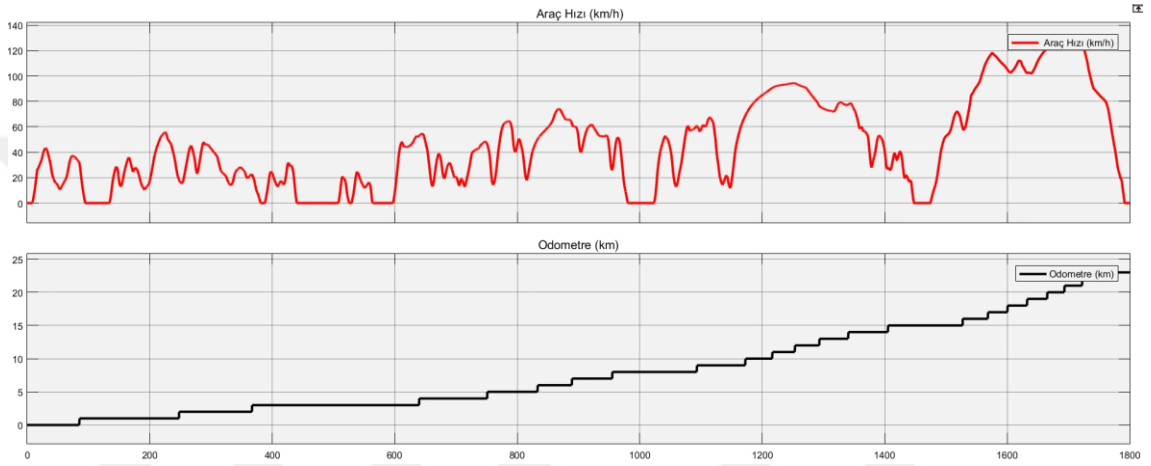


Şekil 4.8. Zamana bağlı 7km serbest sürüş ve WLTP döngüsü boyunca kalan menzil ve araç hızındaki değişim.

Ayrıca, yapılan sürüş profili sonrasında, kalan menzildeki değişim de gözlemlenmiştir. İlk olarak, 7km boyunca yapılan serbest sürüşte, kalan menzil miktarının doğru ve gidilen yolla paralel olarak düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. WLTP döngüsünün düşük ve orta kısımlarında ise, ani ivmelenme ve frenlemelerin NEDC çevrimine göre daha şiddetli ve fazla olması sebebiyle, kalan menzil değerinde de artış ve azalışların olduğu gözlemlenmiştir. WLTP döngüsünün Yüksek ve Çok Yüksek kısımlarında ise, hız değerinin yüksek oluşu ve enerji tüketiminin en fazla olması sebebiyle, kalan menzil değerindeki düşüş de en fazla olduğu görülmüştür. Toplam olarak 30 kilometre yol kat

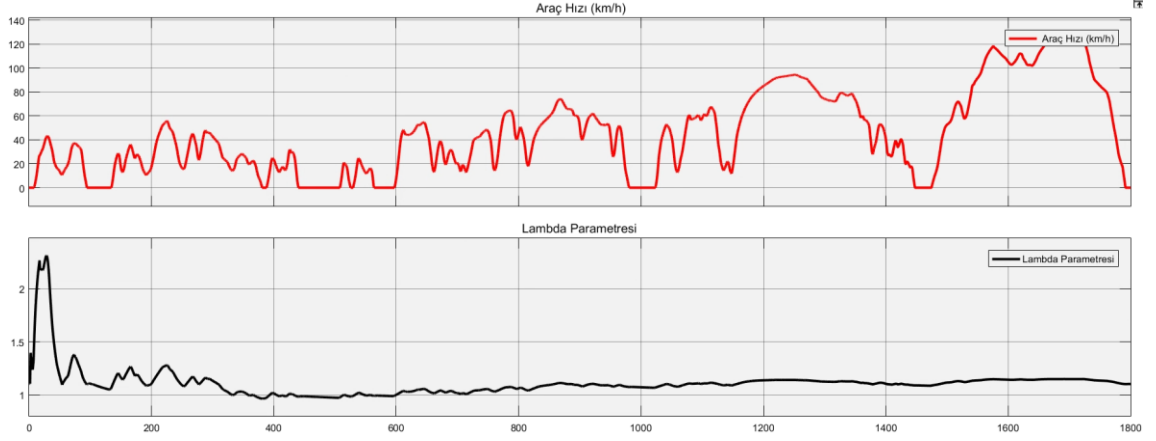
edilmesine rağmen, kalan menzil değerinin 35 kilometre düşüş gösterdiği görülmüştür. Bu sebeple, gerçek değerden %16 civarında sonuçların saptığı görülmüştür.

Farklı bir testte ise, aynı aracın ağırlığı %20 artırılarak tekrar bir WLTP döngüsü üzerinde yapılmıştır. Teste, ağırlık olmadan yapılan test ile benzer şartlarda, yani %75 Batarya Doluluk Oranı (SOC) ile başlanmıştır. Araç toplamda 23 kilometre boyunca kullanılmıştır.



