

Akıllı Vites Seçimi

Intelligent Gear Selection

Murathan Güzel¹, Emre Er², İlder Özmen,³ Duygu Sesver⁴

¹AVL Araştırma & Mühendislik, İstanbul
murathan.guzel@avl.com

Özetçe

Bu çalışmada, içten yanmalı motorlu bir otomobil için, motor hızına, motor torkuna ve sınıflandırılmış sürücü davranışına bağlı olan motor çalışma noktası skorunu kullanarak optimal vitesi bulan bir vites seçim algoritması geliştirilmiştir.

Abstract

This study demonstrates the development of a gear selection algorithm of an automobile using internal combustion engine operating point score which is depending on engine speed, engine torque and classified driver behavior.

1. Giriş

Otomatik şanzımanlar, çift kavramalı şanzımanlar, yan otomatik şanzımanlar gibi ayırık çevrim oranlarına sahip şanzımanlarda vites değişimi, içten yanmalı motorun çalışma noktasında ani değişime sebep olmaktadır. İçten yanmalı motorların doğrusal olmayan yakıt tüketimi ve tork üretim özellikleri sebebi ile, vites seçimi, yüksek yakıt tüketimine ve düşük sürülebilirliğe sebep olabilir. Bu sebeple optimal bir vites seçimi algoritması, ayırık çevrim oranlarına sahip şanzımanlar için önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmanın amacı aracın durumlarına göre vites seçimi yapan ve sürücüye uyum sağlayan bir akıllı vites seçim algoritması geliştirmektir.

1.1. Literatür İncelemesi

Literatürde, otomotiv şanzımanlarının vites seçim stratejilerinin tasarımı ve sürücü davranışı sınıflandırmasıyla ilgili yayınlanmış önemli miktarda araştırma bulunmaktadır.

Jacobson, makalesinde dinamik programlama ile hızlanma süresini en aza indiren optimal bir vites seçim stratejisi amaçlamaktadır [1]. "Research on Optimal Gearshift Strategy for Stepped Automatic Transmission Based on Vehicle Power Demand" adlı makale, güç rezervine dayalı bir optimal vites değişim programı önermektedir. Bu makalede öncelikle sabit hızda güç rezervi sınırları hesaplanır, ardından güç rezervinin minimum araç güç talebinin üzerinde olduğu kontrol edilir ve nihayetinde dinamik programlamaya dayalı statik optimal vites değişim stratejisine göre vites değişim noktası belirlenir. Bu yöntemin yakıt tüketimi ile sürüş kabiliyeti arasındaki dengeyi sağlayacağı iddia edilmektedir [2]. "Optimal gearshift strategies for fuel economy and drivability" adlı makalede, sürülebilirlik ile yakıt ekonomisi arasında optimal bir dengeyi nicel olarak incelemeye çalışan yazarlar; ilk olarak, güç rezervinin ağırlıklı tersine dayalı olarak dinamik programlama

