

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKUSTİK ARAÇ UYARI SİSTEMİ (AVAS) SES SİNYALİ ANALİZİ
VE İŞLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Görkem BAVTAR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı

TEMMUZ 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKUSTİK ARAÇ UYARI SİSTEMİ (AVAS) SES SİNYALİ ANALİZİ
VE İŞLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Görkem BAVTAR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Gökçen ÇETİNEL

TEMMUZ 2024

Görkem BAVTAR tarafından hazırlanan “AKUSTİK ARAÇ UYARI SİSTEMİ (AVAS) SES SİNYALİ ANALİZİ VE İŞLENMESİ” adlı tez çalışması 18.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Doç. Dr. Gökçen ÇETİNEL (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof. Dr. İrfan YAZICI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Halil ARSLAN**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “AKUSTİK ARAÇ UYARI SİSTEMİ (AVAS) SES SİNYALİ ANALİZİ VE İŞLENMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete ’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(28/06/2024).

Görkem BAVTAR







TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, araştırmamın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Gökçen ÇETİNEL'e, Yüksek lisans programına teşvikleri ve destekleri için değerli hocam Prof. Dr. Cenk YAVUZ'a,

Yüksek lisans eğitimimin ve tezimin hazırlık sürecinde, sabrını eksik etmeden bana destek ve motivasyon sağlayan eşim Bircan KARAHAL BAVTAR'a, kızım İpek BAVTAR'a ve tüm aileme,

Ayrıca maddi ve manevi desteklerini üzerimden hiç çekmeyen, proje boyunca beni teşvik eden değerli yöneticim Onur AKİNER'a, değerli arkadaşım Kaan ALPER'e ve SANEL şirketine desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Görkem BAVTAR



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amaç ve Hedefleri	1
1.2. Literatür Araştırması	2
1.3. Market Araştırması	3
1.4. Patent Araştırması	3
2. OTOMOTİV REGÜLASYONLARI VE STANDARTLARI	19
2.1. UNECE-R138 Sessiz Karayolu Taşıma Araçları Regülasyonu	19
2.2. FMVSS141 Hibrit ve Elektrikli Araçlar İçin Minimum Ses Gereksinimleri Regülasyonu	22
2.3. UNECE-R10 Elektromanyetik Uyumluluk Regülasyonu	24
2.4. ISO-16750 Karayolu Araçları Elektrikli ve Elektronik Ekipmanlar İçin Çevresel Koşullar ve Testler Standardı	24
2.5. ISO-20653 Koruma Dereceleri (IP Kodu) Elektrikli Ekipmanların Yabancı Cisimlere, Suya ve Erişime Karşı Korunması	25
3. AKUSTİK SİSTEM VE TASARIMI	27
3.1. Materyal ve Yöntem	27
3.1.1. Hızlı Fourier dönüşümü (FFT)	29
3.1.2. Oktav bantları	30
3.2. Ses Sinyali Analizi ve Tasarımı	32
4. ELEKTRONİK SİSTEM VE TASARIMI	45
4.1. Sistem Bileşenleri	45
4.1.1. Kontrol birimi	45
4.1.2. Güç yönetimi	46
4.1.3. Ses kuvvetlendirme	47
4.1.4. Kablolu iletişim hattı	49
4.1.5. Elektronik devre tasarımı	49
5. TEST VE TASARIM DOĞRULAMA	53
5.1. Akustik Test ve Tasarım Doğrulama	53
5.2. Elektronik Test ve Tasarım Doğrulama	55
6. SONUÇ	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	65



KISALTMALAR

AEC	: Otomotiv Elektronik Konseyi
ANSI	: Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
AR-GE	: Araştırma ve Geliştirme
ASIL	: Otomotiv Güvenliği Bütünlük Seviyesi
AVAS	: Akustik Araç Uyarı Sistemi
CANBUS	: Kontrol Alan Ağı Veri Yolu
CC'	: Araç Hareketinin Merkez Hattı
CE	: İletim Yoluyla Yayılım
CI	: İletim Yoluyla Bağışıklık
CISPR	: Uluslararası Radyo Paraziti Özel Komitesi
DFT	: Ayrık Fourier Dönüşümü
EMC	: Elektromanyetik Uyumluluk
EMI	: Elektromanyetik Girişim
EPO	: Avrupa Patent Organizasyonu
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü
FMVSS	: Federal Motorlu Araç Güvenlik Standartları
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
MAVAS	: Mekanik Akustik Araç Uyarı Sistemi
NHTSA	: Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi
UNECE	: Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu
PCB	: Baskılı Devre Kartı
PP'	: Mikrofonların Konumunu Gösteren Araç Hareketine Dik Çizgi
RE	: Işınım Yoluyla Yayılım
RI	: Işınım Yoluyla Bağışıklık
SMD	: Yüzey Montaj Teknolojisi



SİMGELER

dB	: Desibel [Birim]
dBuV/m	: Desibelmikrovoltmetre
HP	: Beygir gücü
Hz	: Hertz [Birim]
kg	: Kilogram
kHz	: Kilohertz
km/h	: Kilometresaat
um	: Mikrometre
MB	: Megabayt
MHz	: Megahertz
V	: Volt



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Dünya çapında rakip firmaların yapmış olduğu patent başvurularının tablosu.	6
Tablo 2.1. UNECE-R138 regülasyonuna göre, AVAS 'ın yayması gereken minimum ses seviyeleri [22].	20
Tablo 3.1. UNECE-R138 regülasyonunda kullanılan 1/3 oktav bantları ve frekans değerleri.	31
Tablo 5.1. UNECE-R138 regülasyonuna göre ses seviyesi ölçüm tablosu.	54
Tablo 5.2. UNECE-R138 regülasyonuna göre frekans kayması ölçüm tablosu.	54
Tablo 5.3. CISPR 25 standardı elektromanyetik yayılım dikey anten ölçüm değerleri.	56
Tablo 5.4. CISPR 25 standardı elektromanyetik yayılım yatay anten ölçüm değerleri.	57



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. B60Q5/008 IPC sınıfı için uluslararası patent başvuru sayısı [9].	4
Şekil 1.2. B60Q5/008 IPC sınıfı için uluslararası patent analizi sonuçları [9].	5
Şekil 1.3. B60Q5/008 IPC sınıfı için uluslararası patent başvurularının hukuki durumları [9].	5
Şekil 1.4. B60Q5/008 IPC sınıfı ile uluslararası patent başvurusu yapmış firma ve başvuru adetleri [9].	5
Şekil 1.5. Honda firmasının US5635903A numaralı patentine konu AVAS tasarımı [10].	8
Şekil 1.6. Bose firmasının WO2012037050A1 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [11].	9
Şekil 1.7. Harman International Inc. firmasının US20210118421A1 ve WO2019240768A1 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [14, 15].	10
Şekil 1.8. Honda firmasının US10699692B2 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [15].	11
Şekil 1.9. Ford firmasının US20180315413A1 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [16].	12
Şekil 1.10. Hyundai firmasının US20150364125A1 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [17].	13
Şekil 1.11. Volkswagen firmasının WO2012034669A2 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [18].	14
Şekil 1.12. GM firmasının US9271073B2 numaralı patentine konu buluşun sistem tasarımı [19].	15
Şekil 1.13. Nissan firmasının US8299904B2 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [20].	16
Şekil 1.14. Hella firmasının US9994148B1 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [21].	17
Şekil 2.1. Dış ortam ölçümü için mikrofon ve araç mesafeleri [22].	21
Şekil 2.2. Kontrollü ortam ölçümü için mikrofon ve araç mesafeleri [19].	22
Şekil 3.1. Zaman düzlemi sinyal örnekleri [30].	28
Şekil 3.2. Frekans düzlemi sinyal örnekleri [30].	28
Şekil 3.3. Zaman düzleminden frekans düzlemine geçiş [32].	30
Şekil 3.4. Fiat 1.4 Fire 95 HP motor ses kaydının zaman düzlemi grafiği.	33
Şekil 3.5. Fiat 1.4 Fire 95 HP motor ses kaydının frekans düzlemi grafiği.	33
Şekil 3.6. Fiat 1.4 Fire 95 HP motor ses kaydının spektrogram grafiği.	34
Şekil 3.7. Fiat 1.4 Fire 95 HP motor ses kaydının 1/3 oktav bantları grafiği.	34
Şekil 3.8. Renault 1.5 dCi 108 HP motor ses kaydının zaman düzlemi grafiği.	35
Şekil 3.9. Renault 1.5 dCi 108 HP motor ses kaydının frekans düzlemi grafiği.	35
Şekil 3.10. Renault 1.5 dCi 108 HP motor ses kaydının spektrogram grafiği.	36
Şekil 3.11. Renault 1.5 dCi 108 HP motor ses kaydının 1/3 oktav bantları grafiği.	36
Şekil 3.12. Nissan Leaf Canto aracının AVAS sesinin zaman düzlemi grafiği.	37
Şekil 3.13. Nissan Leaf Canto aracının AVAS sesinin frekans düzlemi grafiği.	37

Şekil 3.14. Nissan Leaf Canto aracının AVAS sesinin spektrogram grafiği.	38
Şekil 3.15. Nissan Leaf Canto aracının AVAS sesinin 1/3 oktav bantları grafiği.	38
Şekil 3.16. Geliştirme kiti içerisindeki AVAS sesinin zaman düzlemi grafiği.....	38
Şekil 3.17. Geliştirme kiti içerisindeki AVAS sesinin frekans düzlemi grafiği.	39
Şekil 3.18. Geliştirme kiti içerisindeki AVAS sesinin spektrogram grafiği.	39
Şekil 3.19. Geliştirme kiti içerisindeki AVAS sesinin 1/3 oktav bantları grafiği.....	40
Şekil 3.20. AVAS da uygulanan frekans kaydırma işlemi [41].	41
Şekil 3.21. Supercollider ile üretilen sesin 1/3 oktav bantları grafiği.....	41
Şekil 3.22. Teensy 3.2 geliştirme kiti [42].	42
Şekil 3.23. AEK-MCU-C1MLIT1 geliştirme kiti [41].	43
Şekil 4.1. AVAS elektronik tasarım blok diyagramı.	45
Şekil 4.2. AVAS elektronik tasarım kontrol birimi devre şeması.	46
Şekil 4.3. AVAS elektronik tasarım güç yönetimi devre şeması.	47
Şekil 4.4. AVAS elektronik tasarım ses kuvvetlendirici devre şeması.	48
Şekil 4.5. AVAS elektronik tasarımı CANBUS iletişim hattı devre şeması.	49
Şekil 4.6. AVAS elektronik donanım tasarımı 2D görüntüsü.....	50
Şekil 4.7. AVAS elektronik donanım PCB tasarımı katman görüntüsü.	51
Şekil 5.1. UNECE-R138 regülasyonları göre ses seviyesi test ayarı.	53
Şekil 5.2. UNECE-R10 regülasyon testleri laboratuvar görüntüsü.	55
Şekil 5.3. CISPR 25 standardı elektromanyetik yayılım dikey anten ölçüm grafiği.	56
Şekil 5.4. CISPR 25 standardı elektromanyetik yayılım yatay anten ölçüm grafiği.	57
Şekil 5.5. Tasarımı tamamlanmış AVAS ürünü.	58

AKUSTİK ARAÇ UYARI SİSTEMİ (AVAS) SES SİNYALİ ANALİZİ VE İŞLENMESİ

ÖZET

Elektrikli ve hibrit araçların kullanımı son yıllarda tüm dünyada önemli ölçüde artmıştır. Araç üreticilerinin bir sonraki hedefi, elektrikli ve hibrit ticari araçların (Otobüsler, Minibüsler, Kamyonlar, Çekiciler, Traktörler ve İş Makineleri gibi) kullanımını da yaygınlaştırmaktır. Ekonomik katkıların yanı sıra bu yaygınlaşma sayesinde şehir içi trafik gürültüsünün ciddi oranda azalması beklenmektedir.

Elektrikli ve hibrit araçların, özellikle kentsel alanlarda düşük süratlerde çalışırken düşük sesli olması, yayalar ve canlılar tarafından fark edilmelerini zorlaştırmaktadır. Bu durum trafikte güvenlik açığı oluşturmaktadır. Bu sorunu çözmek için akustik araç uyarı sistemi ihtiyacı doğmuştur. Sistem, düşük süratte seyreden araçların oluşturacağı psikoakustik sentetik ses ile yayaları ve canlıları uyararak olası can kayıplı veya yaralanmalı kaza ve hasar riskini en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Birçok ülke ve bölge, elektrikli ve hibrit araçlara akustik araç uyarı sistemi kurulmasını zorunlu kılmaktadır. Bu sistem regülasyon öncesi üretimi yapılmış araçlara harici olarak entegre edilmekte, yeni üretilen araçlara ise üretim esnasında dahil edilmektedir. Genel anlamda akustik araç uyarı sistemi, özellikle aracın sessiz çalışmasının risk oluşturabileceği durumlarda yayalara ve diğer yol kullanıcılarına sesli uyarılar sağlayarak elektrikli ve hibrit araçların güvenliğinin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) tarafından 2016 yılında yayınlanan UNECE-R138 regülasyonu ile yine aynı yıl içerisinde Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi (NHTSA) tarafından yayınlanan Federal Motorlu Araç Güvenlik Standartları (FMVSS) FMVSS141 regülasyonları akustik araç uyarı sisteminin Avrupa'da ve Amerika'daki kapsamını belirlemiştir. Regülasyonlar içerisinde akustik araç uyarı sisteminin yayması gereken ses seviyeleri, sesin frekans aralığı ve ses ölçüm metotları yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında akustik araç uyarı sisteminin Avrupa'da geçerli UNECE-R138 regülasyonunu sağlamak amacıyla gerekli olan ses seviyesi ve frekans aralığına ilişkin analizler yapılmıştır. Ayrıca otomotiv elektroniği ürünleri için zorunlu olan UNECE-R10 elektromanyetik uyumluluk (EMC) regülasyonuna ve çevresel koşullara dayanıklılığını sağlamak amacıyla gerekli olan Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO)'nın belirlediği ISO-16750 ve ISO-20653 standartlarına uyumlu, elektronik donanım ve yazılım tasarımı için araştırma ve geliştirme (AR-GE) aşamaları ve çalışmaları verilmiştir. Tez kapsamında verimliliği ve fiyatı ile katkı sağlaması hedeflenen, yerli ve milli imkânlarla tasarlanmış ve üretilmiş bir sistem ortaya çıkarılmıştır. Geliştirilen sistem otomotiv güvenliği bütünlük seviyesi(ASIL) ASIL-B fonksiyonel güvenlik seviyesine sahip işlemci birimi kullanılan, birden fazla ses opsiyonuyla kullanılabilen, araca göre adapte edilebilen bir akustik araç uyarı sistemidir. Analizleri ve tasarımları gerçekleştirilen sistemin donanım, yazılım ve ses

tasarımı ile doğrulama testleri ele alınmış ve TÜBİTAK TEYDEB projesi kapsamında başarıyla tamamlanmış test sonuçları paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akustik Uyarı Sistemi, Yaya Güvenliği, Elektrikli Araçlar, Hibrit Araçlar, Sentetik Ses Üretimi.



ACOUSTIC VEHICLE ALERTING SYSTEM (AVAS) AUDIO SIGNAL ANALYSIS AND PROCESSING

SUMMARY

In recent years, there has been a notable surge in the popularity of electric and hybrid vehicles globally. As vehicle manufacturers strive to push the boundaries, their next objective is to extend the utilization of electric and hybrid commercial vehicles, encompassing buses, minibuses, trucks, tractors, and construction machinery. This advancement is poised to reduce the noise levels associated with urban traffic profoundly. However, the quiet nature of electric and hybrid vehicles, mainly when operating at lower speeds in urban environments, presents a safety concern as pedestrians and other living beings may struggle to detect these vehicles. To mitigate this risk, implementing an Acoustic Vehicle Alert System is imperative. The primary purpose of this system is to safeguard against accidents and injuries by alerting pedestrians and other living beings through specially designed synthetic sounds that align with psychoacoustic principles emitted by vehicles traveling at lower speeds.

Numerous countries and regions require installing an Acoustic Vehicle Alerting System for new electric and hybrid vehicles. While this system is externally added to older vehicles to comply with regulations, it is seamlessly integrated into newly manufactured vehicles. The primary purpose of the Acoustic Vehicle Alerting System is to significantly improve the safety of electric and hybrid vehicles by issuing audible alerts to pedestrians and other individuals on the road, particularly in circumstances where the quiet nature of these vehicles may present potential hazards.

In 2016, the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) released the UNECE-R138 regulation, while the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) published the FMVSS141 regulation in the same year. These regulations establish the Acoustic Vehicle Alerting System parameters in Europe and America, respectively. They outline the necessary sound levels, frequency ranges, and methods for measuring sound in the Acoustic Vehicle Alerting System.

This thesis's primary focus centers on examining and creating an Acoustic Vehicle Alerting System that adheres to the UNECE-R138 regulation in Europe. This research, which is supported by a Tübitak Teydeb project, encompasses the analysis and development of the essential sound levels, frequency ranges, and sound modulation required for the Acoustic Vehicle Alerting System. Furthermore, detailed information is provided regarding the design of electronic hardware and software that complies with the UNECE-R10 EMC compatibility regulation and the environmental conditions specified by ISO-16750 and ISO-20653 standards. The overarching objective of this project is to produce a locally designed and manufactured Acoustic Vehicle Alerting System product that offers various sound options and is adaptable to different types of vehicles, utilizing an ASIL-B functional safety level processor unit. The system's hardware, software, sound design, and validation tests were conducted, and subsequent successful results were thoroughly examined and presented.

The global rise in electric and hybrid vehicles has resulted in quieter urban areas at lower speeds, which presents a significant safety concern for pedestrians and other road users. So, vehicles traveling below 20 km/h require an artificial noise that mimics the sound of traditional internal combustion engine vehicles. Consequently, there is a worldwide demand for implementing the Acoustic Vehicle Alerting System in electric and hybrid vehicles. In 2010, a Japanese automotive company introduced the first Acoustic Vehicle Alerting System, which emits audible warnings to pedestrians about the presence of approaching electric and hybrid vehicles. Recognizing the life-threatening risk to visually impaired individuals caused by the reduced sound levels of these vehicles, the American Council of the Blind advocated for regulatory measures in the same year.

The Acoustic Vehicle Alerting System comprises various components, including speakers, horns, and other devices that produce sound. Depending on the system, it can be automatically activated when the vehicle is in motion or manually activated by the driver. It can also be integrated into the vehicle's existing sound system or added as an aftermarket accessory. This study focuses on developing and implementing an Acoustic Vehicle Alerting System that adheres to UNECE-R138 and UNECE-R10 automotive regulations and ISO-16750 and ISO-20653 standards. The design of the system prioritizes durability and resistance to dust. Furthermore, this universal Acoustic Vehicle Alerting System can be installed on any commercial vehicle, promoting pedestrian and overall safety during their journeys.

Acoustic vehicle warning systems for electric vehicles do not have a designated Customs Tariff Statistics Position number. However, the most suitable tariff for importing and exporting such systems in Turkey falls under Chapter 85, specifically identified as 8512.30.90.00.19. This chapter encompasses "Electrical Machinery and Equipment and Parts Thereof; Sound Recorders and Reproducers; Television Image and Sound Recorders and Reproducers and Parts and Accessories of Such Articles." The tariff outlines the classification as "Electrical sound signaling equipment for cycles or motor vehicles: other: other."

In order to carry out comprehensive patent research on a global scale, it is imperative to determine the appropriate International Patent Classification (IPC) code that accurately encompasses the project's scope. The relevant classification for this research is the IPC code B60Q5/008, which pertains to acoustic signal devices that are automatically activated to alert individuals to the presence of silent vehicles. Upon analyzing international patent applications, it becomes evident that there has been a substantial surge in the number of patent filings after the introduction of the Acoustic Vehicle Alerting System by a Japanese automotive company in 2010, as well as the advocacy efforts of the American Council of the Blind to implement regulatory measures.

The initial step in this process involved examining the sound attributes of conventional vehicles equipped with internal combustion engines to ensure compliance with the UNECE-R138 regulation. Once these sound characteristics were analyzed, the next phase entailed developing synthetic sounds that adhered to the regulation. Sound recordings of the 95-horsepower gasoline Fiat 1.4 Fire and the 108-horsepower diesel Renault 1.5 dCi were obtained during idle periods to determine the sound characteristics of the engines. These recordings were then subjected to analysis using the Sigview signal analysis software. The findings revealed that the diesel engine emitted higher sound levels than the gasoline engine. Furthermore, the synthetic

Acoustic Vehicle Alerting System sounds utilized in commercial products, such as the Nissan Leaf's Acoustic Vehicle Alerting System sound, were examined to identify the specific frequency components necessary for compliance with regulatory standards.

Various techniques were explored to create artificial sounds to ensure compliance with the UNECE-R138 regulation. The Supercollider software was a valuable tool in generating synthetic engine sounds, which were then fine-tuned to align with the required frequency bands and sound levels. Additional testing was carried out using the Teensy 3.2 development board equipped with an ARM Cortex M4 microcontroller to simulate these synthetic engine sounds in a microcontroller environment. However, due to the absence of ASIL safety standards on the Teensy platform, the final design opted for the STM microcontroller and Class-D amplifier, both of which satisfy the stringent safety standards of the automotive industry. The Acoustic Vehicle Alerting System was subjected to various tests to validate its compliance with the UNECE-R138 regulation, including tests for sound pressure levels, frequency ranges, and environmental conditions. The results confirmed that the system met the regulatory requirements, and the final design was successfully implemented and tested.

This summary captures the presented thesis's essence and critical findings, providing a comprehensive overview of the research and its significance in enhancing pedestrian safety by developing an effective Acoustic Vehicle Alerting System.

Keywords: Acoustic Warning System, Pedestrian Safety, Electric Vehicles, Hybrid Vehicles, Synthetic Sound Reproduction.