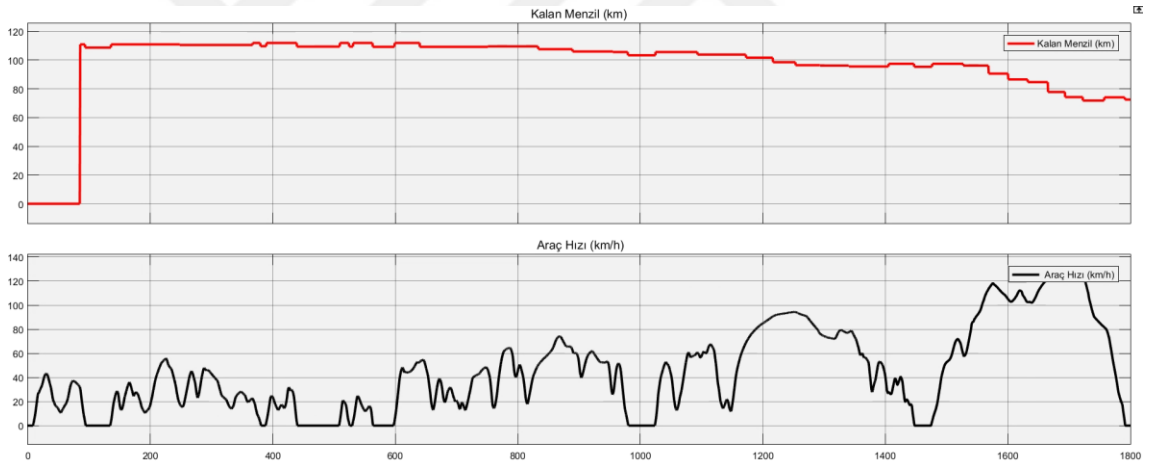
Şekil 4.9. %20 ağırlık fazlasıyla yapılan WLTP döngüsünde zamana bağlı araç hızı ve odometresindeki değişim

Aracın ilk kalkışındaki λ değeri ve sonrasındaki λ değerinin değerinin genellikle boş araç ile yapılan testten yüksek olduğu ve çoğu zaman 1 değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Araç hızı WLTP döngüsünün son iki fazında (Yüksek ve Çok Yüksek fazlarında) arttığı ve ivmelenmelerin en fazla olduğu için, λ değerinin de yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu iki faz boyunca λ değerinin 1.10 ve 1.15 aralığında seyrettiği gözlemlenmiştir. İlk kalkış sırasında λ değerinin de boş ağırlıkla yapılan teste göre daha büyük değerlere (2.2'ye kadar) ulaştığı görülmüştür. λ değerinin ilk fazlarda sabit bir değere yakın seyretilmemesinin sebebi, hesaplama için yeterince örnekleme yapılmamasıdır.



Şekil 4.10. %20 ağırlık eklenerek yapılan WLTP döngüsü boyunca zamana bağlı olarak λ parametresi ve araç hızındaki değişim

Yapılan 23 kilometre kullanım sonrasında araç menziline 35 kilometre azalış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.11. %20 ağırlık eklenerek yapılan WLTP döngüsü boyunca zamana bağlı olarak araç hızı ve kalan menzildeki değişim