ile, ardından güç rezervinin sabit eşitsizliği ile dinamik programlama denemiş, ardından değişken güç rezervi ağırlığı ile dinamik programlama denemişlerdir. Son olarak, gerçek zamanlı olarak uygulanabilir olan stokastik dinamik programlama denemişlerdir. [3]. "Development of Intelligent Gear-Shifting Map Based on Radial Basis Function Neural Networks" adlı çalışmada, Ha & Jean, vites değişim algoritmasının yerine koymak için normalleştirilmiş radyal baz fonksiyon sinir ağını kullanır. Bunun faydası, öğrenme yoluyla öz-örgütlenme, belirsizliklere karşı sağlamlık ve hata tolere edebilme özelliğidir. Diğer sinir ağlarına kıyasla, bu sinir ağı, sürücü davranışı ve mekanik kısıtlar gibi farklı türdeki girdilere karşı daha iyi uyum sağlar. Bu çalışmada, 5 temel vites seçim özelliği incelenmiştir: yolun eğimi, sürücünün yokuş aşağı hızlanmaya istekliliği, sürücünün yokuş aşağı yavaşlamaya istekliliği, sürücünün motordan faydalanma niyeti, motor freni [4]. "Experimental Study on Intelligent Gear-Shifting Control System of Construction Vehicle Based on Chaotic Neural Network" adlı çalışmada, kaotik sinir ağı, vites değişim stratejisinin yerine kullanılmaktadır. Bu yöntemin temel farkı ve temel faydası, çıktının hata değerinin eğitim sürecine beslenmesidir [5]. "Learning Driving Styles for Autonomous Vehicles from Demonstration," adlı makalede sürücü davranış, maliyet fonksiyonlarının lineer kombinasyonu olarak modellenir. Özellik tabanlı pekiştirmeli model kullanılmıştır. Bu yöntem, sürücünün birçok alışkanlığını yakalamak için uygundur, ancak eğitim yalnızca belirli bir kısa süre içinde gerçekleştirilir [6]. "Efficient Gear Shifting Strategies for Green Driving Policies" adlı çalışmada, Alessandro Casavola, Giovanni Prodi, Giuseppe Rocca, optimum vitesi bulmak için verimlilik haritasını kullanır. Kullanılabilir dişliler, dişliler arasında minimum verimlilik değişimi ve vites değişimleri arasındaki süre gibi kısıtlamalar kullanılır. Çalışmanın ikinci bölümünde, yazarlar bir bulanık mantık algoritması kullanarak bir sonraki vitesi belirlerler. Motor durumu ve sürücü niyeti bulanık değişkenler olarak kullanılır ve uzman bilgisine dayalı bir bulanık kural kümesi tanımlanır. Daha sonra yazarlar, optimum üyelik fonksiyonlarını bulmak için genetik bir algoritma kullanır [7]. "Estimating Driving Behavior by a Smartphone" adlı çalışmada, H.Eren, S.Makinist, E.Akin ve A.Yılmaz, sürücü davranışını sınıflandırmak için bir akıllı telefon kullanmaktadır. Yazarlar, ivmeölçer, jiroskop ve manyetometre verilerini kullanır ve bu verilerden özellikler çıkartmak için Dinamik Zaman Uzaklığı (DTW) algoritması kullanılır. Daha sonra bu özellikler Bayes sınıflandırıcısıyla güvenli ve güvensiz olarak sınıflandırılır [8]. "Driver Classification for Optimization of Energy Usage in a Vehicle" adlı çalışmada, Gurunath Kedar-Dongarkar ve Manohar Das,

sürücüyü saldırgan, ılımlı ve tutumlu olmak üzere üç gruba sınıflandırmak için araç hızlanma, frenleme, hızlanma indeksi ve gaz pedali etkinliği kullanır. Yazarlar sürücüyü sınıflandırmak için Bayes algoritmasını kullanır ve özellik olarak ortalama araç hızlanması, araç hızının standart sapması, gaz pedalının standart sapması ve gaz pedalının frekansını kullanır [9].

1.2. Motivasyon

Otomatik şanzımanlı araçlarda vites seçimi için geleneksel yöntem, vites değişim haritaları kullanmaktır. Vites değişim noktaları, mevcut araç hızı ve gaz pedali konumuna, yani gaz açma miktarına göre oluşturulur. Tipik bir 8 vitesli şanzımanda ekonomik, normal ve spor olmak üzere 3 vites değiştirme stratejisi modu vardır. Bu 3 mod için her biri için 12x14 matrislerden oluşan 10 farklı vites değiştirme haritası bulunmaktadır. Bu da mühendisler tarafından kalibre edilmesi gereken 5040 parametre anlamına gelir. Vites değiştirme haritaları geleneksel olarak mühendislerin sezgisel bilgisine dayanmaktadır. Bu çalışmanın motivasyonu, daha az kalibrasyon çabası gerektiren bir vites seçim algoritmasına sahip olmaktır.

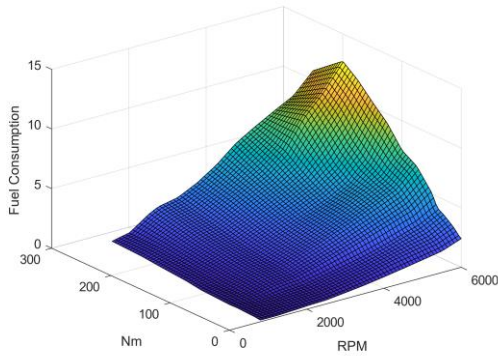
2. Akıllı Vites Geçiş Algoritmasının Tasarımı

Vites Seçim algoritması, optimum sürüş performansı ve düşük yakıt tüketimi elde etmek için her türlü sürüş koşulunda en uygun vitesi seçmekten sorumludur.