1. GİRİŞ

Elektrikli ve hibrit araçların kullanımı dünya çapında istikrarlı bir biçimde artmakta ve buna bağlı olarak da şehir içerisinde düşük süratlerde oluşan, düşük gürültü seviyeleri yaya ve diğer yol kullanıcılarına büyük risk oluşturmaktadır [1]. 20 km/h ve altı süratla seyir halinde olan elektrikli ve hibrit araçların, içten yanmalı motora sahip araçlardaki, araç gürültüsüne benzer sentetik bir araç gürültüsü ihtiyacı doğmuş ve global çapta elektrikli ve hibrit araçlara Akustik Araç Uyarı Sistemi (AVAS) entegre etme ihtiyacı başlamıştır.

AVAS ilk olarak bir Japon otomotiv firmasının 2010 yılında elektrikli ve hibrit araçların yaklaştığını sesli olarak uyan bir sistemi tanıttığı basın duyurusuyla duyulmuştur [2]. Yine aynı yıl içerisinde Amerikan Görme Engelliler Konseyi (ACB), görme engellilerin elektrikli ve hibrit araçların düşük sesli seyri yüzünden hayati tehlike altında olduklarını ve bu hususta bir düzenleme yapılması gerektiği ile ilgili basın duyurusu yapmıştır [3]. Türkiye Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın 2020 yılında yayınlamış olduğu Otomotiv Sektörü Raporu'nda belirtilen otomotiv sektörünün 2019-2023 projeksiyonuna istinaden, ülkemiz ekonomisi ve ihracatı açısından lokomotif sektör olan otomotiv sanayimizin daha da ilerlemesini sağlamak, dışa bağımlılığı azaltmak ve AR-GE faaliyetlerini yurt içinde gerçekleştirerek yerli ve milli üretimi desteklemek de önem arz etmektedir [4].

1.1. Tezin Amaç ve Hedefleri

AVAS korna ve diğer ses üreten cihazlar gibi çeşitli bileşenler içermektedir. Bazı AVAS'lar araç hareket halindeyken otomatik olarak etkinleştirilirken bazıları sürücü tarafından manuel olarak etkinleştirilebilmektedir [5]. Ayrıca, aracın mevcut ses sistemine entegre edilebilen veya satış sonrası bir aksesuar olarak araçlara eklenebilen sistemler de mevcuttur. Sunulan çalışmada gerçekleştirilen tasarım ve ortaya koyulan ürün, UNECE-R138, UNECE-R10 otomotiv regülasyonlarına ve ISO-16750, ISO-20653 standartlarına uygun sızdırmazlık ve toz dayanımlı tasarımı ile özgün, evrensel olarak nitelendirilebilecek bir AVAS olarak nitelendirilebilir. Tasarlanan sistem, elektrikli ve hibrit her türlü ticari araca monte edilebilecek, yerli ve milli bir ürün

niteliğindedir. Elektrikli ve hibrit araçlar için tasarlanan AVAS ile yaya ve canlıların daha güvenli şekilde seyirlerine devam edebilmeleri hedeflenmiştir. Çalışmanın izleyen bölümlerinde tasarıma ait AR-GE aşamaları ve ilgili süreçte karşılaşılan sorunların nasıl aşıldığı paylaşılmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

Bu bölümde AVAS ile ilgili mevcut literatürü gözden geçirerek bu alandaki temel kavramlar araştırılmıştır. Elektrikli ve hibrit araçların yayaların güvenliğini artırmak amacıyla çıkardıkları ses sinyalleri üzerindeki çalışmalar değerlendirilmiştir.

Chamard ve Roussarie, elektrikli araçların düşük süratlerde neredeyse sessiz çalışmaları, yayaların yaklaşan araçları fark etmesini zorlaştırmaktadır. Bu problemi çözmek amacıyla araçların dışına yerleştirilen hoparlörler aracılığıyla uyarı sesleri üretilmiştir. Üretilen seslerin aracın sürüş durumuna (sürat, ivme, yavaşlama vb.) göre ayarlanması gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmada, çeşitli ses tasarımlarının tespiti ve algılanan tehlike üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla kapsamlı testler gerçekleştirilmiştir. Testler, dizel bir araç ve elektrikli bir araç kullanılarak yapılmış ve katılımcılardan araçları algıladıkları ve tehlike hissettikleri anda bir butona basmaları istenmiştir. Sonuçlar, sesli uyarı sistemlerinin elektrikli araçların tespit edilebilirliğini önemli ölçüde artırdığını ve belirli ses tasarımlarının güvenlik algısını olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Çalışma, AVAS'ların sadece tespit açısından değil, aynı zamanda oluşturduğu çağrışımlar ve algılanan tehlike açısından da etkili olması gerektiğini ortaya koymuştur [6].

Fabra-Rodriguez ve ark., Mekanik Akustik Araç Uyarı Sistemi (MAVAS), çiftli bir dişli sistemi olarak mekanik olarak bir akustik ses ortaya çıkarmaktadır. Bu şekilde trafikte yapay ses üretilerek olası tehlike ve kazaların önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Hibrit ve elektrikli araçların sessizliği nedeniyle yayalar için fark edilebilirliği artırmak amacıyla geliştirilen MAVAS üzerine yapılan çalışmaları detaylı bir şekilde ele almaktadır. Önerilen akustik tahmin modeli, çift kuru dişli tarafından üretilen sesi simüle etme yeteneğine sahiptir ve Avrupa mevzuatına uygunluğunu doğrulamak için kullanılan bir dişli kombinasyonunu karakterize etme olanağı sunmaktadır [7].

Siemens, AVAS için doğru sesleri tasarlama, bu seslerin hoparlör sistemleri ve konumlarıyla nasıl etkileşime girdiğini deneyerek değerlendirme süreçlerinin önemini ele alındığı çalışmada; bu sistemlerin uyum testleri ve prototip araçlarda

nasıl uygulanabileceği konularına değinmiştir. Çalışma, ses modellerinin geliştirilmesi ve düzenlemelere uyum sağlanması için simülasyon çözümleri kullanılarak geometrik-akustik ve kontrol unsurlarının optimize edilmesini de göstermiştir [8].

Literatür taraması AVAS'ın gelişimini ve mevcut kullanımlarını anlatmaktadır.

1.3. Market Araştırması

Elektrikli araçlar için akustik araç uyarı sistemiyle ilgili özel bir Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu (GTİP) numarası bulunmamaktadır. Ülkemizde ithalat ve ihracat kalemi olarak en uygun tarifenin 8512.30.90.00.19 olduğu tespit edilmiştir. 85. Fasl "Elektrikli Makina ve Cihazlar ve Bunların Aksam ve Parçaları; Ses Kaydetmeye ve Kaydedilen Sesi Tekrar Vermeye Mahsus Cihazlar; Televizyon Görüntü ve Seslerinin Kaydedilmesine ve Kaydedilen Görüntü ve Sesin Tekrar Verilmesine Mahsus Cihazlar ve Bunların Aksam, Parça ve Aksesuarı" olarak geçmekte olup, 8512 nolu alt başlık ise "Motorlu taşıtlarda, bisikletlerde veya motosikletler de kullanılan türden elektrikli aydınlatma veya işaret cihazları (85.39 pozisyonunda yer alan eşya hariç), cam siliciler, buzlanma veya buğulanmayı önleyici tertibat" olarak geçmekte, 8512.30 nolu alt başlık "Sesli işaret cihazları" olarak tanımlanmaktadır. 8512.30.90.00.19 numaralı tam tanım bu üst başlıkların yanı sıra "Diğer" olarak tanımlanmaktadır. Diğer kalemleri içerisinde spesifik olarak tanımlanmamış sistemler olduğu gibi, bazı ürünler doğrudan bu kalem altında gösterilmektedir.

8512.30.90.00.19 numaralı tarifenin uluslararası karşılığı "Electrical sound signalling equipment for cycles or motor vehicles: other: other" olarak geçmektedir.

1.4. Patent Araştırması

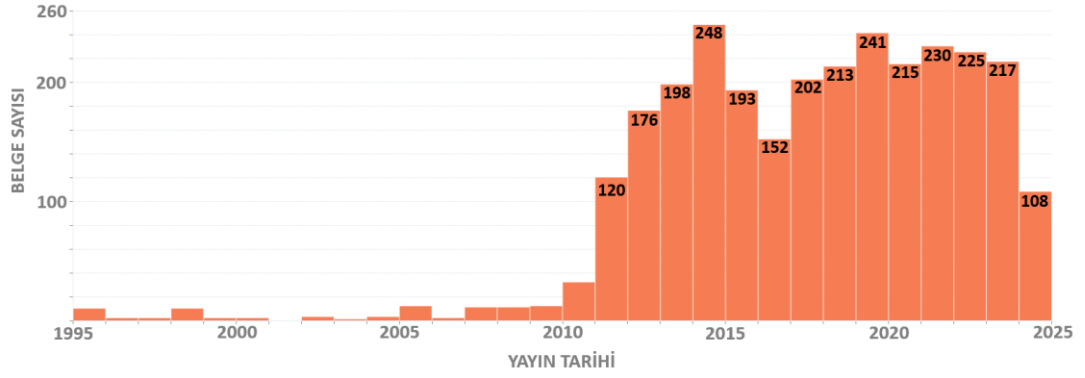
Ulusal ve uluslararası patent araştırmasının yapılabilmesi için, bahse konu projenin kapsamını tanımlayan Uluslararası Patent Sınıflandırması (IPC) kodunun belirlenmesi gerekmektedir. GTİP kodundan farklı olarak AVAS'ları tanımlayan IPC kodu tespit edilmiştir. B60Q5/008 kodunun IPC tanımlaması tam olarak "Arrangements or adaptations of acoustic signal devices automatically actuated for signaling silent vehicles, e.g. for warning that a hybrid or electric vehicle is approaching" geçmektedir. B60Q5 ana kodu genel olarak araç uyarı sistemlerini kapsamakta olup, B60Q5/008 alt kodu ise elektrikli ve hibrit araçlar gibi düşük sesli araçlarda otomatik çalışan ve aracın yaklaştığını uyaran sesli uyarı sistemlerini kapsamaktadır. Şekil 1.1'de görüleceği

üzere, B60Q5/008 IPC sınıfı altında şimdiye kadar 2853 adet patent kaydı bulunmaktadır. Şekilde verilen diğer IPC sınıfları ya komponent bazında ya süreç yeniliği olarak ya da araçlarla ilgili başka unsurları ihtiva eden konuları içermektedir. Yine ilgili proje konusuna en yakın IPC sınıfı B60L2270/42 olmakla beraber, doğrudan süreç yeniliği konusunu kapsamaktadır. B60L2270/42 IPC numarası doğrudan “Means to improve acoustic vehicle detection by humans” olarak tanımlanmakta olup, ilgili analiz sürecine dahil edilmemiştir.

182 B60L2270/42 Performing Operations transporting Means to improve acoustic vehicle detection by humans	430 B60Q5/00 Performing Operations transporting Arrangement or adaptation of acoustic signal devices	182 B60Q5/005 Performing Operations transporting automatically actuated	326 B60Q5/006 Performing Operations transporting indicating risk of collision between vehicles or with pedestrians	2,853 B60Q5/008 Performing Operations transporting for signaling silent vehicles, e.g. for warning that a hybrid or electric
429 B60Q9/00 Performing Operations transporting Arrangement or adaptation of signal devices not provided for	242 B60Y2200/91 Performing Operations transporting Electric vehicles	297 B60Y2306/11 Performing Operations transporting Noise generation, e.g. drive noise to warn pedestrians that an	165 G08G1/166 Physics for active traffic, e.g. moving vehicles, pedestrians, bikes	779 G10K15/02 Physics Synthesis of acoustic waves synthesis of speech G10L13/00
382 G10K15/04 Physics Sound-producing devices G10K15/02 takes precedence	190 G10K2210/1282 Physics Automobiles	138 H04R1/025 Electricity Arrangements for fixing loudspeaker transducers, e.g. in a box, furniture	690 H04R2499/13 Electricity Acoustic transducers and sound field adaptation in vehicles	168 H04R3/00 Electricity Circuits for transducers, loudspeakers or microphones

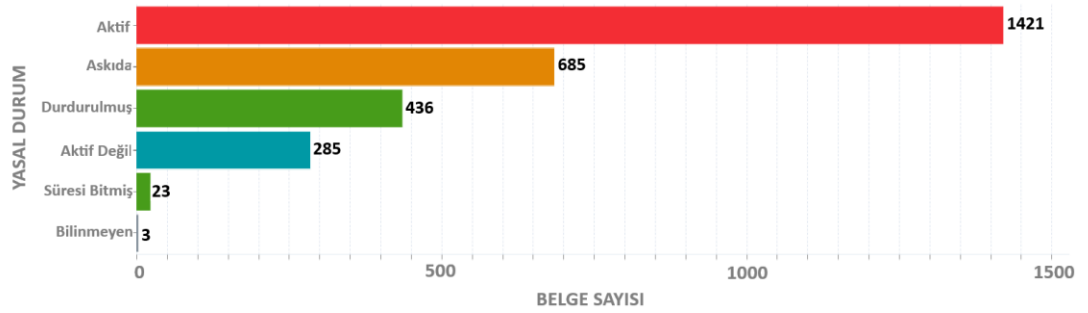
Şekil 1.1. B60Q5/008 IPC sınıfı için uluslararası patent başvuru sayısı [9].

Daha detaylı bir inceleme yapmak gerekirse; B60Q5/008 IPC sınıfındaki patent başvurularının, Japon otomotiv firmasının 2010 yılında, elektrikli ve hibrit araçların yaklaştığını sesli olarak uyarın bir sistemi tanıtan basın duyurusundan [2] ve Amerikan Görme Engelliler Konseyi’nin yine aynı yıl içerisinde, görme engellilerin elektrikli ve hibrit araçların düşük sesli seyri yüzünden hayati tehlikelerinin olduğu ve bu hususta bir düzenleme yapılması gerektiğiyle ilgili basın duyurusundan [3] sonra ciddi bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 1.2.’de 1996-2022 yılları arasındaki başvuru ve tescil oranları analiz edilmiştir. Bu analize göre 2011 yılından itibaren her yıl ortalama 200 patent başvurusu gerçekleştirilmektedir. Bu sebepten, her yıl tekniğin bilinen durumu daralmakta ve patent inceleme ve araştırma sonuçlarının olumsuz dönme ihtimali artmaktadır.



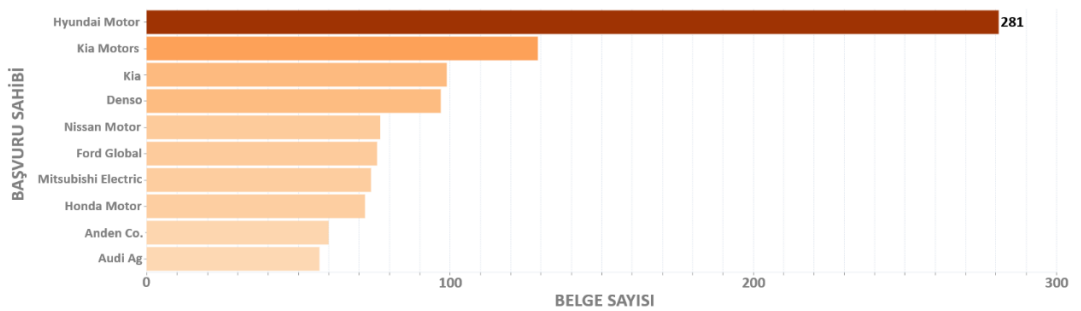
Şekil 1.2. B60Q5/008 IPC sınıfı için uluslararası patent analizi sonuçları [9].

Şekil 1.3.'te grafiğe dökülen analize göre, uluslararası başvurulardan 1421 patent aktif olarak korumaya sahip, 685 patent başvuru sürecinde ve 436 başvurunun devam ettirilmemiş olduğu tespit edilmiştir. Buda tekniğin bilinen durumunun ne kadar daralmış olduğunu göstermektedir.



Şekil 1.3. B60Q5/008 IPC sınıfı için uluslararası patent başvurularının hukuki durumları [9].

Uluslararası başvuru sahipleri incelendiğinde, Şekil 1.4.'te görüleceği üzere en çok patent başvurusunun 281 adet ile Hyundai firması tarafından yapıldığı ve en çok patentin 116 adet ile yine Hyundai firmasına ait olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1.4. B60Q5/008 IPC sınıfı ile uluslararası patent başvurusu yapmış firma ve başvuru adetleri [9].

Uluslararası patent başvurularında, en çok atıf almış patent ise 346 atıf ile Honda firmasına aittir. İlgili patent başvurusu 1997 yılında Amerika’da gerçekleştirilmiş olup, diğer başvurulardan farklı olarak, patent kapsamı çok geniş tutulmuştur. İlgili kapsam; ortamdaki ses eşik değerine göre ses seviyesini otomatik ayarlayan, elektrikli araçlarda kullanılacak ve yayaları, simüle ettiği seslerle akustik olarak uyaran bir sistemden oluşmaktadır [9].

Uluslararası pazarda özellikle araç üreticilerinin yanı sıra birçok AVAS üreticisi mevcuttur. Özellikle yarı iletken üreticisi firmaların AVAS geliştirilmesi için piyasaya sürmüş oldukları özel üretim çip ve tasarımlar, piyasaya birçok firmanın ürün çıkartmasına imkân sağlamıştır. Genel olarak AVAS’lar tek başlarına karakterize edilmemiş olup, araç içi bilgilendirme sistemlerine veya araç üreticilerinin alt yapıları kullanılarak sistem tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tablo 1.3’te dünya çapında rakip olarak addedilebilecek firmaların AVAS konulu patentleri ve Türkiye’de fikri ve sınai haklar kapsamında korumasının olup olmadığı gösterilmiştir. Hella firmasının geliştirmiş olduğu ürün hariç, aktif koruması devam eden diğer ürünler, bir yan sistem ile çalışmakta olup, tek başlarına AVAS oluşturmamaktadır.

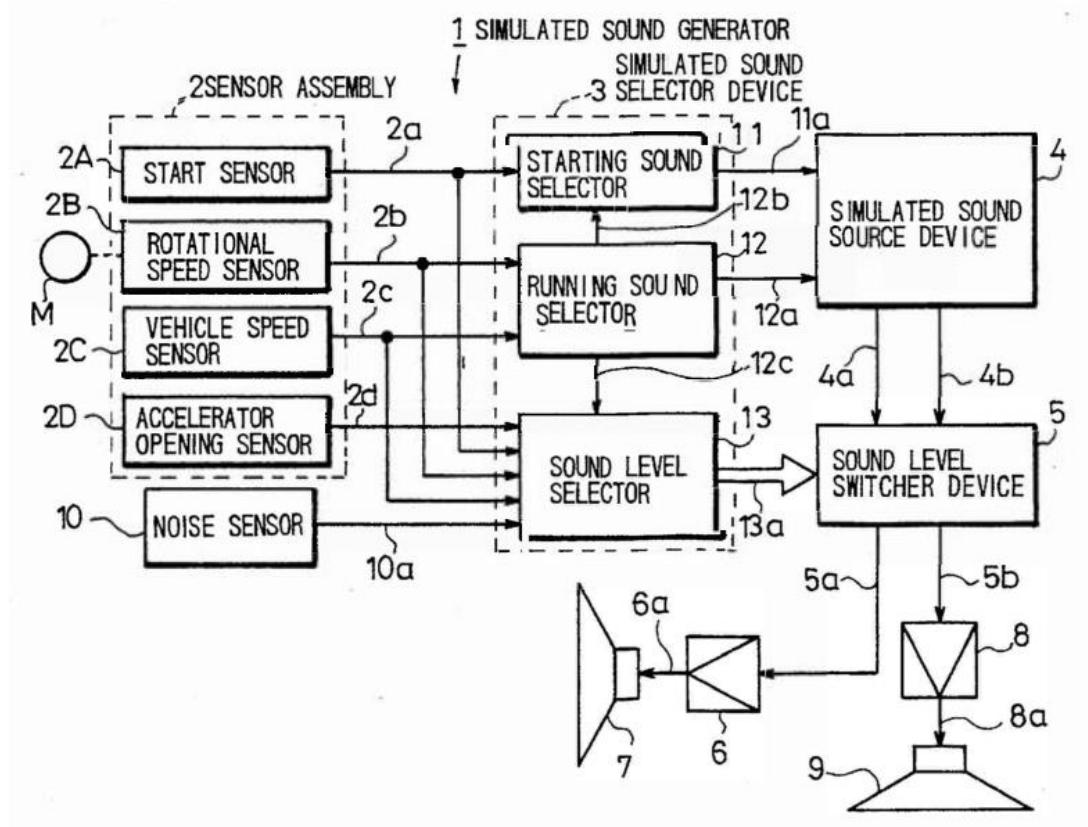
Tablo 1.1. Dünya çapında rakip firmaların yapmış olduğu patent başvurularının tablosu.

Başvuru Numarası	Başvuru Tarihi	Firma	Tescil Tarihi	Buluş Başlığı (Orijinal)	Buluş Başlığı (Türkçe)	Türkiye’de Koruma Var Mı?
EP2616277B1 WO2012037050A1	2010	Bose Corp.	2021	Vehicle external sound warning generation system and method	Araç dış uyarı sesi üretme sistemi ve yöntemi	VAR
EP3686880A1	2019	Volvo Car Corp.	2020	Acoustic vehicle alerting system and method	Akustik araç uyarı sistemi ve yöntemi	VAR
WO2019240768A1 US20210118421A1	2018	Harman International Inc.	2019	System and method for adaptive magnitude vehicle sound synthesis	Uyarlanabilir büyüklükte araç sesi sentezi için sistem ve yöntem	VAR
US10699692B2	2018	Honda Motor Co. Ltd.	2020	Active sound effect generating device	Aktif ses efekti üreten cihaz	YOK
US20180315413A1	2017	Ford Global Technologies LLC	2019	Active tone sensitization for tonal noises in a vehicle	Araçtaki ton sesleri için aktif ton duyarlılığı	YOK
US20150364125A1	2014	Hyundai Motor Co	2018	Vehicle, vehicle control method and vehicle driving sound control apparatus	Araç, araç kontrol yöntemi ve araç sürüş sesi kontrol aparatı	YOK

Tablo 1.1. (Devamı) Dünya çapında rakip firmaların yapmış olduğu patent başvurularının tablosu.