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Elektrikli araçların yaygınlaşmaya başlaması sonucunda, kalan menzil hesabı için de çeşitli algoritma ve hesaplamalar üretilmiştir. Kalan menzil hesabının doğru sonuç vermesi araç kullanıcıları için son derece önemli bilgidir. Bu sebeple, 3. Bölümde aracın üzerinde bulunan sensör ve araç içi haberleşmesinde bulunan bilgileri kullanarak kalan mesafe hesabı algoritması detaylı biçimde incelenmiştir. Bu algoritmaya göre, ek bir sensör ya da ek bir bilgisayar ve kontrol ünitesine ihtiyaç duyulmamaktadır. İncelenen tekniğin maliyet açısından son derece etkin olduğu sonucuna varılmıştır. 4. Bölümde ise, elektrikli bir aracın şasi dinamometresi üzerinde koştuğu testler sonucunda araç içi haberleşme sisteminden (CAN BUS) alınan kayıtlar kullanılarak, 3. Bölümde oluşturulan matematiksel modele girdiler oluşturulmuştur. Şasi dinamometresi üzerinde, aracın boş olarak kullanıldığı 8 kilometre boyunca serbest sürüş yapıp daha sonrasında NEDC ve 7 kilometre serbest sürüş sonrasında WLTP çevrimleri üzerinde testler yapılmıştır. Daha sonrasında ise, araç ağırlığı %20 arttırılarak bir WLTP çevrimi üzerinde daha test yapılmıştır. 8 kilometre ve NEDC çevrimi boyunca araç toplam olarak 20 kilometre kullanılmış olup, kalan menzildeki düşüş 23 kilometre olmuştur. 7 kilometre ve WLTP çevrimi sonrasında ise toplam olarak araç 30 kilometre kullanılmış olup, kalan menzildeki düşüş ise 35 kilometre olmuştur. %20 ağırlık eklenerek yapılan WLTP testinde ise, yapılan 23 kilometrelik kullanım sonrasında 35 kilometrelik kalan menzil düşüşü gözlemlenmiştir. Araç üzerinde ek bir ağırlık olmadan yapılan testlerde, kalan menzil hatasının %15-%16 civarında olduğu gözlemlenmiştir. Batarya şarj durumu (SOC) azaldıkça, 3. Bölümde incelenen tekniğe göre kullanılan formülde SOC ve P_{kisa} değerlerinin ağırlığı artacağı için sapma oranı, yüksek SOC bulunan durumlara göre daha iyi olacaktır. 2. bölümde incelenen literatür araştırması sonucunda, GPS, yapay zeka ve makine öğrenmesi kullanılan tekniklerde gerçek kullanımdan sapma miktarı daha iyi olmasına karşın, yüksek hesaplama gücü ve maliyetini de beraberinde getirmektedir. Bu sebeple düşük hesaplama gücü olan, kalan menzil hesabının yapıldığı kontrol ünitelerinde 3. bölümde incelemesi yapılan tekniğin uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Amin, A., Tareen, W.U.K., Usman, M., Ali, H., Bari, I., Horan, B., Mekhilef, S., Asif, M., Ahmed, S., Mahmood, A. 2020. A Review of Optimal Charging Strategy for Electric Vehicles under Dynamic Pricing Schemes in the Distribution Charging Network. *Sustainability* 2020, 12, 10160.

Anonim, 2019. 2016'dan 2025'e elektrikli araçlardaki artış. <https://www.delphi.com/innovations/path-electrification->(Erişim tarihi:13.12.2021).

Anonim, 2021. Elektrikli araçların tarihçesi. https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_electric_vehicle-(Erişim tarihi:10.12.2021).

Bi, J., Wang, Y., Sai, Q., Ding, C. 2019. Estimating remaining driving range of battery electric vehicles based on real-world data: A case study of Beijing, China. *Energy*. 169. 833-843.

Cho, I, 2012. Methods for Estimating Remaining Travel Distance of Electric Vehicle. Kia Motor Corporation, Patent No. US 2012/0143435 A1.

De Cauwer, C., Verbeke, W., Coosemans, T., Faid, S., Van Mierlo, J. 2017. A Data-Driven Method for Energy Consumption Prediction and Energy-Efficient Routing of Electric Vehicles in Real-World Conditions. *Energies* 2017, 10, 608.

Ferreira, J.C., Monteiro, V.D.F., Afonso, J.L. 2012. Data mining approach for range prediction of electric vehicle. In *Conference on Future Automotive Technology: Focus Electromobility*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2012; pp. 1–15.

Ferreira, J.C., Monteiro, V., Afonso, J.L. 2013. Dynamic range prediction for an electric vehicle. In *Proceedings of the 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, Barcelona, Spain, 17–20 November 2013; pp. 1–11.

Graser, A., Asamer, J., & Dragaschnig, M. 2014. How to Reduce Range Anxiety? The Impact of Digital Elevation Model Quality on Energy Estimates for Electric Vehicles.

Gürbüz, Y., Kulaksız, A. 2016. Elektrikli Araçlar ile Klasik İçten Yanmalı Motorlu Araçların Çeşitli Yönlerden Karşılaştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* (6), 117-125.

Hayakawa, T., Murai, N., Sugiyama, T. 2018. Pseudo Range Estimation Model Based on Received GPS Signal Power in Many Skyscrapers Environments, *2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*: 329-331.

Meeus, M. 2018. Overview Of Battery Cell Technologies, European Battery Cell R&I Workshop, Brussels.

Pan,C., Dai, W., Chen, L., Chen,L., Wang, L. 2017. Driving range estimation for electric vehicles based on driving condition identification and forecast. AIP Advances 7,105206.

Rodgers, L., Frey, D., Wilhelm, E. 2013. Estimating an Electric Vehicle's "Distance to Empty" Using Both Past and Future Route Information, Proceedings of the ASME 2013, DETC2013-12880.

Siy, T. 2012. Electric Vehicle Range Prediction. General Motors Corp., Patent No. US20120245750 A1.

Sun, S., Zhang, J., Bi, J., Wang, Y., 2019. A Machine Learning Method for Predicting Driving Range of Battery Electric Vehicles, Journal of Advanced Transportation, vol. 2019, Yayın No 4109148, 14 s.

Yuan,Q., Hao,W., Su,H., Bing,G., Gui,X., and Safikhani,A. 2018. Investigation on Range Anxiety and Safety Buffer of Battery Electric Vehicle Drivers, Journal of Advanced Transportation, Yayın No 8301209, 11 s.