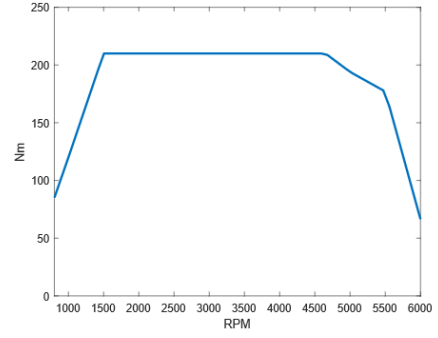
2.1. Problem Tanımı

İçten yanmalı motorlar, yanma işlemi doğası gereği oldukça doğrusal olmayan yakıt tüketimine (Şekil 1) ve tork üretim davranışına (Şekil 2) sahiptir. Bu davranış nedeniyle, belirli bir çalışma noktasında değişken bir yakıt verimliliği (Şekil 3) vardır.

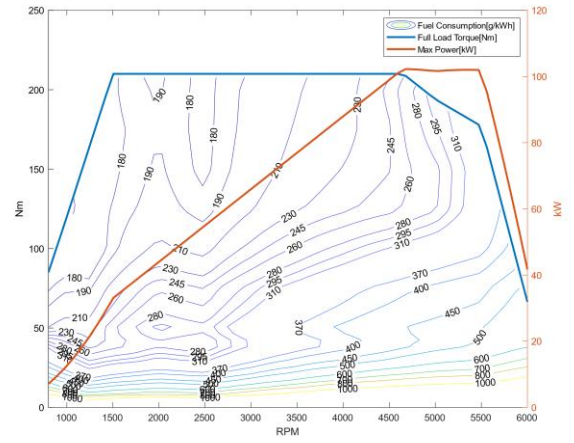
Şekil 3'te görebileceğimiz gibi güç ve yakıt tüketimi arasında bir denge vardır. İyi bir vites seçim algoritması, içten yanmalı motorun, düşük yakıt tüketimi ve yeterli güç için optimal bir çalışma noktasında çalışmasını sağlamalıdır.



Şekil 1: Yakıt tüketimi grafiği.



Şekil 2: Tam yük eğrisi.[10]



Şekil 3: BSFC grafiği.[10]

2.2. Ön Tanımlar

Vites seçim algoritmasını açıklamadan önce bazı tanımlamalar yapmak gerekir.

- **Tork Rezervi:** Tork rezervi (T_R) içten yanmalı motorun, verilen çalışma noktasında mevcut üretilen torka ek olarak üretilmesi mümkün olan maksimum tork miktarıdır ve tam yük eğrisinden bakılarak hesaplanır. Belirli bir motor hızında üretilen maksimum tork değerinden ($T_{Max}(\omega)$) mevcut motor torku (T_{ICE}) çıkarılarak bulunur.

$$T_R = T_{Max}(\omega) - T_{ICE} \quad (1)$$

- **Güç rezervi:** Güç rezervi (P_R), içten yanmalı motorun verilen çalışma noktasında mevcut üretilen güce ek olarak üretilmesi mümkün olan maksimum güç miktarıdır ve tork rezervinin gerçek motor hızıyla çarpılmasıyla hesaplanır.

$$P_R = T_R \times \omega_{ICE} \quad (2)$$

- **Yakıt tüketimi:** Yakıt tüketimi (FC), motor torku ve motor hızı kullanılarak yakıt tüketim haritası ile hesaplanır.

$$FC(\omega, T) = \text{Lookup}(\omega_{ICE}, T_{ICE}) \quad (3)$$

- **Çalışma noktası skoru:** Motor çalışma noktasını değerlendirmek için güç rezervi ve yakıt tüketiminin

ağırlıklı kombinasyonu olarak bir skor fonksiyonu tanımlanır:

$$Skor = P_R \times W_1 - FC \times W_2 \quad (4)$$

2.3. Algoritma

2.1 bölümünde açıklandığı gibi, içten yanmalı motorlar farklı çalışma noktalarında maksimum yakıt verimliliğine ve maksimum güce sahiptir. Algoritmanın amacı, motorun çalışma noktası skorunun mümkün olduğunca yüksek olduğu yerde motorun çalışmasını sağlamak için vites değişimleri yapmaktır. Bu uygulama için mümkün olan dişliler, aktif vites + 1, aktif vites ve aktif vites - 1 olarak tanımlanmıştır.