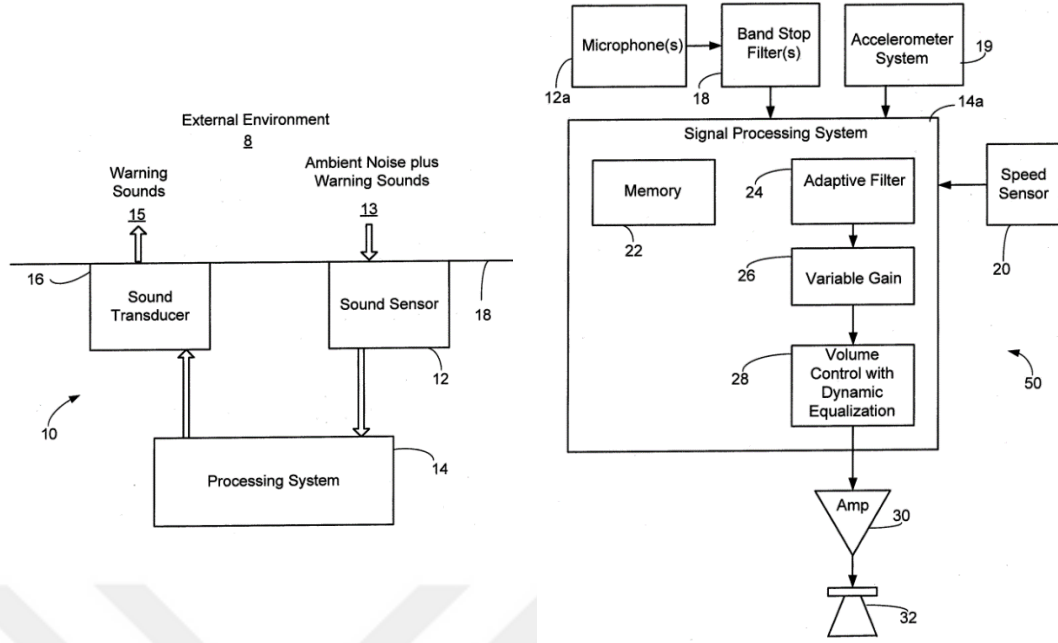
Başvuru Numarası	Başvuru Tarihi	Firma	Tescil Tarihi	Buluş Başlığı (Orijinal)	Buluş Başlığı (Türkçe)	Türkiye’de Koruma Var Mı?
WO2012034669A2	2010	Volkswagen AG	2012	Vehicle having an electric drive	Elektrikli tahrike sahip araç	VAR
US9271073B2	2014	GM Global Technology Operations LLC	2016	Method for controlling an extended-range electric vehicle including an electronic sound enhancement system	Elektronik ses geliştirme sistemi de dahil olmak üzere, genişletilmiş menzilli bir elektrikli aracın kontrol edilmesine yönelik yöntem	YOK
US829990B2	2010	Nissan Motor Co. Ltd.	2013	System and method for producing an audible alert for a vehicle	Bir araç için sesli uyarı üretmeye yönelik sistem ve yöntem	YOK
US5635903A	1993	Honda Motor Co. Ltd.	1997	Simulated sound generator for electric vehicles	Elektrikli araçlar için simüle edilmiş ses üretici	YOK
US9994148B1	2016	Mando Hella Electronics Corp.	2018	Pedestrian warning device of vehicle	Aracın yaya uyarı cihazı	YOK

Honda firmasının 1997 yılında Amerika’da tescil aldığı US5635903A numaralı patentte, AVAS tasarımı bünyesinde, araç sürat ölçer ve ivme ölçer ile aracın süratlenmesini algılayan bir ön sensör tasarımını, gürültü seviyesi ölçen sensör ile, üreteceği ses seviyesini belirlemek için ortam gürültüsü seviyesini algılayan bir birimi ve ses cinsi seçilebilen bir ses üreteç birimine sahiptir. Sistem blok diyagramı Şekil 1.5.’de gösterilmiştir. Bu patent zaman aşımına uğradığı için tekniğin bilinen durumuna girmiş ve koruma haklarını kaybetmiştir [10].



Şekil 1.5. Honda firmasının US5635903A numaralı patentine konu AVAS tasarımı [10].

Bose firmasının 2010 yılında WIPO üzerinden yapmış olduğu WO2012037050A1 numaralı Dünya çapındaki patentini yakın zamanda tekrar Avrupa Patent Organizasyonu (EPO) üzerinden genişleterek EP2616277B1 numarası ile 2021 yılında tescil almış olduğu patent, çok kapsamlı bir AVAS tarif etmektedir. Sistem üzerinde bulunan bir mikrofona vasıtasıyla ortam gürültüsünü ve üretilen AVAS sesini alarak işleminden geçiren buna istinaden üretilen sesin seviyesini belirleyen bir sistemdir. Ek olarak, üzerinde bulunan ivme ölçer vasıtasıyla, aracın yolda hareket halinde olduğunu algılamakta, hız sensörü vasıtasıyla da aracın ilgili süratlerde üretilen sesini belirlemektedir. Şekil 1.6.'da sistem blok diyagramı görülmektedir. Patent, Türkiye dahil birçok Avrupa ülkesinde koruması bulunmaktadır [11].

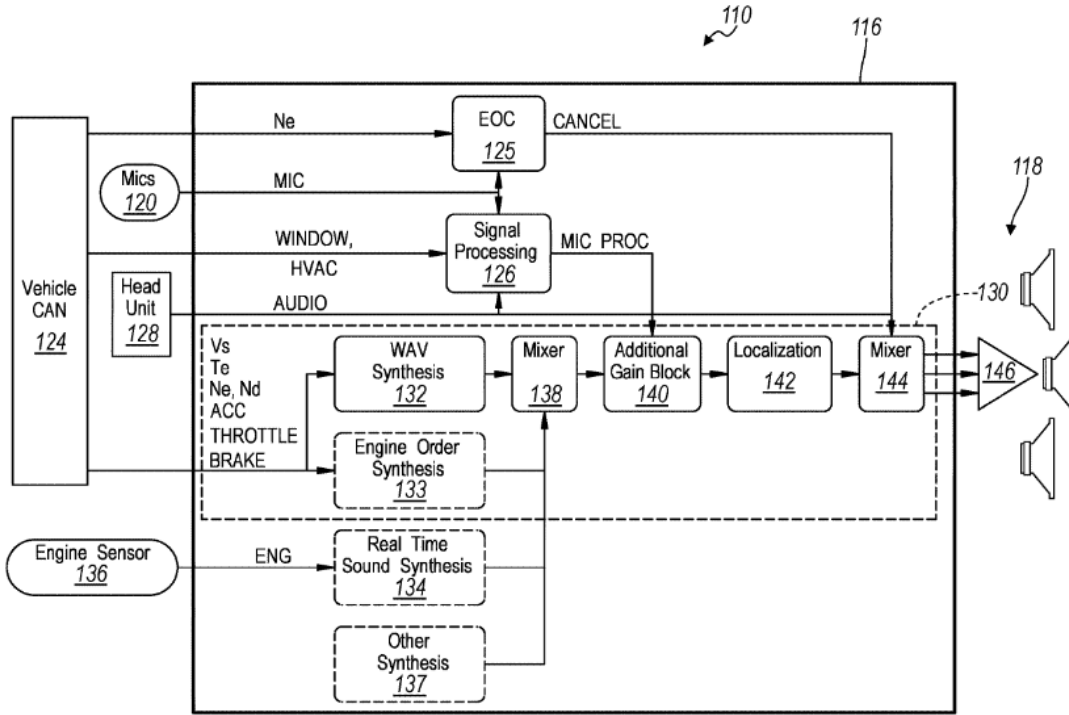


Şekil 1.6. Bose firmasının WO2012037050A1 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [11].

Volvo firmasının 2019 yılında EPO üzerinden yapmış olduğu EP3686880A1 numaralı başvuru patente konu buluş, özellikle AVAS regülasyonundan geçecek bir sistem olarak konfigüre edilmiştir. Sistem araç üzerine yerleştiren hoparlör ve mikrofon ile araç içine yerleştirilen mikrofondan oluşmaktadır. Bu kapsamda araç içerisinden ve dışarisinden yayılan sesi aktif olarak ölçüp, matematiksel işlemlerden geçirerek, sistemin AVAS regülasyonları içerisinde üreteceği optimum ses seviye ve frekansına karar vererek, buna istinaden çalışan bir sistemdir. Sistem aracın hız bilgisine bağlı olarak, yine matematiksel işlemlerden geçirdiği ses sinyalini, özellikle insan duyma eşiğindeki ses seviyesinde üretmeye odaklanmıştır. Patentin, Türkiye dahil birçok Avrupa ülkesinde koruması bulunmaktadır [12].

Harman International Industries Inc. firmasına ait patent 2021 yılında Avrupa’ da ve Amerika’ da sırasıyla WO2019240768A1 ve US20210118421A1 numaralarıyla tescil olmuştur. Bu patent AVAS için alınmış ve Türkiye’de de WIPO numarasıyla koruması geçerli olan patentlerden biridir. Bahse konu patent sadece dış ortam ses seviyesine göre ses seviyesini otomatik belirleyerek AVAS ses üretimi yapmakla kalmayıp, araç içerisine yerleştirilen bir mikrofon vasıtasıyla da sesin araç içinden ne şiddette duyulduğunu da ölçerek dış ortama üretilen sesin şiddetini uyarlayan bir kontrol mekanizmasına sahiptir. Genel AVAS patentlerinde olduğu gibi araçtan kontrol alan

ağı veri yolu (CANBUS) iletişim protokolü ile hız bilgisini alarak hedef ses seviyesini belirlemekte fakat ekstra olarak kabin içi gürültü seviyesi ve hedef ses üretim seviyesi arasındaki farka göre dış ortama üretilen sesin seviyesini ayarlayan bir yapıya sahiptir. Patent ayrıca üretilen sesin seviyesini Fletcher-Munson eğrisine göre ayarlamakta böylece insan kulağının hassas olduğu frekans aralığında, eşit dağılımlı bir yayının yapılarak sesin daha net algılanmasına imkân sağlamaktadır [14, 15].

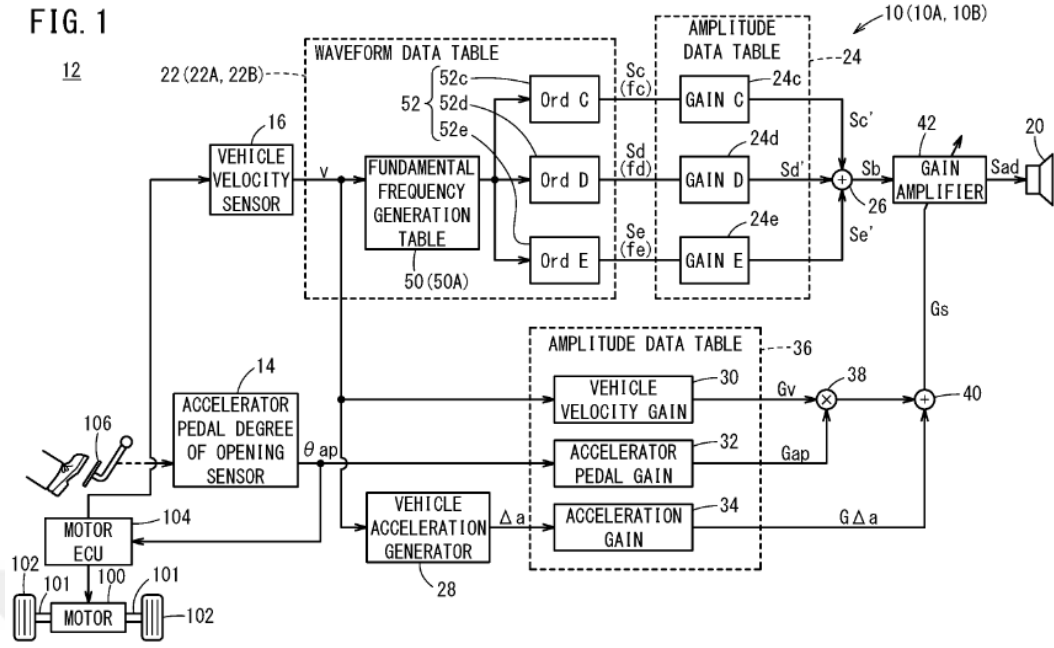


Şekil 1.7. Harman International Inc. firmasının US20210118421A1 ve WO2019240768A1 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [14, 15].

Honda firmasının 2020 yılında Amerika’da tescil aldığı US10699692B2 numaralı patentte AVAS tasarımı daha önceki patentlerini kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Farklı olarak diğer firmaların AVAS ses kayıtlarında da tespit edildiği gibi Shepard Risset Glissando metodu ile hızlanma ve yavaşlama hususunda insan algısını kandırarak sonsuz döngüde oluşturulan artıp azalan frekans ve genlik değerleri vasıtasıyla ses oluşturulmaktadır [15].

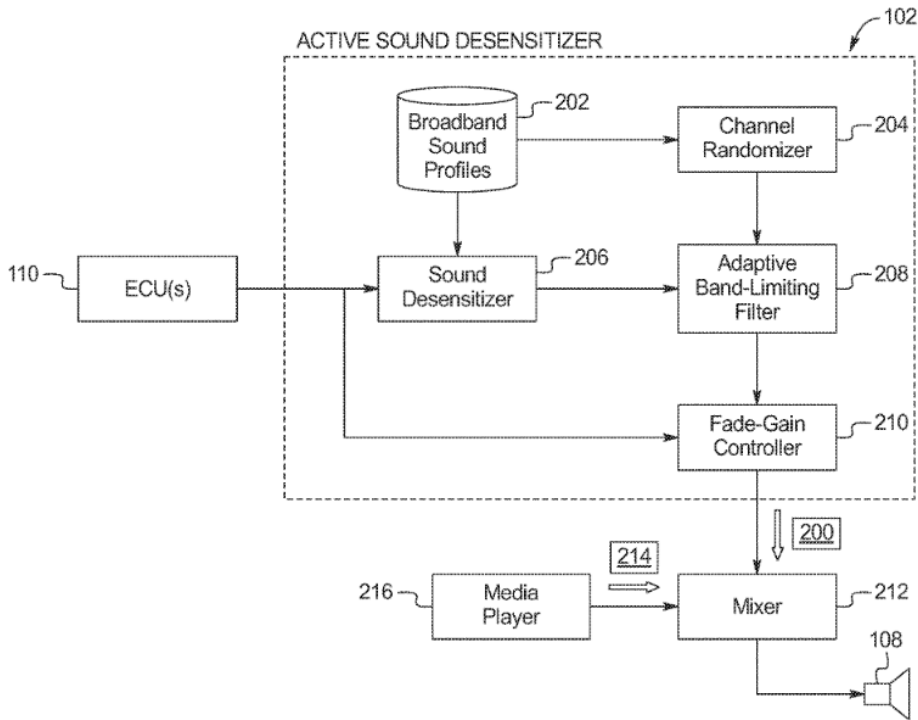
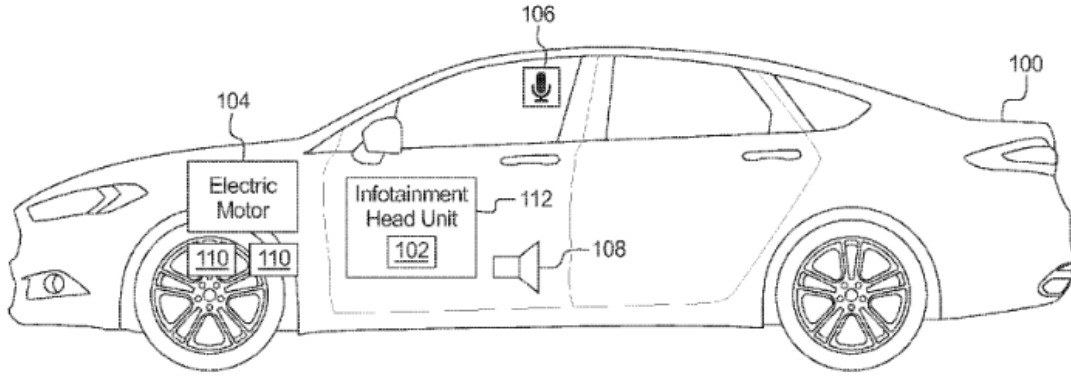
Patent Avrupa’ya genişletilmemiş olup, dolayısıyla Türkiye’de herhangi bir koruma yoktur. Sistem blok diyagramı Şekil 1.8.’de verilmiştir. Honda firması Amerika patentini sadece Almanya’ya genişletmiş fakat 2019 yılında geri çekilmiştir. Dolayısıyla Türkiye’de herhangi bir koruması yoktur.

FIG. 1



Şekil 1.8. Honda firmasının US10699692B2 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [15].

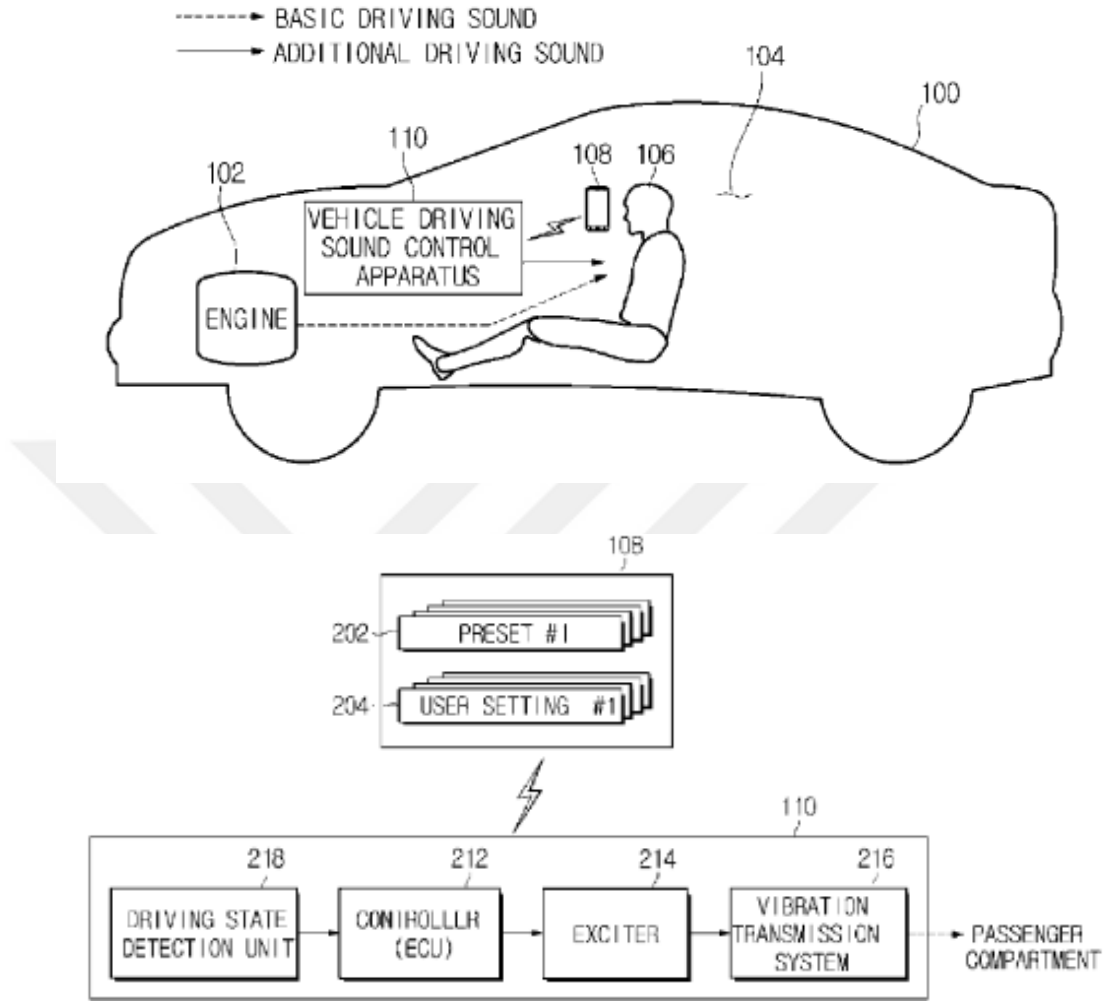
Ford firmasının 2019 yılında Amerika’da tescilini aldığı ve daha sonradan sadece Almanya’ya genişletmiş olduğu US20180315413A1 numaralı patentte konu buluş, araç içi bilgi ve eğlence ünitelerini kullanarak veri toplayan ve bu verilere istinaden duyarsızlaştırma sesi üreten bir AVAS’ı konu almaktadır. Duyarsızlaştırma sesi, insanın rahatlıkla algılayabileceği ve belli bir rahatsızlık eşiği seviyesinin altında çalışan ses seviyesi eşik değerini ifade etmektedir. Bu kapsamda sistem araç dışı bir hoparlör ünitesi dışında, geri kalan ölçümü araç içi bilgi ve eğlence sisteminde gerçekleştirmekte ve üretilecek sesi bu üniteye üretmektedir. Sistem blok diyagramı Şekil 1.9.’da gösterilmiştir. Patent sadece Almanya’ya genişletilmiş olduğundan dolayı Türkiye’de herhangi bir koruması bulunmamaktadır [16].



Şekil 1.9. Ford firmasının US20180315413A1 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [16].

Hyundai firmasının 2018 yılında Amerika’da tescil aldığı US20150364125A1 numaralı patentte, araç iç ses sistemine ve araç ön cam silecek altına konumlandırılmış hoparlör sistemine, AVAS sesini oluşturmak üzere araç içi bir adet kontrol ünitesi ile konfigüre edilen bir sistemden bahsedilmektedir. Bu kapsamda araçta bulunan hız sensörü, tork sensörü, gaz kelebeği konum sensörü, gaz pedalı sensörü ve tekerlek hız sensöründen aldığı bilgileri kullanarak, kullanıcıya araç içi kontrol ünitesiyle, üretilecek AVAS’ın parametreleriyle ilgili ayar yapma imkânı sunmaktadır. Sistem

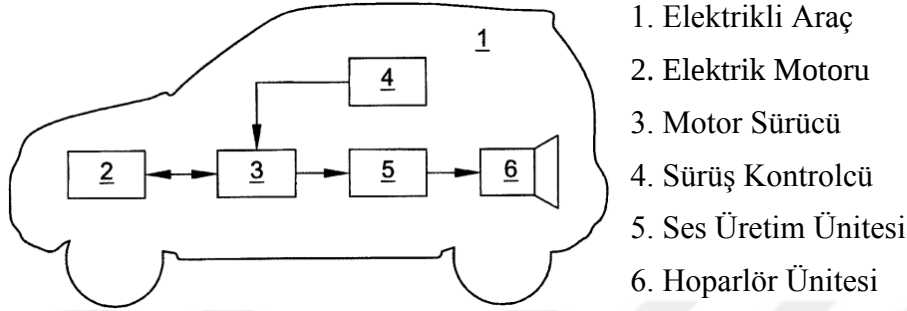
blok diyagramı Şekil 1.10.'de gösterilmiştir. Başvuru Avrupa' ya genişletilmediği için Türkiye'de herhangi bir koruma bulunmamaktadır [17].



Şekil 1.10. Hyundai firmasının US20150364125A1 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [17].

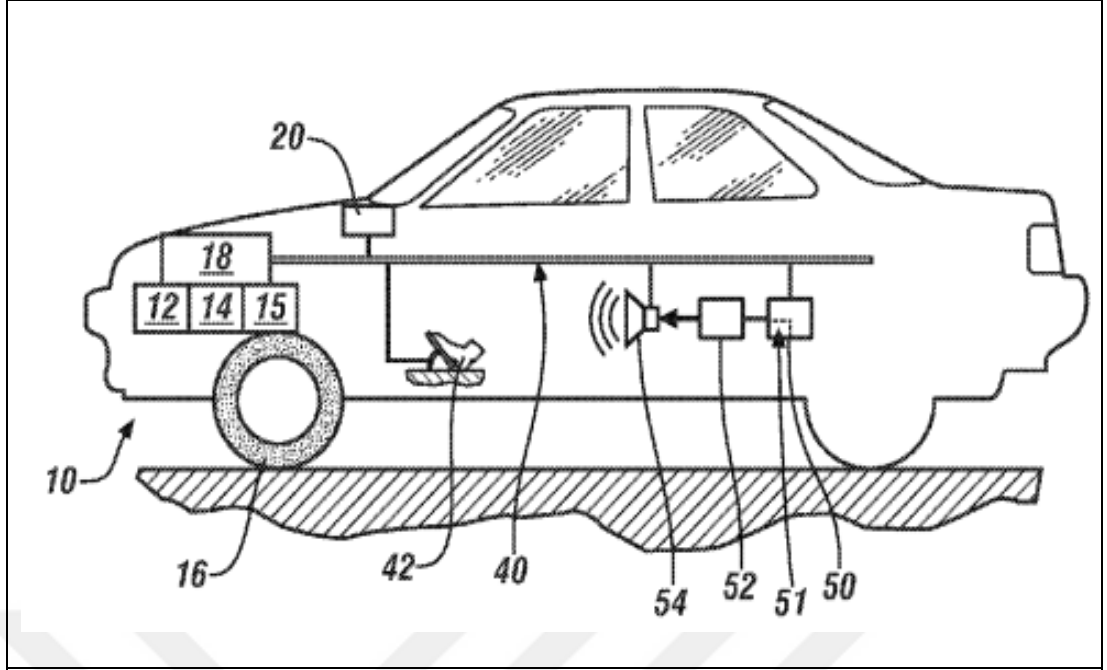
Volkswagen firmasının 2012 yılında Avrupa' da tescilini aldığı ve 2015 yılında da Amerika' da tescilini aldığı sırasıyla WO2012034669A2 ve US9050925B2 numaralı patente konu buluş, elektrikli araçlarda kullanılacak bir AVAS tarif etmekte olup, diğer tüm patentlerde olduğu gibi aracın hız bilgisini algılayarak, bir ses üretim ünitesiyle AVAS regülasyonu limitleri içerisinde ses sentezleyerek, bu sesi hoparlör ünitesinden yayan bir sistemi kapsamaktadır. Honda'nın US10699692B2 numaralı patentinde tarif edildiği ve diğer firmaların AVAS ses kayıtlarında da tespit edildiği gibi Shepard Risset Glissando metodu ile hızlanma ve yavaşlama hususunda insan algısını kandırarak sonsuz döngüde oluşturulan artıp azalan frekans ve genlik değerleri

vasıtasıyla ses oluşturulmaktadır. Patent kapsamı tamamen Shepard Risset Glissando metodunu tarif etmekte olup, kapsam içerisine, diğer patentlerde olduğu gibi herhangi bir mikrofona (geri bildirim için) dahil edilmemiştir. Sistem blok diyagramı Şekil 1.11.’de gösterilmiştir. Patentin EPO üzerinden yapılan başvurusu tescil edildiği için Türkiye’de koruması bulunmaktadır [18].



Şekil 1.11. Volkswagen firmasının WO2012034669A2 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [18].

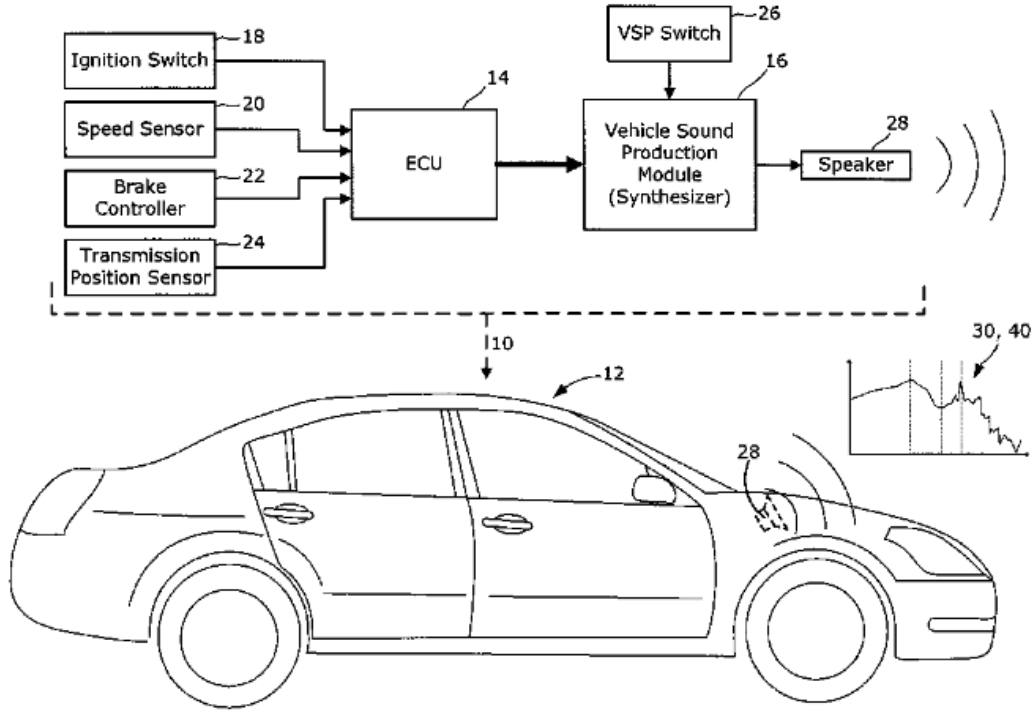
GM firmasının 2016 yılında Amerika’da tescilini almış olduğu US9271073B2 patentine konu buluş ile aracın sadece içerisinde ses üretimi tasarlanmıştır. Bu kapsamda, aracın batarya durumunu sürekli olarak takip ederek aracın yük durumunu ve pedal sensörü ile agresif ve normal sürüş modunu tespit ederek, araç içerisinde spor veya normal sürüş sesi oluşturması amaçlanmış sistem, bir AVAS ihtiva etmemekte olup, hedefi sürüş konforunu arttırmaktır. İlgili patent Avrupa genelinde değil, sadece Almanya’ya genişletilmiş olup, Türkiye’de herhangi bir koruma bulunmamaktadır. Sistem blok diyagramı Şekil 1.12.’de gösterilmiştir [19].



- 10. Elektrikli araç
- 12. İçten yanmalı motor
- 14. Elektrik motoru/jeneratörü
- 15. Aktarma birimi
- 16. Tekerlek
- 18. İnvertör ve yüksek voltaj batarya birimi
- 20. Kontrolör
- 40. Yolcu kompartımanı
- 42. Gaz pedalı
- 50. Elektronik ses arttırma/iyileştirme sistemi (ESE)
- 51. Hafıza birimini içeren ses frekans eşitlemesi yapmaya (EQ) muktedir kontrolör birimi
- 52. Kuvvetlendirici ve mikser birimi
- 54. Hoparlör

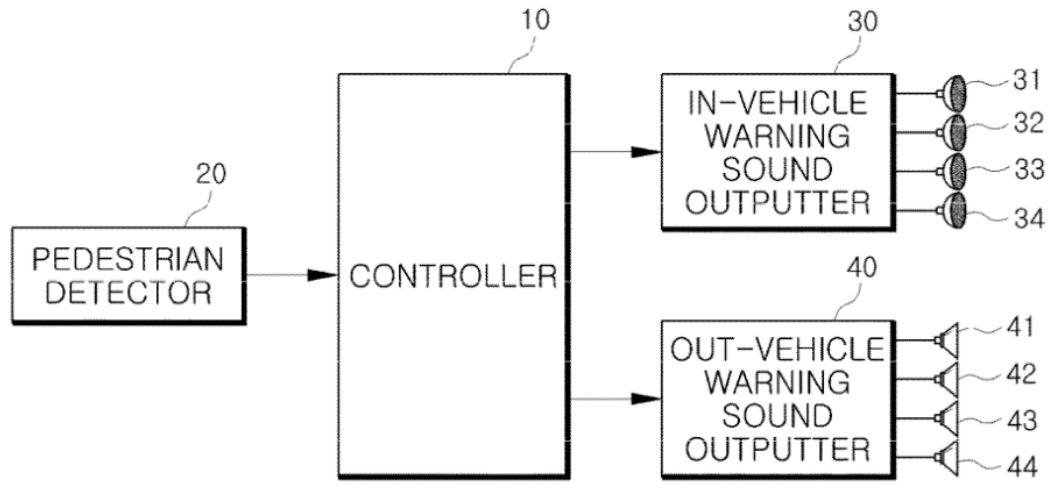
Şekil 1.12. GM firmasının US9271073B2 numaralı patentine konu buluşun sistem tasarımı [19].

Nissan firmasının 2013 yılında Amerika’da tescilini almış olduğu US8299904B2 numaralı patentine konu buluş, AVAS regülasyonu kapsamında konfigüre edilmiş bir araç ses üretim modülü, hoparlör ve bu sistemi açıp kapamaya yarayan bir aç/kapa anahtarından meydana gelmektedir. Patente konu buluş unsurlarından ses üretim modülü, Shepard Risset Glissando metodu ile ses üretildiğinden bahsetmeden, patent dokümanında üretecek sesin matematiksel modelinin anlatımı yapılmıştır. İlgili başvuru Avrupa’ya genişletilmediği için Türkiye’de herhangi bir koruması yoktur. [20]. Sistem blok diyagramı Şekil 1.13.’ de gösterilmiştir.



Şekil 1.13. Nissan firmasının US8299904B2 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [20].

Hella firmasına 2018 yılında Amerika’ da tescil almış olduğu US9994148B1 numaralı patent, diğer patentlerin yanı sıra tek başına bir ürün olarak başvurusu yapılmış bir buluştur. Patente konu buluş, araç iç ve dış kısmına yerleştirilen hoparlörler ile ilgili regülasyona uygun AVAS sesi üretimi gerçekleştirirken, bir adet yaya dedektörü adı verilen unsur ile yayaları tespit ederek, aracın içinde ve dışında lokalize edilmiş hoparlörlerden çıkacak sesin, şiddet ve yönelimini sağlamaktadır. Bu yaya dedektörü 360 derece fotoğraflama kabiliyetine sahip bir adet stereo kamera ile sağlandığı belirtilmiştir. Patent daha sonrasında Almanya’ya genişletilmiş ve Almanya’ da tescil almasına rağmen Avrupa’ ya genişletilmemiştir. Dolayısıyla Türkiye’de bir koruması yoktur [21]. Sistem blok diyagramı Şekil 1.14.’ da gösterilmiştir.



Şekil 1.14. Hella firmasının US9994148B1 numaralı patentine konu AVAS tasarımı [21].



2. OTOMOTİV REGÜLASYONLARI VE STANDARTLARI

Bu kısımda AVAS için gerekli olan otomotiv regülasyonları ve standartları incelenmiştir. AVAS'ı doğrudan kapsayan iki adet regülasyon bulunmaktadır. Bunlar UNECE'nin 2017 yılında yürürlüğe soktuğu UNECE-R138 regülasyonu ile Amerika Birleşik Devletleri NHTSA tarafından 2018 yılında yürürlüğe giren FMVSS-141 regülasyonudur. Sistem tasarlanırken ayrıca otomotiv ürünleri için kritik öneme sahip UNECE-R10 regülasyonu ile ISO-16750 ve ISO-20653 standartları da dikkate alınmıştır.

2.1. UNECE-R138 Sessiz Karayolu Taşıma Araçları Regülasyonu

AVAS'ın Avrupa da tabi olduğu regülasyon UNECE-R138'dir. İlgili regülasyon, yoldaki yayaları ve canlıları düşük sesli çalışan elektrikli ve hibrit araçların oluşturduğu tehlikeden, sesli uyarı ile korumayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda ilgili regülasyonda, AVAS'ın yayması gereken minimum ses seviyeleri, uluslararası standartlara uygun (IEC 61672:2013) ses basınç seviyesi ölçümünde kullanılan, insan kulağının duyacağı ses basınç seviyesi olan dB(A) olarak tanımlanmıştır. Ölçümlerde dB ses ölçümü geneli, dB(A) ise insan kulağının duyacağı sesleri ifade eder [22].

İlgili ölçümler AVAS araca takılıyken gerçekleştirilmelidir. Arka plan gürültüsü dB(A) olarak 10 saniye boyunca kaydedilmeli, maksimum ve minimum değerlerin arasındaki fark 2 dB(A) değerine eşit veya daha az olmalıdır.

AVAS'ın sürücü tarafından kapatılması veya değiştirilmesi mümkün olmamalıdır. Yayılan ses, belirli bir frekans aralığında olmalı ve belirli bir ses düzeyine sahip olmalıdır. Bu, yayaların sesi kolayca tanıyabilmesi ve duyabilmesi için gereklidir.

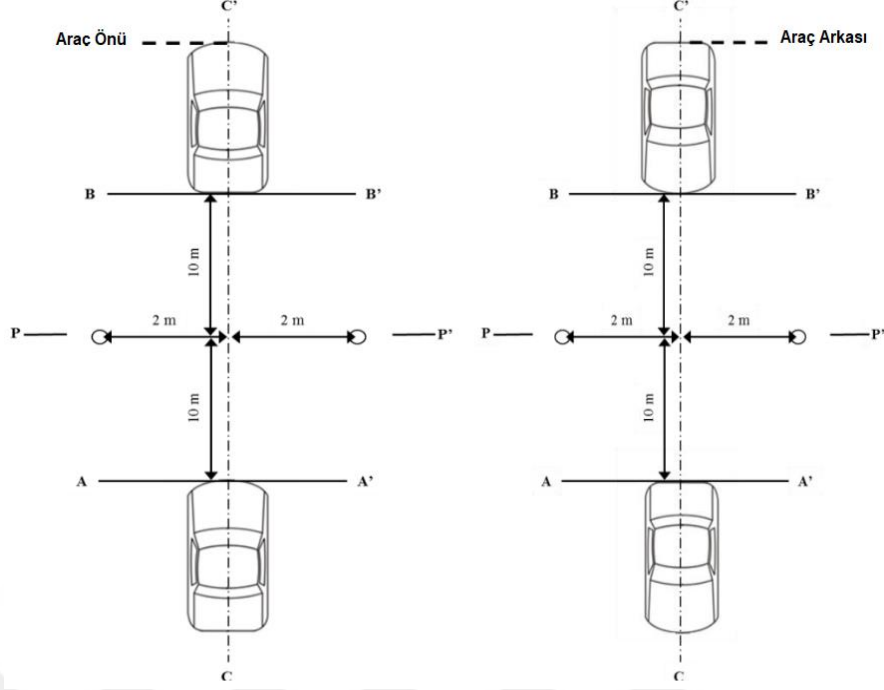
Sistem ölçümü araç hareket halindeyken veya sabitken gerçekleştirilebilir. Araç sabit kontrollü ortamda ölçülüyorsa CANBUS iletişim protokolü üzerinden araç hızı simüle edilerek ilgili ölçüm gerçekleştirilir.

Tablo 2.1'de UNECE-R138 regülasyonuna göre AVAS 'ın yayması gereken minimum ses seviyeleri verilmiştir.

Tablo 2.1. UNECE-R138 regölasyonuna göre, AVAS 'ın yayması gereken minimum ses seviyeleri [22].

Frekans (Hz)	Sabit Hız (10 km/h)	Sabit Hız (20 km/h)	Geri Vites
Toplam	50	56	47
160	45	50	
200	44	49	
250	43	48	
315	44	49	
400	45	50	
500	45	50	
630	46	51	
800	46	51	
1.000	46	51	
1.250	46	51	
1.600	44	49	
2.000	42	47	
2.500	39	44	
3.150	36	41	
4.000	34	39	
5.000	31	36	

Regölasyonun belirlediği araç ses ölçümleri gerçekleştirilirken Şekil 2.1. ve Şekil 2.2'deki gibi mikrofonlar, mikrofonların konumunu gösteren araç hareketine dik çizgi (PP') hattına, aralarında 4 metre mesafe olacak şekilde yerleştirilir ve PP' hattı araç hareketinin merkez hattı (CC')'na dik olmalıdır. Mikrofonlar yerden 1,2 metre yükseklikte ve CC' hattına dik bir şekilde yerleştirilmelidir [22].

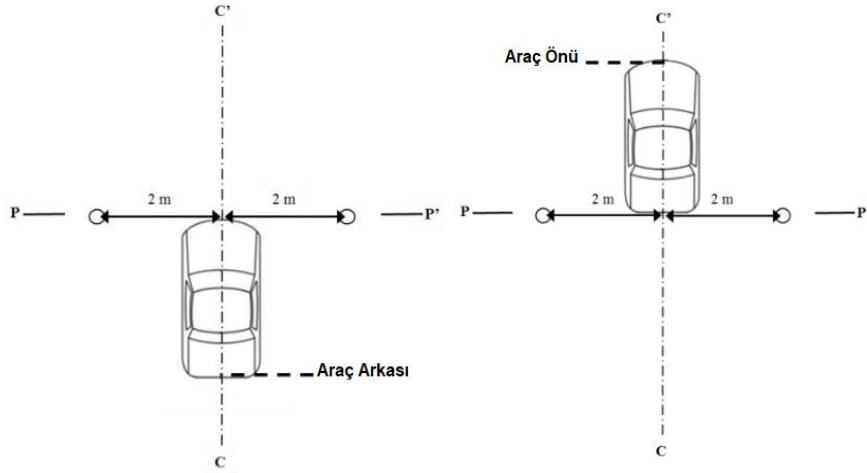


Şekil 2.1. Dış ortam ölçümü için mikrofön ve araç mesafeleri [22].

İlgili regülasyon için test metotları aşağıda listelenmiştir.

- Metot (A): Dış ortamda araç hareket halindeyken ölçümlenir.
- Metot (B) ve Metot (D): Dış ve İç ortamda araç sabitken ölçümlenir.
- Metot (C): İç ortamda araç hareket halindeyken ölçümlenir.
- Metot (E): AVAS araca monte değilken iç ortamda ölçümlenir.

Metot (A)' ya göre, ileri ve geri hareket halinde alınacak ölçümlerde araç en az 5 saniye boyunca sabit hızını koruması gerekmekte olup, 10 km/h ve 20 km/h hızlarda ayrı ayrı ölçüm alınmalıdır. Metot (B) ve Metot (D)' ye göre iç ortamda CANBUS iletişim hattı üzerinden simüle edilecek test düzeneğinde, yine araç hareketli halde istenen ölçüm kriterlerine göre ölçümlenir. Araç hareket halinde veya sabitken farklı hızlarda ölçüm alınacağı zaman 5-20 km/h hız aralığında 5 km/h aralıklarla ile ölçüm alınmalıdır.



Şekil 2.2. Kontrollü ortam ölçümü için mikrofon ve araç mesafeleri [19].

Metot (E)' ye göre AVAS, araca monte edilmeden ölçümlenmek istendiğinde, AVAS ve mikrofon aynı yükseklikte ve birbirlerine bakacak şekilde, aralarında 1 metre mesafe koyularak ölçüm alınmalıdır. İç ortam ölçümlerinde eğer yansısız oda kullanılmıyorsa yine dış ortamda yapılan ölçümlerde olduğu gibi arka plan gürültü seviyesi ölçülmelidir. Arka plan gürültüsünün maksimum ve minimum değerlerinin arasındaki fark 2 dB'den az olmadığı durumlarda, arka plan gürültüsünün ilgili frekans bantlarında ölçüm değerlerinden çıkarılması gerekir [22].