1. Tekerlek torkunun hesaplanması.

ECU (Motor Kontrol Ünitesi) tarafından belirtilen motor torku, vites oranı ile çarpılarak tekerlek torku hesaplamak için kullanılır.

2. Mümkün olan motor torklarının hesaplanması.

Tekerlek torku, mümkün olan tüm dişlilerle bölünerek mümkün olan motor torkları hesaplanır.

3. Mümkün olan motor hızlarının hesaplanması.

Tekerlek hızı, mümkün olan tüm viteslerin vites oranları ile çarpılmasıyla hesaplanır.

4. Tüm mümkün olan vitesler için güç rezervinin hesaplanması.

Mümkün olan tüm vitesler için, mümkün olan motor hızları ve mümkün olan motor torkları kullanılarak güç rezervi hesaplanır.

5. Tüm mümkün olan vitesler için yakıt tüketiminin hesaplanması.

Mümkün olan tüm vitesler için, mümkün olan motor hızları ve mümkün olan motor torkları kullanılarak yakıt tüketimi hesaplanır.

6. Tüm mümkün olan vitesler için skorun hesaplanması.

Aktif vites için çalışma noktası skoru Denklem 4'te açıklandığı şekilde hesaplanır.

Aktif vites + 1 ve aktif vites - 1 için çalışma noktası skoru aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$Skor = P_R \times W_1 - FC \times W_2 + X \quad (5)$$

Burada ekstra X terimi, sıkça vites değişiminden kaynaklanan sürülebilirlik kaybını azaltmak için yalnızca skor farkının belirli bir eşikten daha yüksek olduğu durumlarda vites değişimi yapmak için kullanılır.

7. Mümkün olmayan dişlilerin elemine edilmesi.

Motorun çalışma noktasını hız veya tork açısından karşılayamayacak şekilde değiştirecek vitesler elenir.

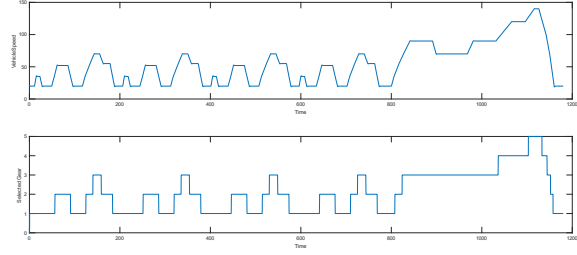
8. En yüksek skora sahip dişlinin seçilmesi.

Maksimum skora sahip vites her 0,5 saniyede bir seçilir.

2.4. Sonuçlar

Gaz ve fren pedalını kontrol ederek belirli bir hız eğrisini takip eden bir sürücü modeli PID kontrol kullanılarak uygulandı.

Algoritma $W_1 = 2$, $W_2 = 3$, $X = 3$ ağırlıkları kullanılarak NEDC (Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü) üzerinde test edildi. Test sonucunda algoritma, ortalama 0.4577 g/s yakıt tüketimi ve ortalama 75.41 kW güç rezervi sonuçlarını vermiştir.



Şekil 1: $W_1 = 2$, $W_2 = 3$, $X = 3$ için NEDC sonuçları.

3. Sürücü Davranışı Sınıflandırması

Önceki bölümlerde yakıt tüketimi ve tork rezervinin ağırlıklandırılması ile bir çalışma noktası skoru bulunarak vites seçimi yapılmıştır. Bu ağırlıklar her sürücü için uygun olmayabilir. Örneğin bir sürücü yakıt tüketimini başka bir sürücüden daha çok önemseyebilir. Bu bölümde farklı sürücüler için uygun olan ağırlıklandırmaların seçimi için sürücü davranışı sınıflandırma çalışması yapılmıştır.

Veri kümesi oluşturmak amacıyla, iki farklı gerçek sürücü tarafından araç agresif, normal ve sakin şekillerde kullanılmıştır. Veri kümesi, aynı rota üzerinde gerçekleştirilen altı farklı sürüşü içermektedir ve her bir sürüş farklı bir sürüş profiline sahiptir: sakin, normal ve agresif. Sakin sürüş, ani ivmelenme ve yavaşlamadan kaçınmayı içerirken, agresif sürüş hızlı ivmelenmeler ve yavaşlamalar üzerine odaklanmaktadır.

Her bir sürüş, yaklaşık 30 dakikalık bir süreyi kapsamakta ve 30.000'den fazla sensör verisi satırını içermektedir. Farklı sensörlerin farklı frekanslara sahip olması sebebiyle, farklı zaman değerlerini bir araya getirmek için ortak bir zaman sütunu oluşturulması gerekmektedir. Daha düşük frekansta çalışan sensörler için interpolasyon kullanılarak senkronizasyon sağlanmıştır.

Bu çalışmada, sürücü davranışlarının sınıflandırılması çok etiketli bir sınıflandırma problemi olarak ele alınmıştır. Bu bağlamda, çeşitli gözetimli öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Zira belirgin bir sürücü davranışının kısa bir zaman dilimi içerisinde gözlenememesi sebebiyle, her bir veri kümesi kayan pencere tekniği ile taranmıştır. Bu teknik, verinin örneklemesini sağlar ve model eğitimi için kullanılacak özellikleri belirlemek üzere kullanılır. Kayan pencerenin uzunluğu 2000 satırdır, bu da 40 saniyeye denk gelmektedir.

Model eğitiminde kullanılacak özellikler arasında gaz pedali konumu, motor hızı, aktif vites ve araç hızı yer almaktadır. Bu özelliklerin değişim hızını gözlemlemek için, türev, ortalama ve standart sapma hesaplamaları yapılmıştır.

Veri kümesi, test için %33 ve eğitim için %67 olarak bölünmüştür. Scikit-learn kütüphanesi kullanılarak, aşağıdaki makine öğrenmesi algoritmaları karşılaştırılmıştır.

- XGB sınıflandırıcısı (%87.12),
- Rastgele Orman Sınıflandırıcısı (%74.24),
- MLP (%90.90),
- SVM (%85.60),
- Lojistik Regresyon (%80.30),
- Doğrusal Diskriminant Analizi (%77.27)

4. Sonuçlar

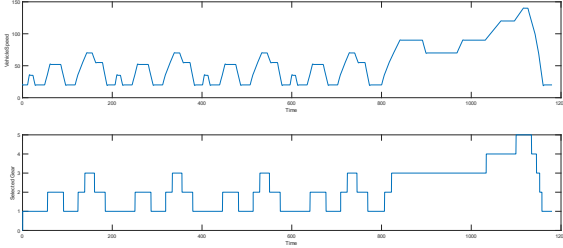
Bölüm 3'de sınıflandırılan 3 sürüş tipi için 3 farklı ağırlık seti oluşturulmuştur. Ağırlıklar seçilirken $W_1 + W_2$ toplamı 5 olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Bu 3 setin NEDC üzerinde verdiği sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- **Agresif sürüş ağırlık seti**

$$W_1 = 1, W_2 = 4, X = 2$$

Ortalama güç rezervi = 75.12 kW

Ortalama yakıt tüketimi = 0.4464 g/s



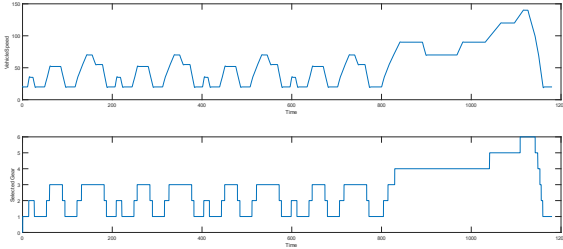
Şekil 5: Agresif sürüş.

- **Normal sürüş ağırlık seti**

$$W_1 = 0.25, W_2 = 4.75, X = 2$$

Ortalama güç rezervi = 62.35 kW

Ortalama yakıt tüketimi = 0.2995 g/s



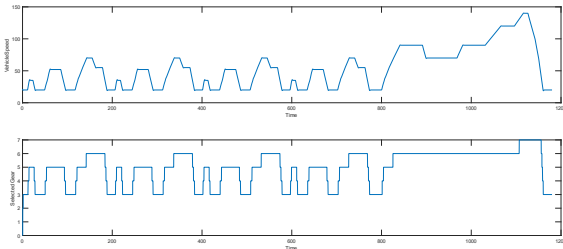
Şekil 6: Normal Sürüş.