2.2. FMVSS141 Hibrit ve Elektrikli Araçlar İçin Minimum Ses Gereksinimleri Regülasyonu

FMVSS regülasyonları, NHTSA tarafından oluşturulan ve motorlu taşıtların ve bunlarla ilgili ekipmanların güvenliğini sağlayan yasalardır. "Hibrit ve Elektrikli Araçlar için Minimum Ses Gereksinimleri" olarak bilinen FMVSS141 regülasyonu, çalışan elektrikli ve hibrit araçlardaki düşük gürültü emisyonu sorununu ele almayı amaçlamaktadır.

Elektrikli ve hibrit araçlar, geleneksel içten yanmalı motorlu araçlara göre daha düşük gürültü seviyesine sahiptir. Bu özellikle elektrik motorunun öncelikli olarak devreye girdiği düşük hızlarda geçerlidir. Araç gürültüsünün düşük olması gürültü kirliliğinin azaltılmasına yardımcı olurken, karşıdan gelen araçların geçiş gürültüsünü duyulabilir hale getirmesi yaya güvenliği açısından risk oluşturmaktadır. FMVSS141 regülasyonu, elektrikli ve hibrit araçların insanlar tarafından kolayca tanınabilecek belirli sesler üretmesini zorunlu kılarak bu tehlikeyi azaltmayı amaçlamaktadır.

Regölasyon brüt araç ağırlığı 4500 kg veya daha az olan tüm elektrikli ve hibrit araçlarla ilgilidir. Buna hem binek otomobiller hem de kamyonlar ve yolculara yönelik çok amaçlı araçlar dahildir. Regölasyon, bu araçların insanların onları duyabilmesini sağlamak için üretmesi gereken minimum ses seviyelerini belirtir.

FMVSS141 regölasyonu elektrikli ve hibrit araçların üretmesi gereken sese ilişkin özel gereksinimleri açıklamaktadır. Araçlar saatte 30 km/h kadar hızlarda giderken ses çıkarmalıdır. Bu hızın üzerinde, lastik ve rüzgâr gürültüsü genellikle yayaların tanıyabileceği yeterli gürültü seviyesine sahiptir. Ses tutarlı olmalı ve araç hareket ettikçe ses düzeyi veya frekansı artmalıdır. Sesin, merkez frekansı 315 Hz ile 5000 Hz arasında olan oktavın en az üçte biri kadar olması gerekir. Bu aralığın amacı, sesin frekansının insan kulağının en kolay tanınabileceği aralıkta olmasını sağlamaktır. Araç ileri veya geri hareket ederken ses üretilmelidir. Yayaların aracın yönünü tanınmasına yardımcı olmak amacıyla hem ileri hem de geri hareket için farklı sesler üretilmelidir. Sesin, hareket edebildiği sürece araç rölantide veya sabit durumdayken de üretilmesi gerekir (örneğin, araç trafik ışıklarında durdurulduğunda ancak hareket etmeye hazır olduğunda).

Ses seviyesi, tutarlılık ve doğruluk sağlayan standart bir protokol kullanılarak ölçölür. İnsanların aracı duyabileceği mesafeyi temsil etmek amacıyla ölçümler genellikle araçtan 2 metre uzakta yapılır. Testler, dışarıdan gelen gürültünün etkilerini en aza indiren kontrollü bir ortamda yapılmalıdır. Bu genellikle yankısız bir oda veya ortamda düşük gürültü seviyesine sahip sessiz bir dış mekân kullanılarak gerçekleştirilir. Araçlar, farklı hızlarda ileri gitme, geri gitme ve rölanti dahil olmak üzere farklı durumlarda değerlendirilir ve bunların tümü, ilgili tüm durumlarda uyumluluğun sağlanmasını amaçlamaktadır. FMVSS141 regölasyonunun uygulanmasının otomobil üreticileri ve düzenleyiciler için çeşitli sakıncaları ve önlemleri vardır. Regölasyon gerekliliklerini karşılayan, aynı zamanda keyifli ve rahatsız edici olmayan bir ses yaratmak karmaşık olabilir. Üreticilerin güvenlik ile gürültü kirliliğini en aza indirme isteği arasında bir denge kurması gerekmektedir. Standardın ek özellikleri arasında yaya güvenliği iyileştirmelerinin yanı sıra çevre dostu araç teknolojilerinin daha yaygın kabul görmesine ve dahil edilmesine yardımcı olunması da yer almaktadır. Otomotiv sektörü gelişmeye devam ettikçe FMVSS141 ve UNECE-R138 gibi regölasyonların teknolojik gelişmelerin güvenlikle birleştirilmesinde önemli etkisi olacaktır [23].

2.3. UNECE-R10 Elektromanyetik Uyumluluk Regülasyonu

Otomotiv elektroniği ürünlerin tabi olduğu regülasyon UNECE-R10'dur. UNECE-R10 reg lasyonu araçların EMC açısından tanınmasına ilişkin UNECE tarafından oluşturulan kuralları ifade eder. EMC, bir aracın veya alt bileşeninin, çevrenin diğer kısımlarına kabul edilemez miktarda elektromanyetik girişime neden olmadan, kendi elektromanyetik ortamında düzgün şekilde çalışabilme özelliğidir. UNECE-R10 regülasyonunda bulunan kurallar, elektrikli ve hibrit araçlar da dahil olmak üzere binek otomobiller, otobüsler, kamyonlar, çekiciler, motosikletler ve römorklar gibi araçlardaki elektronik sistem ve cihazlara elektromanyetik girişim (EMI)'ı önlemek, bu araçları ve cihazları elektromanyetik uyumlu hale getirmek için özel olarak tasarlanmıştır. Reg lasyon belirlenen kurallara uyumu gerçekleştirmek için gerekli test ve test uygulama prosedürlerini de içermektedir. Reg lasyon içerisinde yer alan kurallar öncelikle test edilecek sistemin araç sürüş güvenliğine etkisini sorgular. Doğrudan araç sürüş güvenliğine etkili sistemler (Fren sistemi, dış aydınlatma sistemi, sesli uyarı sistemleri gibi) en zorlayıcı test sınıfına girmektedir. Doğrudan araç sürüş güvenliğine etkisi olamayan sistemler (Radyo, iç aydınlatma gibi) ise daha az zorlayıcı, bağışıklık ihtiya ı olmayan testlere tabi olmaktadır. Reg lasyonun gerektirdiği testler 4 ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar; Işıma Yoluyla Yayılım (RE), Işıma Yoluyla Bağışıklık (RI), İletim Yoluyla Yayılım (CE) ve İletim Yoluyla Bağışıklık (CI)'dır.

Reg lasyon içerisinde farklı standartlara atıflar yapılarak bu standartlardaki testler ve test uygulama prosedürleri uygulanmaktadır. Bunlar; "ISO 7637-2 – Karayolu Araçları – İletim ve Bağlantıdan Kaynaklanan Elektriksel Bozulma", "ISO 11452 – Karayolu Araçları – Dar Bant Yayılan Elektromanyetik Enerjiden Kaynaklanan Elektriksel Bozulmalar" ve "Uluslararası Radyo Paraziti  zel Komitesi (CISPR) 25 – Araçlarda Kullanılan Alıcıların Korunması İçin Radyo Bozulma  zelliklerinin  l m Sınırları ve Yöntemleri" isimli uluslararası standartlardır [24].

2.4. ISO-16750 Karayolu Araçları Elektrikli ve Elektronik Ekipmanlar İçin  evresel Koşullar ve Testler Standardı

ISO 16750 standardı potansiyel çevresel stresleri tanımlar ve araç içerisindeki veya üzerindeki sistemlerin montaj konumlarına göre çevresel testlerini ve gereksinimleri belirler. Elektronik bileşenlerin güvenliği ve performansı, kullanıldıkları tehlikeli

ortamlardan dolayı büyük önem taşıdığından, bu standart otomotiv endüstrisi için önemlidir. ISO-16750, araç bileşenlerinin kullanım ömrü boyunca karşılaşılabilecek gerçek dünyadaki koşulları oluşturmayı amaçlar. Sıcaklık, titreşim, nem ve kimyasal maddelere maruz kalma dahil olmak üzere birden fazla çevresel bileşeni ele alır ve bunların hepsinin elektronik sistemlerle arıza yaşamadan uyumlu olduğu garanti edilir. Standart, tasarım ve geliştirmeden test ve doğrulamaya kadar ekipmanın tüm yaşam döngüsünü kapsar. ISO-16750, çevresel testlerin farklı yönlerine odaklanan birçok bölümden oluşur. Beş alt başlıktan oluşan standardın birinci bölümünde; tüm bölümler için geçerli olan genel kurallar ve tanımlar verilmektedir. İşin kapsamını, referans olarak kullanılacak standartları ve uyulacak genel ilkeleri açıklamaktadır ve bunların tamamı güvenlik ve çevresel niteliktedir. Standardın ikinci bölümünde; aşırı gerilim, düşük gerilim ve kısa devreleri içeren elektriksel stres testleri ele alınmaktadır. Bileşenlerin hasara veya arızaya maruz kalmadan elektrik gücündeki değişikliklere dayanabilmesini garanti eder. Standardın üçüncü bölümünde; şok ve darbeleri içeren mekanik testler anlatılmaktadır. Yol tasarımı ve araç davranışının bir sonucu olarak bileşenlerin karşılaşılabilecek fiziksel kuvvetleri taklit eder. Standardın dördüncü bölümünde; aşırı sıcaklıklar, nem ve sıcaklıklar arasındaki döngü dahil olmak üzere iklim koşullarına odaklanmaktadır. Bileşenlerin farklı çevre koşullarında verimli çalışmasını garanti eder. Standardın beşinci ve son bölümünde ise; otomotiv sıvılarının, tuzun ve aşındırıcı diğer maddelerin etkileri de dahil olmak üzere, otomobillerle ilişkili kimyasal maddelere maruz kalma test edilmektedir [25].

2.5. ISO-20653 Koruma Dereceleri (IP Kodu) Elektrikli Ekipmanların Yabancı Cisimlere, Suya ve Erişime Karşı Korunması

ISO-20653 standardı, karayolu araçlarındaki elektrikli ekipman muhafazalarının sunduğu koruma derecesini belirler. Bu standart, toz, su ve fiziksel temas gibi çevresel tehlikelere maruz kalan araç bileşenlerinin uzun ömrünü ve güvenilirliğini sağlamak için çok önemlidir. ISO 20653 standardı, araçlardaki elektrikli ekipman gövdelerinin koruyucu etkilerini değerlendirmek ve kategorize etmek için tutarlı, doğru bir yöntem oluşturmaya çalışır. Standardın temel hedefleri şunlardır; elektrikli ekipmanların kirlenme derecesini (toz, su veya tehlikeli parçalarla temas) sınıflandıran evrensel bir sistem oluşturmak. Elektrikli bileşenlerin belirli bir ortamda çalıştırıldığında uzun ömürlü olmasını sağlamak. Elektrikli ekipman gövdelerinin güvenlik seviyelerine ilişkin olarak üreticiler, tedarikçiler ve müşteriler arasında kolay iletişim kurmayı

sağlamak. Bu proje kapsamında AVAS ürünü araç dış kısmına montajlanıp basınçlı suya maruz kalacağı için ISO-20653 standardı içerisinde bulunan IP69K sınıfına tabii olmuştur [26].



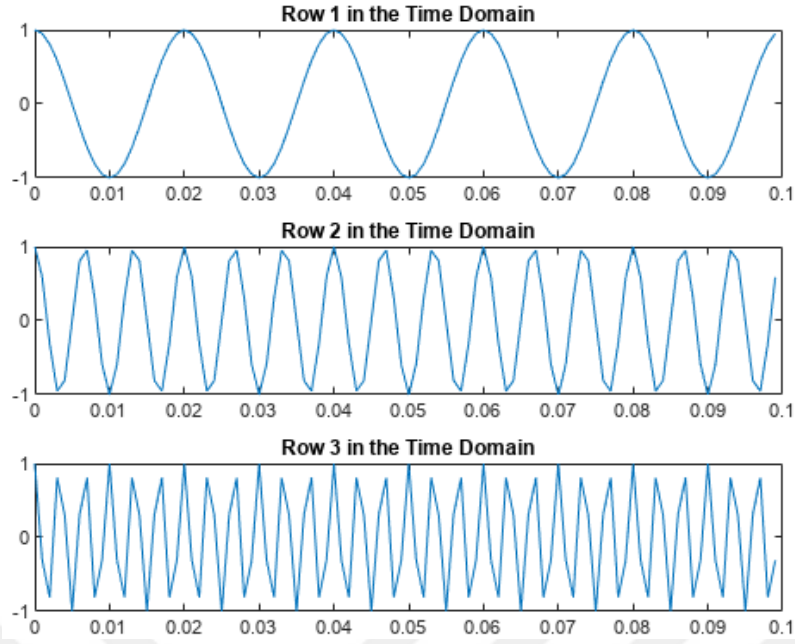
3. AKUSTİK SİSTEM VE TASARIMI

Bu kısımda AVAS içerisinde kullanılan akustik sistem ve tasarım çalışmaları anlatılmıştır. Bu kapsamda öncelikle UNECE-R138 regülasyonun gerekliliklerini yerine getirmek amacıyla içten yanmalı motor sesleri analiz edilmiş sonrasında regülasyona uyum sağlayacak sentetik ses tasarımı gerçekleştirilmiştir.

3.1. Materyal ve Yöntem

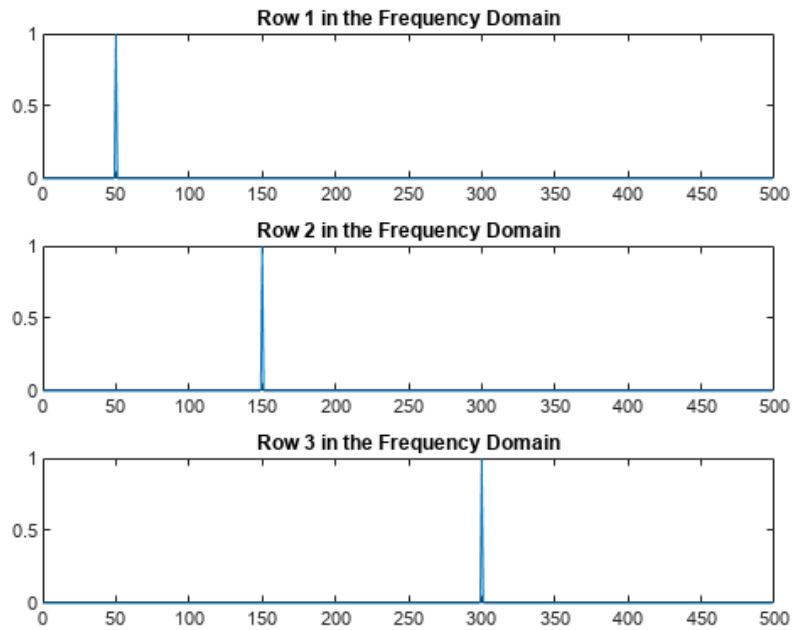
Ses sinyalini analiz etmeye yönelik yaklaşım, analizin amacına ve özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Genel olarak, zaman düzlemi ve frekans düzlemi analizleri, kullanımı en basit iki yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemler geniş uygulama alanına sahip ve çoğu zaman birçok durum için yeterli bilgi sağlar. Zaman düzlemi analizi, ses sinyallerinin temel özelliklerinin hızlı bir şekilde anlaşılmasına yardımcı olurken, frekans düzlemi analizi, farklı frekanslardaki sinyal bileşenleri hakkında ayrıntılar verir [28,29]

Zaman düzlemi analizi, ses sinyalinin zaman içerisindeki değişimini inceler. Bu yöntem, temel analizler için kolay ve basittir. Sinyalin genlik, tepe noktası ve süresi gibi temel verilerini anlamak için kullanılır [29]. Şekil 3.1 de zaman düzleminde farklı periyotlara sahip örnek sinyaller verilmiştir.



Şekil 3.1. Zaman düzlemi sinyal örnekleri [30].

Frekans düzlemi analizi ise sinyalin frekans bileşenlerini analiz etmek için kullanılır. Frekans düzleminde ses sinyallerini analiz etmek için Klasik Fourier Dönüşümü (FT), Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT), Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (STFT), Wavelet Dönüşümü, Mel-Frekans Cepstral Katsayıları (MFCC) ve Cepstrum Analizi gibi çeşitli yöntemler vardır [31]. Şekil 3.2 de frekans düzleminde farklı frekanslara sahip örnek sinyaller verilmiştir.



Şekil 3.2. Frekans düzlemi sinyal örnekleri [30].

Bu yöntemler arasından FFT, ses sinyali analizlerinde en iyi ve en çok kullanılan yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu tercihin nedeni FFT'nin sahip olduğu yüksek hesaplama hızıdır. Çoğu ses işleme yazılımı ve programlama dili halihazırda önceden oluşturulmuş FFT fonksiyonlarıyla donatılmıştır. Böylelikle FFT kullanımı yaygın ve kolaydır [32].

Bu çalışmada çeşitli ses sinyalleri için FFT yöntemi kullanılmış ve UNECE-R138 regülasyonunda belirtilen frekanslar için 1/3 oktav bantlarına göre karşılaştırmalar yapılmıştır.

3.1.1. Hızlı Fourier dönüşümü (FFT)

FFT, bir sinyalin Ayırık Fourier Dönüşümü (DFT)'yi veya bunun tersini hesaplamak için kullanılan, bir dizi üzerinde çalışarak sinyal analizi ve işlemede uygulama alanı bulan yüksek verimli bir yöntemdir. FFT'nin evrimi Carl Friedrich Gauss'un katkılarına dayanmaktadır. Gauss, Fourier serisine dayalı bu dönüşüm fikrinin temellerini 1805 yılında atmıştır. Kendi dönemindeki hesaplama darboğazlarını aşmak için bu yaklaşımı geliştirmiştir.

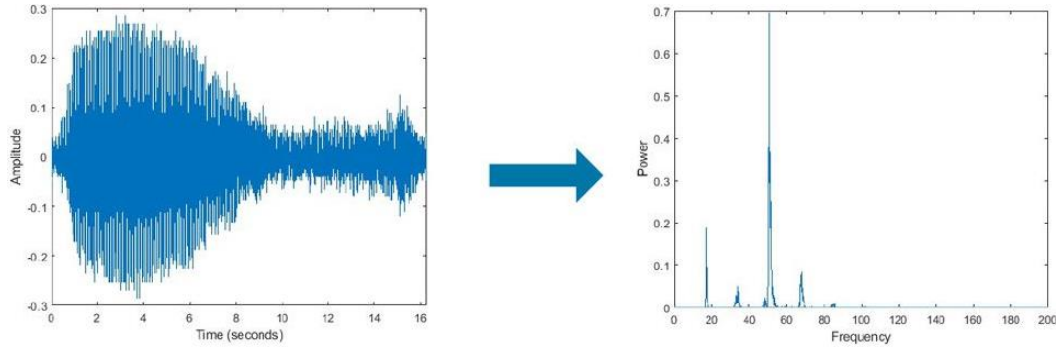
Periyodik bir sinyal, Fourier serileri aracılığıyla sonsuz sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının toplamı olarak ifade edilebilir. Sinyalin frekans dönüşümü ise bu serileri kullanarak Klasik Fourier Dönüşümü ile gerçekleştirilir. Sinyalin periyodik olmadığı, kesikli ve sonlu olduğu dijital sinyal işleme uygulamalarında DFT kullanılır. DFT'de ayırık veri dizileri çeşitli frekans elemanlarına bölünmüştür. Bu işlemin çok pratik uygulaması olsa da, DFT'yi doğrudan formüller aracılığıyla hesaplamak hızlı ve uygulanabilir değildir. Bu sebeple DFT hesaplamasında FFT algoritmaları kullanılır [33]. 1994 yılında matematikçi Gilbert Strang, FFT'den insan hayatında yer bulacak en önemli sayısal algoritmalarından biri olarak bahsetmiştir [34].

FFT'nin temelini oluşturan DFT fonksiyonu denklem 3.1 ile tanımlanır.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3.1)$$

Formül 3.1 ile $x[n]$ zaman düzlemindeki sinyalin $X[k]$ frekans düzlemindeki bileşenleri hesaplanır [35]. FFT, DFT'yi hesaplamak için böl ve fethet yaklaşımını benimser. Bu yöntem, problemin daha küçük alt problemlere bölünerek çözülmesini sağlar. Özellikle Cooley-Tukey algoritması, en sık kullanılan FFT algoritmalarından biridir.

ve bu yaklaşımı kullanır. Şekil 3.3’de zaman düzleminde, frekans düzlemine FFT kullanılarak dönüştürülmüş bir sinyal örneği verilmiştir.



Şekil 3.3. Zaman düzleminde frekans düzlemine geçiş [32].

3.1.2. Oktav bantları

İnsan işitme algısı, sesi logaritmik ölçekte algılar. Oktav bantları, ses sinyallerini logaritmik olarak farklı bant genişliklerine bölmek için bir yöntemdir. Bu yöntem, ses sinyallerini belirli frekans bantlarına ayırarak analiz etmeyi ve işlemeyi kolaylaştırır. Oktav bantlarının 1 Oktav, 1/2 Oktav, 1/3 Oktav, 1/6 Oktav, 1/12 Oktav gibi çeşitleri vardır.