- **Sakin sürüş ağırlık seti**

$$W_1 = 0, W_2 = 5, X = 1.5$$

Ortalama güç rezervi = 23.26 kW

Ortalama yakıt tüketimi = 0.2047 g/s



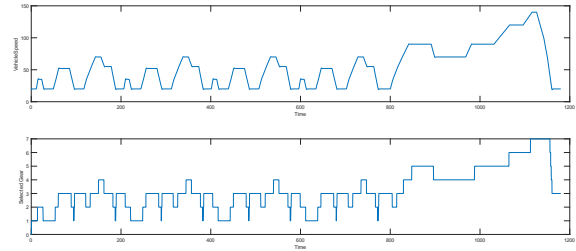
Şekil 7: Sakin sürüş

4.1. Sürücü uyumlu vites seçimi

Simulasyonda bölüm 3'de anlatılan sürücü davranışı sınıflandırma sistemi kullanılmıştır. NEDC üzerinde PID kontrol ile çalışan sürücünün gaz ve fren davranışına göre sürüş karakteri sınıflandırılıp seçilmiş olan ağırlıklar vites seçim algoritmasında kullanılmıştır.

Ortalama güç rezervi = 50.01 kW

Ortalama yakıt tüketimi = 0.2605 g/s



Şekil 8: Sürücü uyumlu vites seçimi.

Bu çalışma, içten yanmalı motorlu bir otomobilin vites seçim algoritmasının geliştirilmesini ve sürücü davranışının sınıflandırılmasını amaçlamaktadır. Geliştirilen akıllı vites seçim algoritması, motorun çalışma noktası skorunu kullanarak optimal vites değişimini belirler. Ayrıca, farklı sürücü davranışlarını sınıflandırmak için destek vektör makineleri, karar ağaçları ve rastgele orman algoritmaları kullanılmıştır.

Sonuçlar, geliştirilen vites seçim algoritmasının yakıt tüketimini optimize etmeye yönelik etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. Ayrıca, sürücü davranışı sınıflandırması da başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, yakıt verimliliği ve sürüş performansını artırmak için akıllı şanzıman sistemleri tasarlanırken dikkate alınması gereken faktörleri vurgulamaktadır.

Gelecekte, daha büyük ve çeşitli veri kümeleri kullanılarak algoritmaların daha geniş bir yelpazede test edilmesi ve iyileştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, daha karmaşık ve gerçek dünya koşullarını daha iyi yansıtan modellerin geliştirilmesi, yakıt tüketimi ve sürüş performansını optimize etmenin daha da geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- [1] B. Jacobson, "Gearshift sequence optimization for vehicles with automated non-powershifting transmissions," *International Journal of Vehicle Design*, vol. 1, pp. 187-207, 2003.
- [2] L. Yulong, F. Yao, L. Ke and X. Li, "Research on Optimal Gearshift Strategy for Stepped Automatic Transmission Based on Vehicle Power Demand," *SAE Technical Paper*, 2017.
- [3] V. D. Ngo, J. A. C. Navarrete, T. Hofman, M. Steinbuch, and A. Serrarens, "Optimal gear shift strategies for fuel economy and driveability," *Automobile Engineering*, 2013.
- [4] S.-H. Ha and H.-T. Jeon, "Development of Intelligent Gear-Shifting Map Based on Radial Basis Function Neural Networks," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol. 13, no. 2, pp. 135-140, 2013.
- [5] Z. Zhu and C. Xu, "Experimental study on intelligent gearshifting control system of construction vehicle based on chaotic neural network," *Nature and Science*, vol. 1, no. 1, pp. 86-90, 2003
- [6] M. Kuderer, S. Gulati, and W. Burgard, "Learning driving styles for autonomous vehicles from demonstration," in *2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 2641-2646, 2015.
- [7] A. Casavola, G. Prodi, and G. Rocca, "Efficient gear shifting strategies for green driving policies," in

Proceedings of the 2010 American Control Conference, pp. 4331-4336, 2010.

- [8] H. Eren, S. Makinist, E. Akin, and A. Yilmaz, "Estimating driving behavior by a smartphone," in *2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 234-239, 2012.
- [9] G. Kedar-Dongarkar and M. Das, "Driver classification for optimization of energy usage in a vehicle," *Procedia Computer Science*, vol. 8, pp. 388-393, 2012.
- [10] M. Güzel "A Gear Health Monitoring System For Transmission Prognosis," Yüksek lisans tez, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2019.