1/3 oktav bantları, insan işitmesinin kritik bant genişliğine tam olarak karşılık gelir. 1/6 veya 1/12 oktav bantları gibi aşırı ayrıntıya girmeden, 1 veya 1/2 oktav bantlarından daha yüksek frekans çözünürlüğü sağlayarak ayrıntı ve yönetilebilirlik arasında iyi bir denge sunar. Bu durum 1/3 oktav bantlarını hem genel hem de ayrıntılı akustik analiz için uygun hale getirir. 1/3 oktav bantları, gürültü sorunlarını tanımlamak için yeterli ayrıntıyı sağlarken veri hacmi ve analiz karmaşıklığı açısından yönetilebilir olduğu için oda akustiği ve ses mühendisliğinde yaygın olarak kullanılır. ISO ve Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI) gibi birçok uluslararası standart ve düzenleme, gürültü ölçümü ve analizi için 1/3 oktav bantlarını kullanır. Bu standardizasyon, farklı çalışmalar ve uygulamalar arasında tutarlı ve karşılaştırılabilir ölçümleri kolaylaştırır [37, 38].

20 Hz - 20 kHz insan işitme aralığındaki frekans değerleri 1/3 oktav bantlarından yaklaşık 31 bant ile ifade edilir [38]. 1/3 oktav bantlarının referans frekansı (f_0) genel olarak akustikte kabul edilen 1000 Hz 'dir. 1000 Hz başlangıç referansı olarak kabul edilerek 1/3 oktav bantlarının diğer merkezi frekansları denklem 3.1 kullanılarak hesaplanır.

$$f_c(n) = f_0 \cdot 2^{n/3} \quad (3.2)$$

Elde edilen merkezi frekanslardan küsuratlı olanları kullanmamak için “ISO-3:1973 Standart Sayı Serileri” standardı kullanılarak merkezi frekans değerleri tercih edilen değerler adı altında aşağıya veya yukarıya yuvarlanır. Alt ve üst sınır frekans hesabı tercih edilen değerle değil, küsuratlı merkez frekans değeriyle yapılır [39].

Merkezi frekansı belirlenen bantların üst ve alt sınır frekansları sırasıyla denklem 3.2 ve denklem 3.3 kullanılarak hesaplanır.

$$f_u(n) = f_c(n) \cdot 2^{1/6} \quad (3.3)$$

$$f_l(n) = f_c(n) / 2^{1/6} \quad (3.4)$$

Bir insan işitme sistemi, duyma eşiği olarak en çok 1 - 4 kHz frekansları arasındaki seslere duyarlıdır [29]. Üretilmesi planlanan sesin bu aralıkta olması önem arz etmektedir. UNECE-R138 regülasyonu 1/3 oktav bantları arasından en uyarıcı etkiye sahip 16 bandı referans almıştır. Tablo 2.1’de denklem 3.2 ve denklem 3.3 kullanılarak hesaplanmış, UNECE-R138 regülasyonun referans aldığı 1/3 oktav bantlarının merkez ve sınır frekanslarını gösterilmektedir.

Tablo 3.1. UNECE-R138 regülasyonunda kullanılan 1/3 oktav bantları ve frekans değerleri.

Bant (n)	f_c – Merkez Frekans (Hz)	Tercih Edilen Merkez Frekans (Hz)	f_l – Alt Sınır Frekans (Hz)	f_u – Üst Sınır Frekans (Hz)
-8	158	160	140	177
-7	198	200	177	223
-6	250	250	223	281
-5	315	315	281	354
-4	397	400	354	445
-3	500	500	445	561
-2	630	630	561	707
-1	794	800	707	891
0	1000	1000	891	1123
1	1260	1250	1123	1414

Tablo 3.1. (Devamı) UNECE-R138 regülasyonunda kullanılan 1/3 oktav bantları ve frekans değerleri.

Bant (n)	f_c – Merkez Frekans (Hz)	Tercih Edilen Merkez Frekans (Hz)	f_l – Alt Sınır Frekans (Hz)	f_u – Üst Sınır Frekans (Hz)
2	1588	1600	1414	1782
3	2000	2000	1782	2245
4	2520	2500	2245	2829
5	3175	3150	2829	3564
6	4000	4000	3564	4490
7	5040	5000	4490	5657

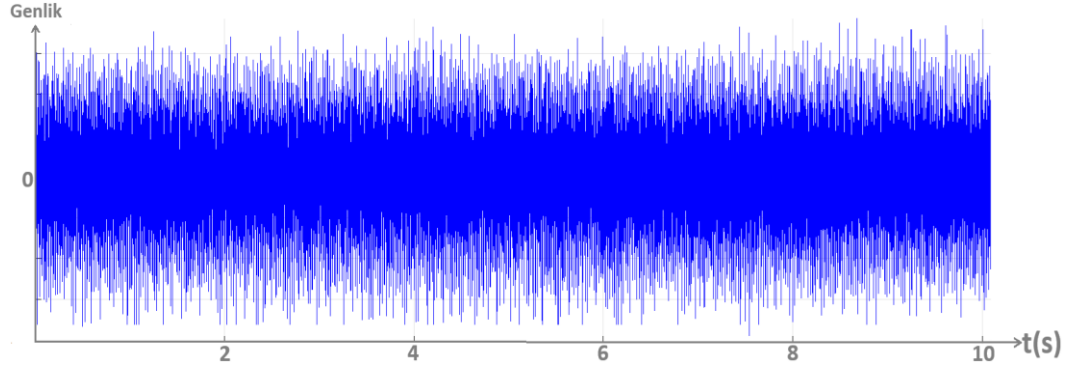
3.2. Ses Sinyali Analizi ve Tasarımı

AVAS sesi bahse konu olduğunda, çoğunlukla motor sesi dışında, insan kulağının en hassas olduğu frekans aralıklarında, değişken ve uyarıcı geniş frekanslı ve sürekli değişken bir elektronik ses tarif edilmektedir[40].

Ses tasarımı için belirli frekans bileşenlerinin incelenebilmesi için, öncelikle benzinli Fiat 1.4 Fire 95 HP ve dizel Renault 1.5 dCi 108 HP olmak üzere iki farklı içten yanmalı motor sesini, sahada, motorlar rölantide çalışırken, aracın motor kaputu kapalı ve mikrofon doğrudan motorun üzerinde olacak şekilde 44.100 Hz örnekleme frekansı ile, ses kayıtları yapılmıştır. İlgili ses kayıtlarının frekans karakteristikleri analiz edileceğinden dolayı genlikleri ihmal edilmiştir. Ses kayıtları UNECE-R138 regülasyonun gerektirdiği süre olan minimum 10 saniye olarak yapılmıştır. Ses sinyallerinin analizinde Sigview analiz programı kullanılmıştır.

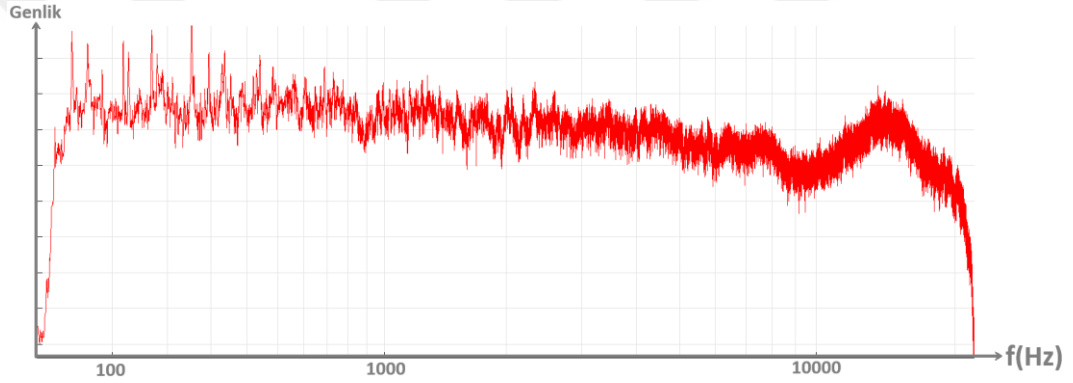
Yapılan analizlerde 4.096 nokta FFT uygulanmış ve her bir frekans aralığı 10,76 Hz olarak grafiğe dökülmüştür.

Benzinli Fiat 1.4 Fire 95 HP motorun 10 saniyelik ses kaydının zaman düzlemi grafiği Şekil 3.4.'de verilmiştir.



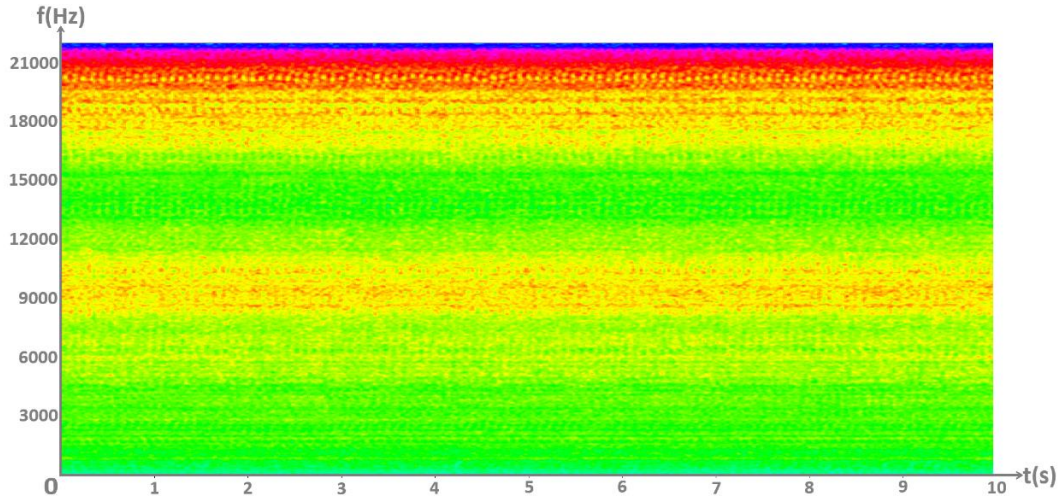
Şekil 3.4. Fiat 1.4 Fire 95 HP motor ses kaydının zaman düzlemi grafiği.

FFT uygulaması ile elde edilmiş frekans düzlemi grafiği Şekil 3.5.'te verilmiştir. Frekans düzlemi grafiği incelendiğinde ölçülen motor sesinin geniş bantlı olduğu ve regülasyon isterlerinin dışında kalan ses frekanslarına da sahip olduğu tespit edilmiştir.



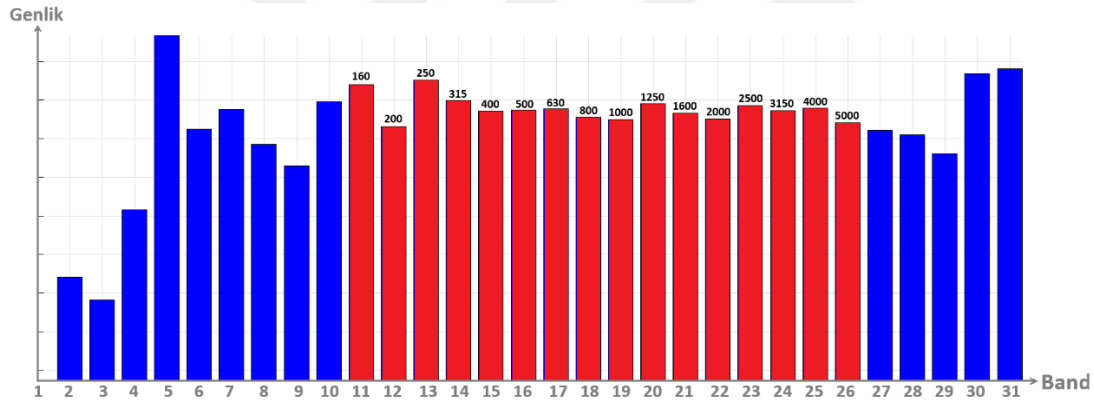
Şekil 3.5. Fiat 1.4 Fire 95 HP motor ses kaydının frekans düzlemi grafiği.

Şekil 3.6'da frekans düzlemi değerlerinin daha anlaşılır olması için spektrogram grafiği verilmiştir. Spektrogram grafiğinde de görüleceği üzere kaydedilen motor sesi zamana bağlı çok fazla değişkenlik göstermeyip insan işitme frekans aralığı olan 20 Hz-20 kHz aralığında ses frekanslarına sahiptir. Spektrogramlar ton, doygunluk, parlaklık (HSV) renk paleti ile renklendirilmiştir.



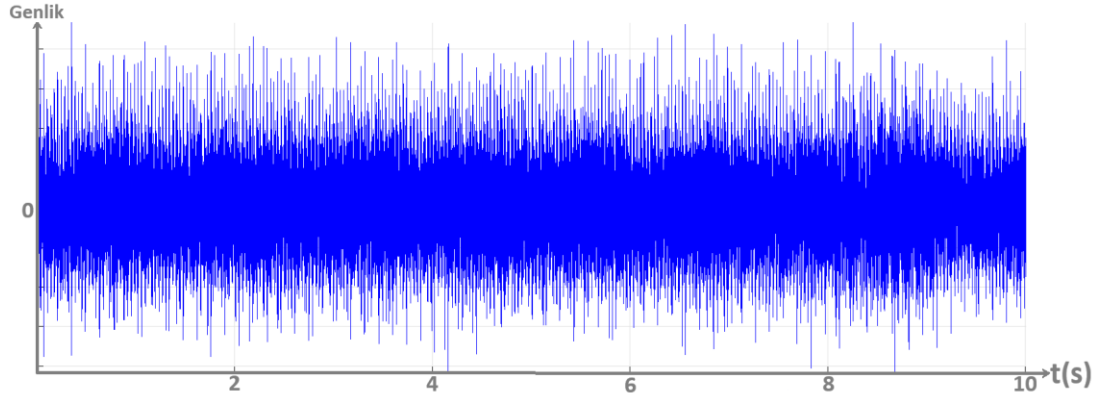
Şekil 3.6. Fiat 1.4 Fire 95 HP motor ses kaydının spektrogram grafiği.

Ses kaydını 1/3 oktav bantları ile filtrelediğimizde Şekil 3.7.'de kırmızı işaretli bantlar regülasyon kapsamında kontrol edilen 16 bandı göstermektedir. Kaydedilen ilk motor sesi regülasyonda istenilen frekans bantlarını içermektedir.



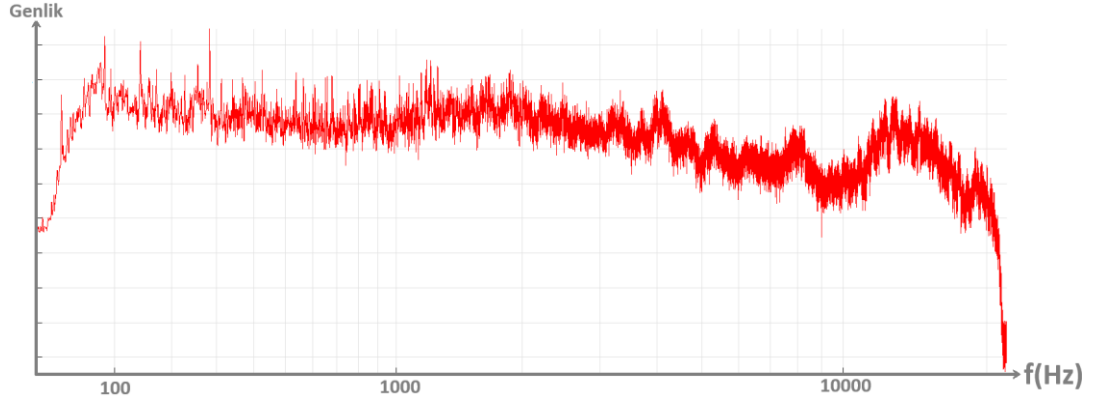
Şekil 3.7. Fiat 1.4 Fire 95 HP motor ses kaydının 1/3 oktav bantları grafiği

İkinci aracın dizel Renault 1.5 dCi 108 HP motorunun 10 saniyelik ses kaydı aynı parametrelerle yapılmıştır. Ses kaydının zaman düzlemi grafiği Şekil 3.8.'de verilmiştir.



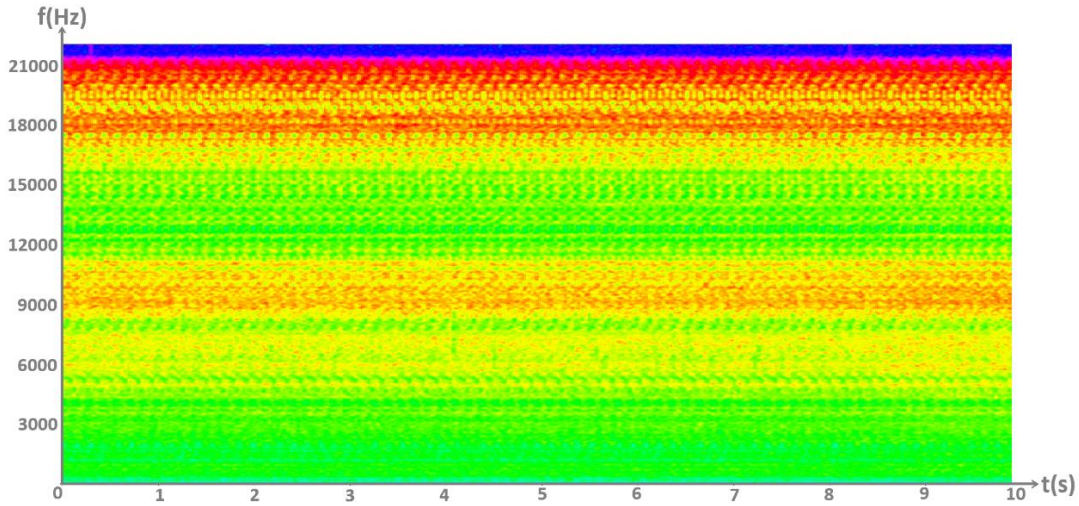
Şekil 3.8. Renault 1.5 dCi 108 HP motor ses kaydının zaman düzlemi grafiği.

Şekil 3.9’de gösterilen frekans düzlemi grafiği göre ölçülen motor sesinin bir önceki ses kaydı ile benzer, geniş bantlı ve regülasyon isterlerinin dışında da ses frekanslarına sahip olduğu tespit edilmiştir.

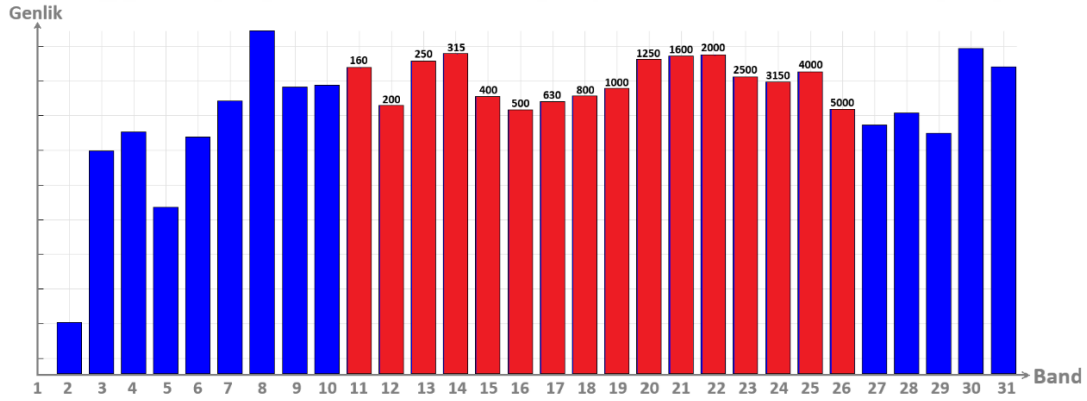


Şekil 3.9. Renault 1.5 dCi 108 HP motor ses kaydının frekans düzlemi grafiği.

Şekil 3.10’te gösterilen spektrogram grafiği ve Şekil 3.11 de gösterilen 1/3 oktav bantlar grafiğini incelediğimizde de benzer sonuçları görmekteyiz. Spektrogramdan da görüleceği üzere kaydedilen dizel motor sesi, benzinli motor sesi gibi zamana bağlı çok fazla değişkenlik göstermeyip insan işitme frekans aralığı olan 20 Hz-20 kHz aralığında ses frekanslarına sahiptir. FFT dönüşümlerine göre benzer ses karakteristiklerine sahip olduğu belirlenmiştir.



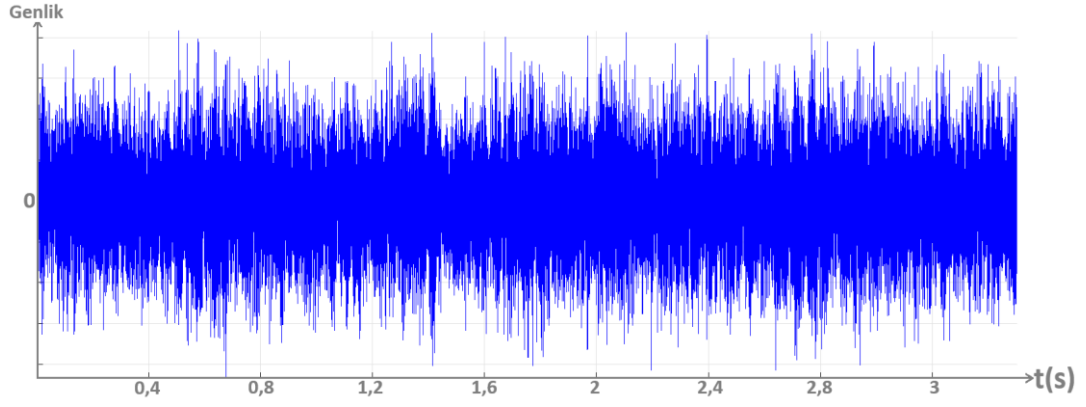
Şekil 3.10. Renault 1.5 dCi 108 HP motor ses kaydının spektrogram grafiği.



Şekil 3.11. Renault 1.5 dCi 108 HP motor ses kaydının 1/3 oktav bantları grafiği

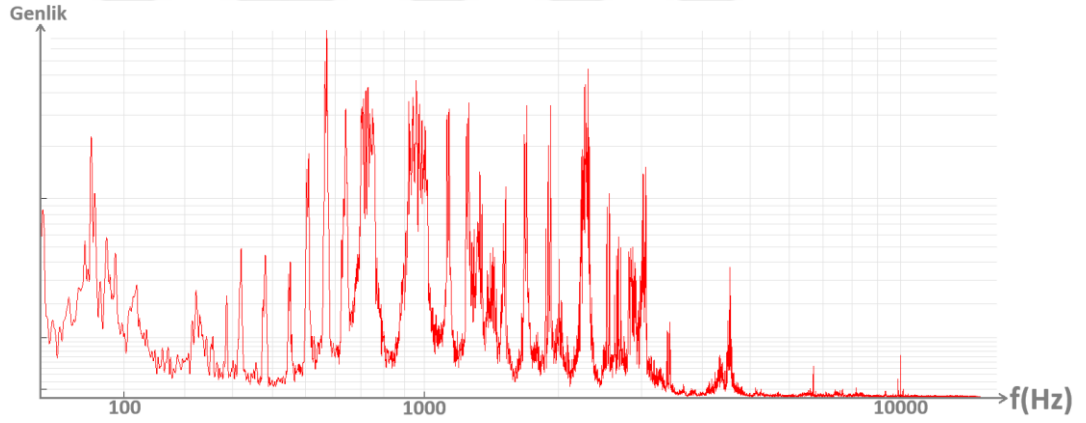
İki farklı araçta yapılan çalışmalar sanal motor sesi analizi ve üretimi için yapılmıştır. Aynı zamanda ticari ürünlerin ve AVAS geliştirme kitlerinin de ses karakteristikleri de incelenmiştir.

Bu kapsamda Nissan firmasının Leaf Canto aracında kullanmış olduğu AVAS sesi, halka açık platformlardan temin edilmiş ve yine Sigview yazılımıyla frekans bileşenlerinin incelenebilmesi için analiz edilmiştir. İlgili ses sinyalinin zaman düzlemi grafiği Şekil 3.12.'de gösterilmiştir. Halka açık platformdan temin edilen örnek AVAS sesi yaklaşık 3 saniye uzunluğundadır.



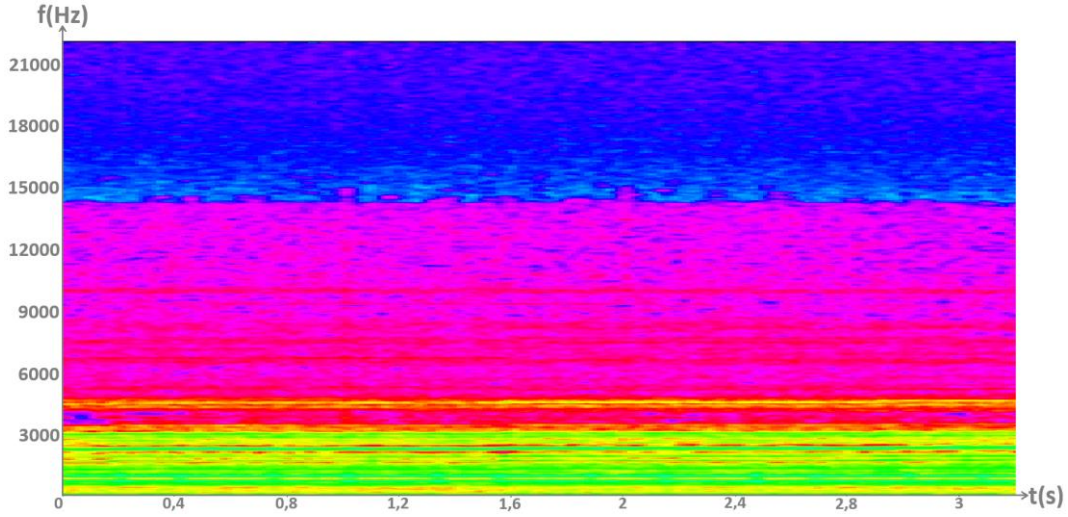
Şekil 3.12. Nissan Leaf Canto aracının AVAS sesinin zaman düzlemi grafiği.

Şekil 3.13.'de gösterilen frekans düzlemi grafiği incelendiğinde gerçek zamanlı ses kaydı alınan motor seslerine göre, halka açık platformdan temin edilen örnek AVAS sesinin regülasyonun gerektirdiği frekanslarda daha baskın olduğu ve bant genişliğinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

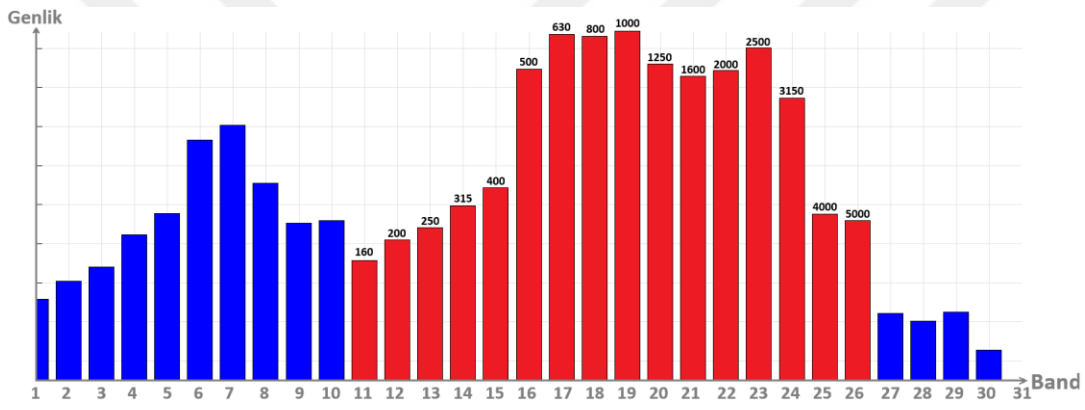


Şekil 3.13. Nissan Leaf Canto aracının AVAS sesinin frekans düzlemi grafiği.

Halka açık platformdan temin edilen Nissan Leaf Canto aracının AVAS sesinin Şekil 3.14.'de ve Şekil 3.15.'de gösterilen grafikleri incelediğinde de öncelikle regülasyonun frekans gerekliliklerini yerine getirdiği, regülasyon dışındaki alt ve üst bantlardaki frekanslarda düşük güce sahip olduğu tespit edilmiştir. Baskın frekanslar, özellikle 500 Hz – 3150 Hz aralığında görülmektedir.

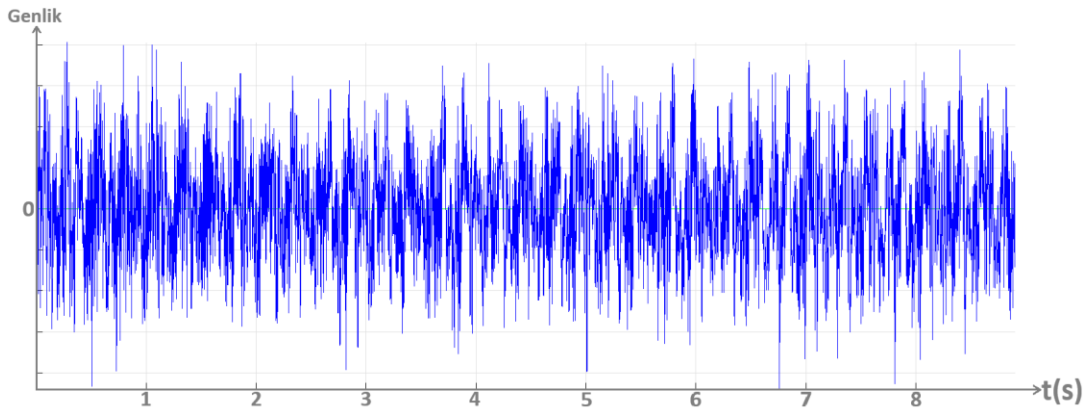


Şekil 3.14. Nissan Leaf Canto aracının AVAS sesinin spektrogram grafiği.



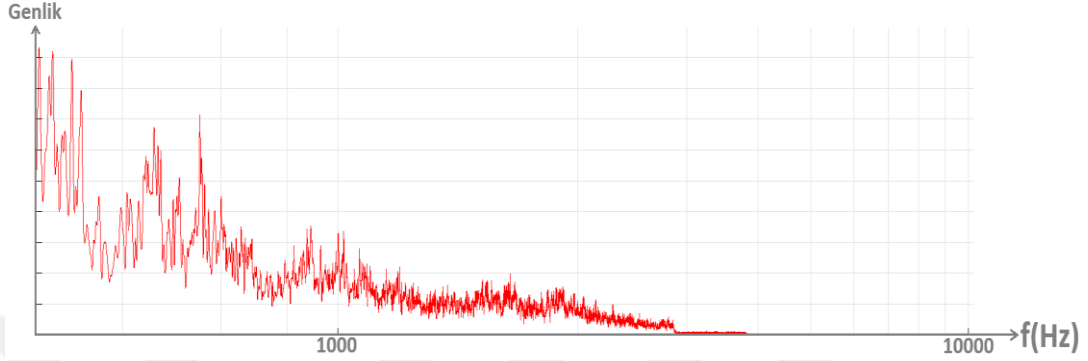
Şekil 3.15. Nissan Leaf Canto aracının AVAS sesinin 1/3 oktav bantları grafiği.

AVAS donanımını tasarlamak için yapılan piyasa araştırmalarında STMicroelectronics firmasının geliştirme kiti ve örnek AVAS sesine ulaşılmıştır. Şekil 3.16.'da geliştirme kitinde bulunan örnek AVAS sesinin zaman düzlemi grafiği gösterilmiştir.



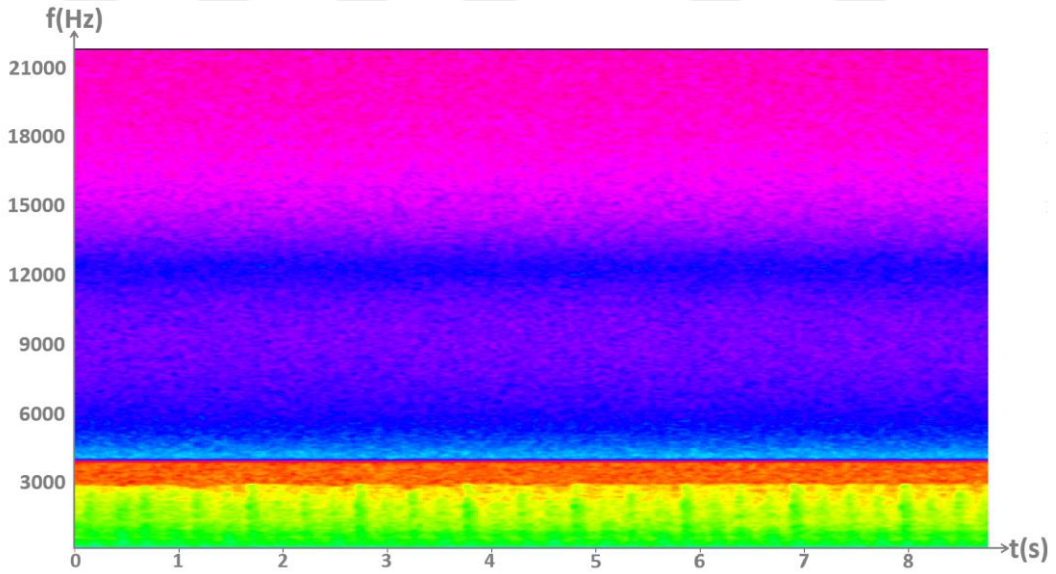
Şekil 3.16. Geliştirme kiti içerisindeki AVAS sesinin zaman düzlemi grafiği.

Geliştirme kiti içerisinde yer alan örnek AVAS sesinin Şekil 3.17.'de gösterilen frekans grafiği, Şekil 3.18.'de gösterilen spektrogramı ve Şekil 3.19.'de gösterilen 1/3 oktav bantları grafiği incelediğinde, Nissan Leaf Canto aracının AVAS sesine benzer frekans karakteristiğine sahip olduğu, farklı olarak alt bantlarda daha güçlü frekanslara sahip olduğu tespit edilmiştir.

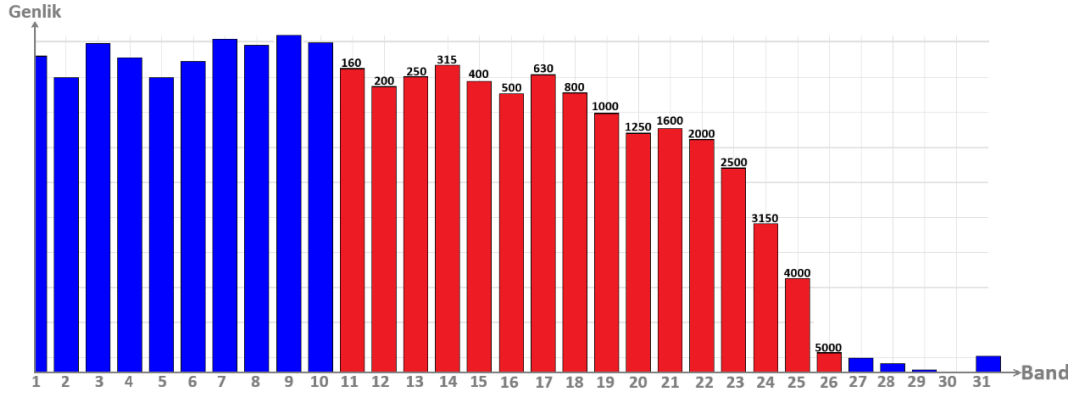


Şekil 3.17. Geliştirme kiti içerisindeki AVAS sesinin frekans düzlemi grafiği.

Yapılan incelemeler, halka açık platformlardan elde edilen Nissan Leaf Canto aracının AVAS sesinin daha tiz, geliştirme kiti içerisinde yer alan örnek AVAS sesinin ise daha pes olduğunu göstermektedir. İnsan kulağı ile işitildiğinde de bu fark anlaşılmaktadır.



Şekil 3.18. Geliştirme kiti içerisindeki AVAS sesinin spektrogram grafiği.



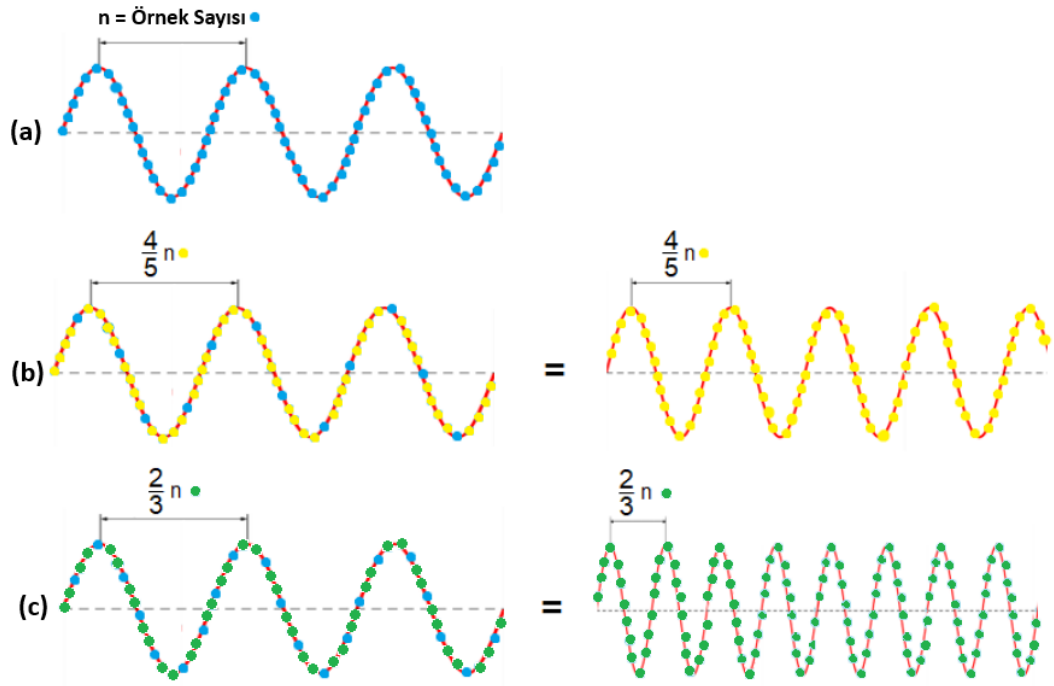
Şekil 3.19. Geliştirme kiti içerisindeki AVAS sesinin 1/3 oktav bantları grafiği.

Şekil 3.19.'de gösterilen spektrogramda 4 kHz üzerinde çok düşük seviyede sinyal bileşenlerinin olduğu tespit edilmiştir. Bu sebepten dolayı, STMicroelectronics firmasının geliştirme kitinde kullanmış olduğu ses kaydının, sanal bir ses üretimi veya tam yansımaz bir odada sadece motor ve motorun temel bileşenlerinin olduğu bir ortamda alınan bir kayıt olduğu değerlendirilmektedir.

Gerçekleştirilen ses analizleri sonrası karakteristik AVAS sesinin regülasyonun belirlediği frekans bantlarında baskın olmasının yeterli olduğu, böylelikle bu frekanslarda baskın herhangi bir sesin AVAS için kullanılabileceği tespit edilmiştir. Son kullanıcı özel isteği ile talep edilen seslerin regülasyona uyumluluğunun kontrolü sonrası gerekli görülmesi durumunda ilgili frekanslarda güç kazancını arttırarak müşteri özel isteğine olumlu cevap verilebileceği anlaşılmıştır.

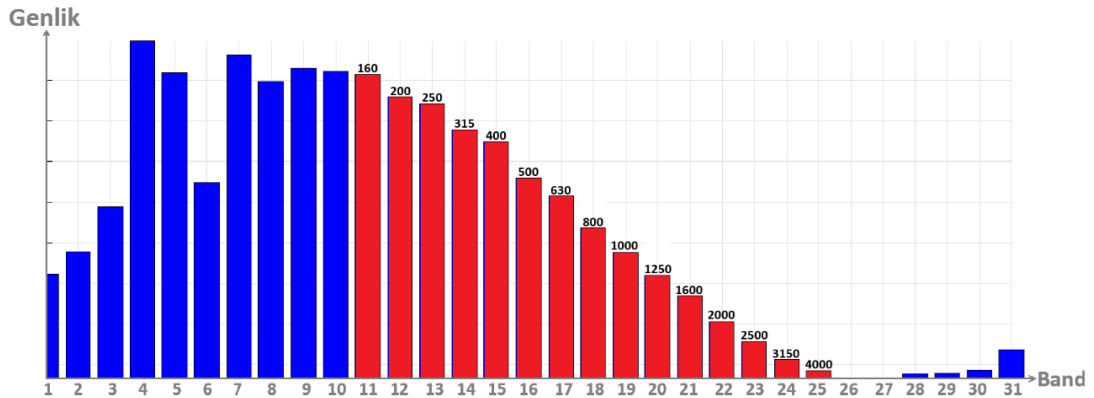
UNECE-R138 regülasyonun zorunlu kıldığı durumlardan birisi de yayaların araç sürat değişimini fark edebilmeleri için gerekli olan frekans kaydırma yöntemidir. Bu yöntemi uygulamak için yapılan araştırmalarda frekans modülasyonu ile frekans kaydırma gerekliliklerinin gerçekleştirileceği belirlenmiştir.

Önerilen sistemde hıza bağlı ses değişimini ayarlamak amacıyla Şekil 3.20.'de gösterilen işlem uygulanmaktadır. Bu işlemde şekilden de görüldüğü gibi zamanda seyreltme yapılmaktadır. Şekil 3.20. (a)'da bir saniyelik periyotta alınan örnek sayısı n ile gösterilmektedir. Şekil 3.20. (b) ve (c) 'de ise araç hızının artması durumunda örnek sayısı sırasıyla $\frac{4}{5}n$ ve $\frac{2}{3}n$ değerlerine indirgenmektedir. Bu sayede yine bir saniyelik periyotta sesin tekrar sayısı arttığından sıklık artmaktadır. Bu mantıkla hıza bağlı ses değişimi sağlanmaktadır.



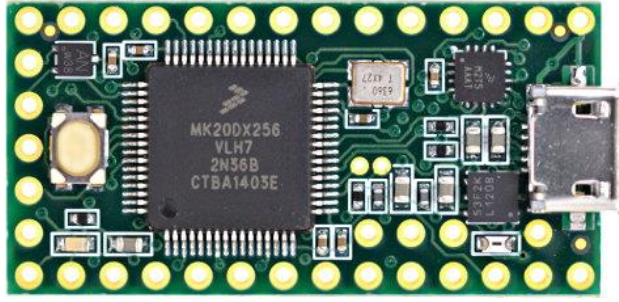
Şekil 3.20. AVAS da uygulanan frekans kaydırma işlemi [41].

Çeşitli ses analizleri sonrası UNECE-R138 regülasyonunda yer alan ses seviyelerini ve frekans kaydırma değerlerini sağlayabilmek için açık kaynaklı Supercollider programlama dili ve arayüz programı ile Şekil 3.21.'de gösterilen 1/3 oktav bantlarında sentetik ses üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.21. Supercollider ile üretilen sesin 1/3 oktav bantları grafiği

Supercollider programı ile oluşturulan sanal motor sesi üretimi bilgisayar işlemcisini kullanmaktadır. Benzer bir algoritmanın mikrodenetleyici mimarisinde de koşturulabilmek için NXP firmasının MK20DX256VLH7 kodlu ARM Cortex M4 mimarisine sahip bir mikrodenetleyicinin olduğu Şekil 3.22. de gösterilen Teensy 3.2 geliştirme kiti kullanılmıştır.

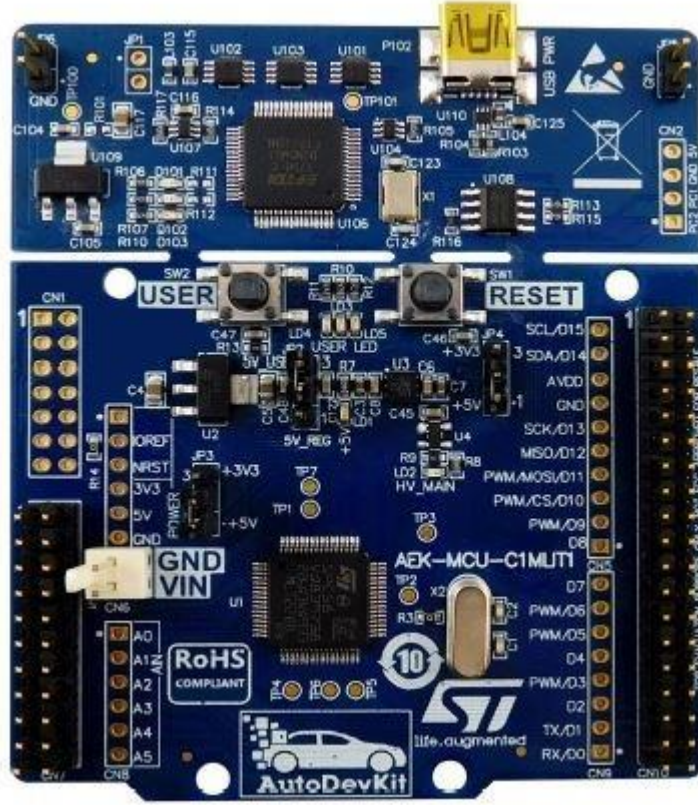


Şekil 3.22. Teensy 3.2 geliştirme kiti [42].

Teensy platformu için hazırlanmış özel bir ses kütüphanesi sayesinde online platform üzerinden blok tabanlı ses tasarımı yapılarak, daha sonrasında ilgili bloklar C dilinde yazılan kod ile bahse konu kütüphane kullanılarak sanal motor sesi sentezlenmiştir. Bu çalışmanın amacı mikrodnetleyici platformlarında sanal motor sesinin üretilip üretilmeyeceğinin deneyimlenmesi amaçlanmıştır.

İlgili ses çıkışı I2S dijital ses çıkış formatında olup NXP firmasının SGTL5000 kodlu düşük güç tüketimli stereo ses çözücüsü kullanılmıştır. Bu kapsamda mikrodnetleyici platformlarında sanal motor sesi üretiminin yapılabileceği görülmüştür. Fakat NXP firmasının MK20 seviyesi mikrodnetleyicisinde ASIL olmadığından ve SGTL5000 kodlu stereo çözücüsü yine Otomotiv Elektronik Konseyi (AEC) AEC-Q100 seviyesi otomobil endüstri standartlarını karşılamadığı için tercih edilmemiştir.

Proje kapsamında kullanılması gereken mikrodnetleyici ASIL olması gerektiği düşünüldüğü için bu standartlarda olan ve ses analizlerinde bahsi geçen STMicroelectronics firmasının üretmekte olduğu 32 bitlik bir mikrodnetleyici ailesi incelenmiştir ve proje kapsamında SPC582 serisi mikrodnetleyici ailesinin Şekil 3.23.'de gösterilen AEK-MCU-C1MLIT1 kodlu geliştirme kiti ve yine STMicroelectronics firmasının üretmekte olduğu, AEC-Q100 seviyesi otomobil endüstri standartlarına uygun FDA903 kodlu Class-D ses kuvvetlendiricisinin olduğu AEK-AUD-D903V1 kodlu geliştirme kartı incelenmiştir.



Şekil 3.23. AEK-MCU-C1MLIT1 geliştirme kiti [41].

İlgili sistem isterlerini bu mikrodeneleyici mimarisi ve Class-D ses kuvvetlendirici entegresi sağladığı için, ilgili testler sonrasında tasarım aşamasına bu bileşenlerle geçilmesine karar verilmiştir. Bahse konu geliştirme kiti sanal araç sesi üretmekten çok, gömülü yazılım aşamasında daha önceden ilgili kriterlerde hazırlanmış bir araç ses dosyasını, CANBUS iletişim hattı üzerinden gelen araç durum verisine göre gömülü yazılıma entegre edilmiş frekans kaydırma yöntemini kullanarak aracın hızlanma ve yavaşlanma durumunu simüle eden bir sistem haline getirilmiştir.



4. ELEKTRONİK SİSTEM VE TASARIMI

Bu kısımda AVAS içerisinde kullanılan elektronik sistem ve tasarım çalışmaları anlatılmıştır. UNECE-R10 regülasyonunun ve ISO-16750 standardının gerekliliklerini yerine getirmek amacıyla regülasyona ve standartta uyumlu donanım tasarımı gerçekleştirilmiştir.

4.1. Sistem Bileşenleri

Elektronik sistem bileşenleri Kontrol Birimi, Güç Yönetimi, Ses Yönetimi ve Kablolu İletişim Hattı olmak üzere dört ana başlık altında ele alınmıştır. Bahse konu dört ana başlığın kapsadığı bileşenlerin tasarımı tek bir elektronik kart üzerine gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1.'de tasarlanan AVAS blok diyagramı verilmiştir.

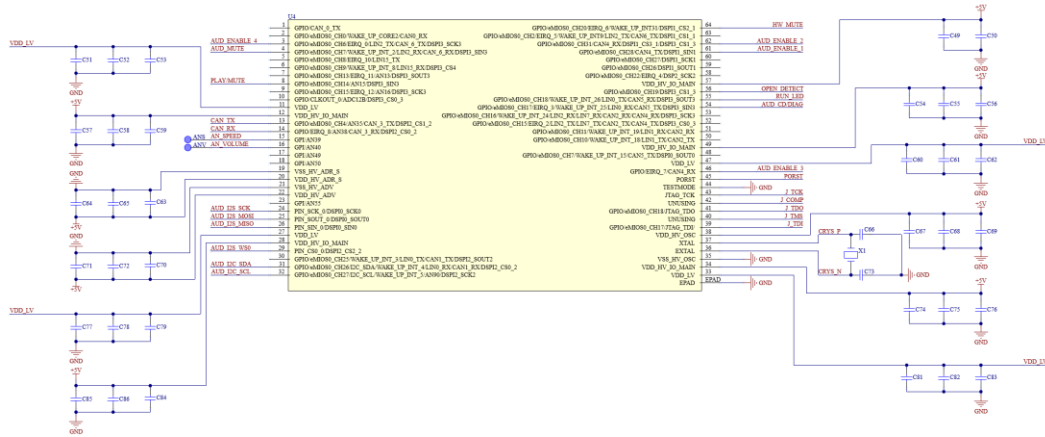


Şekil 4.1. AVAS elektronik tasarım blok diyagramı.

4.1.1. Kontrol birimi

Kontrol birimi elektronik kart üzerinde mikrodenetleyiciyi, sistem durum LED'lerini ve giriş/çıkış birimlerini kapsayan birimdir. Burada ST firmasının üretmekte olduğu, ASIL-B 80 MHz hızında, tek çekirdekli, 1 MB Flash hafızalı, 32 Bit bir mikrodenetleyici kullanılmıştır. Güncel piyasa araştırmasında, ASIL-B üretimi devam eden ve çip krizinden etkilenme olasılığı en düşük olduğu ön görülen mikrodenetleyici seçilmiştir.

Tasarlanan elektronik kartta mikrodenetleyicinin kullanılmayan bazı analog girişleri ve dijital çıkışları pin olarak kart dışına verilmiş olup, daha sonrasında sisteme dahil edilmek istenen bileşenler olduğunda, entegrasyonun kolaylaşacağı ön görülmüştür. Elektronik kartın üzerine durum bilgisini gösterecek sekiz adet LED yerleştirilmiştir. Bu LED’lerin iki tanesi CANBUS iletişim hattı için gelen-giden sinyal olarak, iki tanesi I2C iletişim hattı üzerinden ses yükseltme entegresi için gelen-giden sinyal olarak, geriye kalan dört LED ise durum bilgisi almak ve hata ayıklama için kullanılmıştır. Şekil 4.2.’te tasarımı gerçekleştirilen AVAS kontrol birimi verilmiştir.



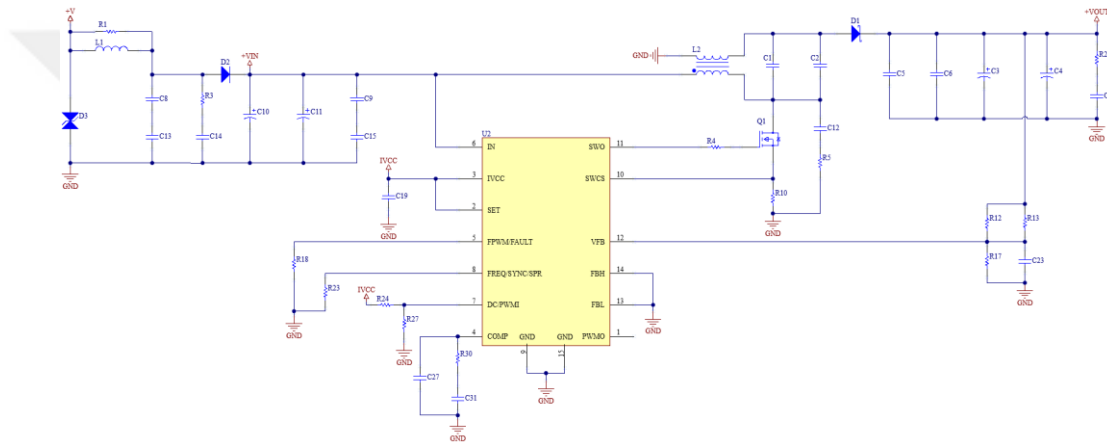
Şekil 4.2. AVAS elektronik tasarım kontrol birimi devre şeması.

4.1.2. Güç yönetimi

Tasarlanan AVAS’ın hem 12V çalışma gerilimine sahip araçlarda hem de 24V çalışma gerilimine sahip araçlarda sorunsuz çalışabilmesi için normal çalışma gerilim aralığı 10-30V olarak belirlenmiştir. Bu nedenle giriş gerilimi değişken, çıkış gerilimi sabit bir DC-DC dönüştürücü tasarlanmalıdır. DC-DC dönüştürücünün ses entegresi için gerekli olan 14V gerilim seviyelerinde sabit gerilim sağlaması gerekmektedir. Bu kapsamda yapılan araştırmalar sonucunda verimi yüksek olan SEPIC (Single-Ended Primary-Inductor Converter) tasarımı yapılmasına karar verilmiştir. SEPIC topoloji, besleme gerilimi, normal çalışma gerilimden düşük veya fazla olduğunda ve sabit gerilim çıkışı istendiğinde tercih edilmesi gereken DC-DC dönüştürücü topolojilerinden biridir [43].

SEPIC entegresi tipik olarak 4,5V’tan 60V’a kadar çeşitli giriş voltajlarını kabul edebilir, bu da onu hem 12V hem de 24V otomotiv güç sistemlerinde kullanıma uygun hale getirir. Gelişmiş kontrol yöntemleriyle birleştirilmiş SEPIC tasarımı, çok çeşitli

Tasarımda kullanılan SEPIC entegresi aşırı sıcaklık koruması, aşırı voltaj koruması, düşük voltaj kilitleme ve kısa devre koruması dahil olmak üzere kapsamlı koruma özelliklerine sahiptir. Bu özellikler sisteminin güvenliğini ve güvenilirliğini artırır. SEPIC entegresi çeşitli çalışma ve arıza koşullarını gözlemlemesini ve raporlamasını sağlayan teşhis yeteneklerine de sahiptir. Bu, sorunların erkenden tespit edilmesini ve düzeltici eylemlerin uygulanmasını kolaylaştırarak tutarlı ve güvenilir bir çalışma sağlar. Şekil 4.3.'te tasarlanan sistemin SEPIC topoloji ile gerçekleştirilmiş DC-DC dönüştürücü tasarımı verilmiştir.



4.1.3. Ses kuvvetlendirme

Belirli modele ve amaca bağılı olarak genellikle mono, stereo ve çok kanallı olmak üzere çeşitli konfigürasyonları destekleme kapasitesine sahiptir. Ses kuvvetlendirici entegresi D sınıfı modunda çalışır; bu mod, geleneksel A,B sınıfı ses kuvvetlendiricilere göre yüksek verimlilik ve daha düşük ısı üretimi ile karakterize edilir.

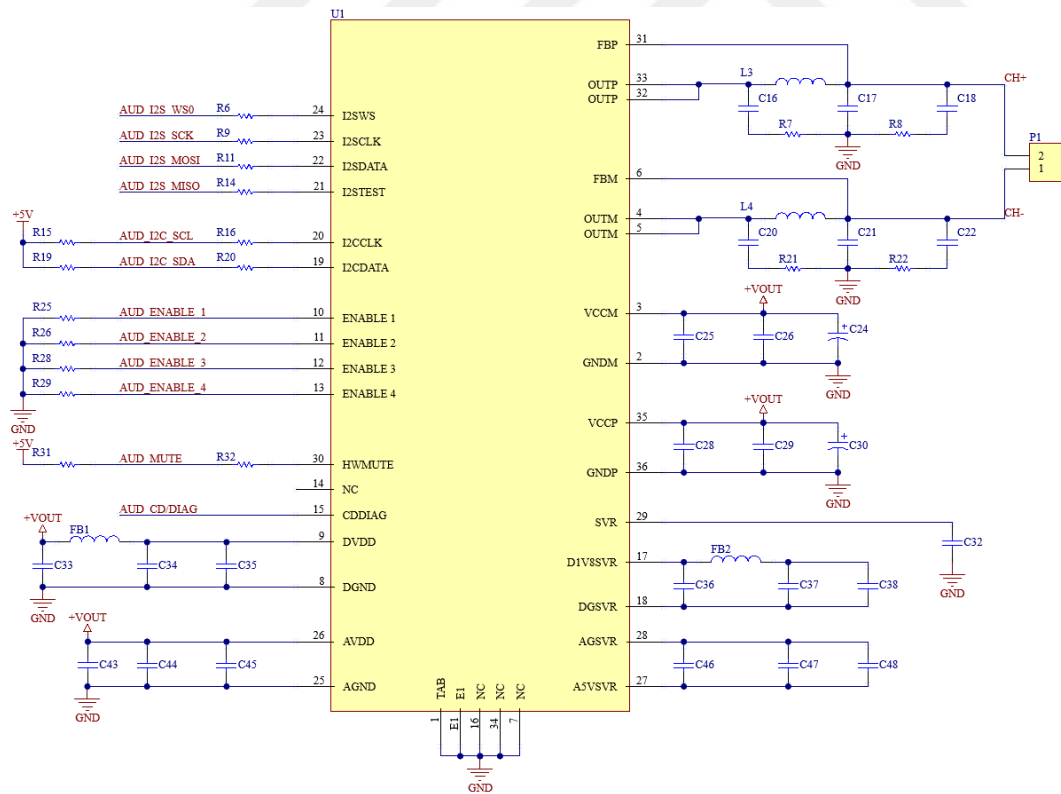
47

sıcaklık koruması, aşırı akım koruması ve kısa devre koruması gibi koruma özelliklerine sahiptir. Ses kuvvetlendirici entegresi, hoparlör açık devresi, hoparlör kısa devresi ve yükün yanlış yerleştirilmesi dahil olmak üzere çeşitli arıza koşullarını tanımlayabilen tanılama özelliklerine de sahiptir.

Bu yetenek, ses sisteminin güvenliğini ve güvenilirliğini artırır FDA903, çeşitli besleme voltajlarında çalışabilir, bu da onu araçlardaki farklı güç sistemlerine uyum sağlayacak kadar çok yönlü kılar. Harici bileşenlere olan ihtiyacı azaltan ve genel tasarımı basitleştiren birden fazla fonksiyona sahiptir.

Kompakt tasarımı, otomobillerdeki dar alanlarda kullanım için idealdir. FDA903'ün tasarımı, araçtaki diğer elektronik bileşenlerin sürekli çalışması için önemli olan EMI'ı azaltmaya odaklanmıştır. Bu entegre; I2S hattından gelen ses sinyali, I2C hattından gelen kontrol parametrelerine bağlı olarak analog sese çevirerek maksimum 45W gücünde bir ses çıkışı sağlamaktadır. Bu kapsamda entegrenin güç girişi 14V olarak hesaplanmış olup, proje kapsamında üretilen ses gücü 20W olarak ayarlanmıştır.

Şekil 4.4.'te tasarlanan AVAS'ın ses kuvvetlendirici devre tasarımı verilmiştir.

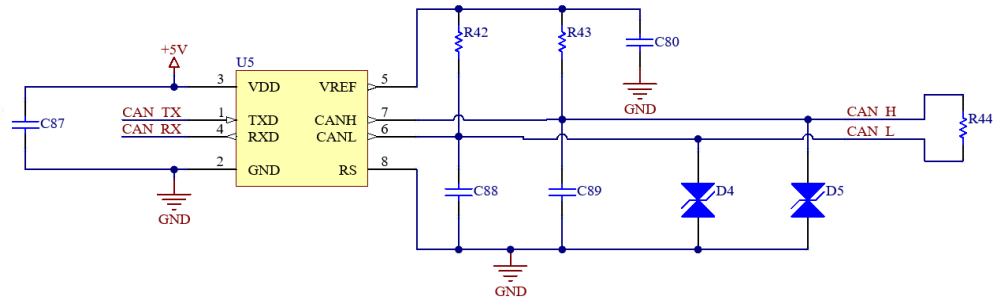


Şekil 4.4. AVAS elektronik tasarım ses kuvvetlendirici devre şeması.

4.1.4. Kablolu iletişim hattı

CANBUS, küçük bilgisayarların ve diğer cihazların bir ana bilgisayar olmadan birbirleriyle iletişim kurmasına olanak tanıyan güçlü bir veri yolu standardıdır. Merkezi bir denetleyici olmadan tek bir veri yolu üzerinden birden fazla cihazla iletişim kurmak için mesajları kullanan bir protokoldür. Motor kontrol üniteleri, şanzıman kontrolü, hava yastığı sistemleri, ABS, elektrikli camlar gibi otomotiv sistemleri için kullanılmaktadır. Genel olarak CANBUS, elektronik kontrolörler ve cihazlar arasında gerçek zamanlı veri iletimi için çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılan, oldukça güvenilir, etkili ve maliyet tasarrufu sağlayan bir iletişim protokolüdür. CANBUS iletişim hattıyla iletişimin sağlanabilmesi için NXP firmasının ürettiği TJA1042 kodlu yüksek hızlı bir alıcı verici entegresi tasarıma dahil edilmiştir. Bu kapsamda seçilen entegre düşük elektromanyetik yayılım yapan ve yüksek elektromanyetik girişim bağışıklığına sahip bir entegre olup, 5 Mbit/s veri hızına ulaşabilmektedir.

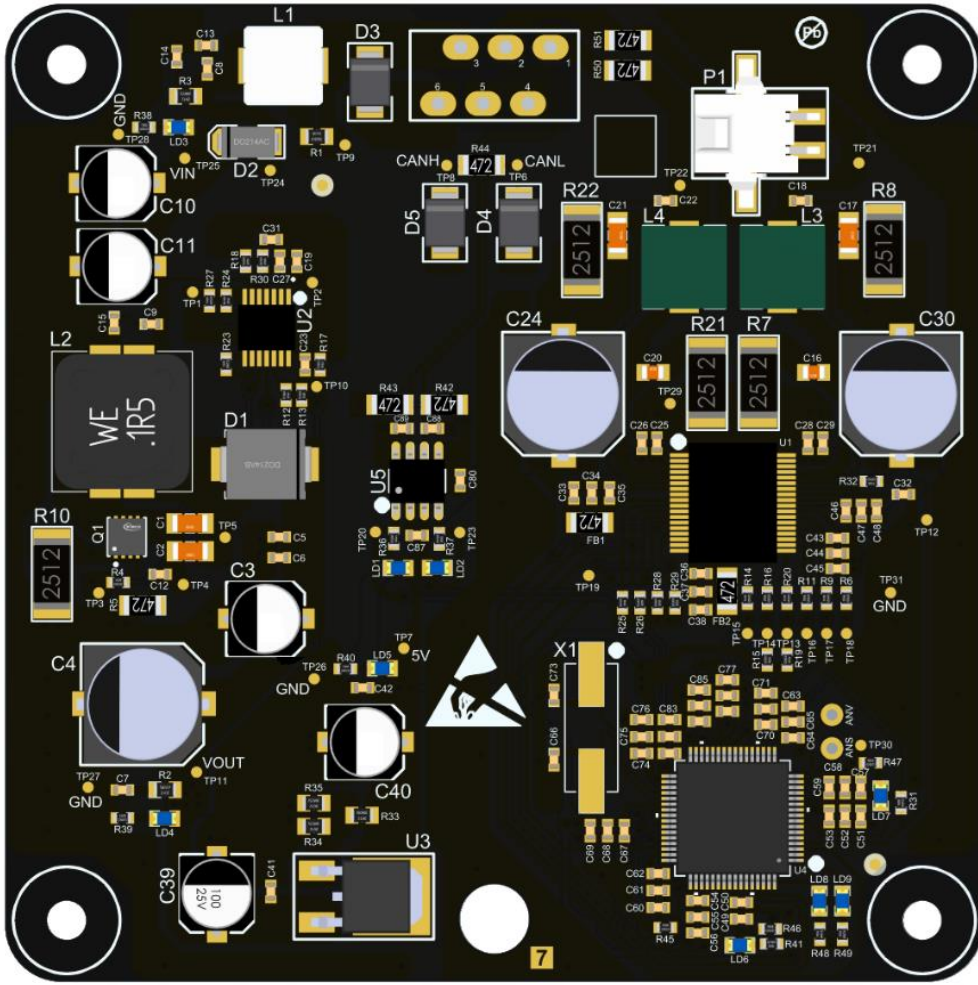
Şekil 4.5’ de tasarlanan sistemin CANBUS iletişim hattı tasarımı verilmiştir.



Şekil 4.5. AVAS elektronik tasarımı CANBUS iletişim hattı devre şeması.

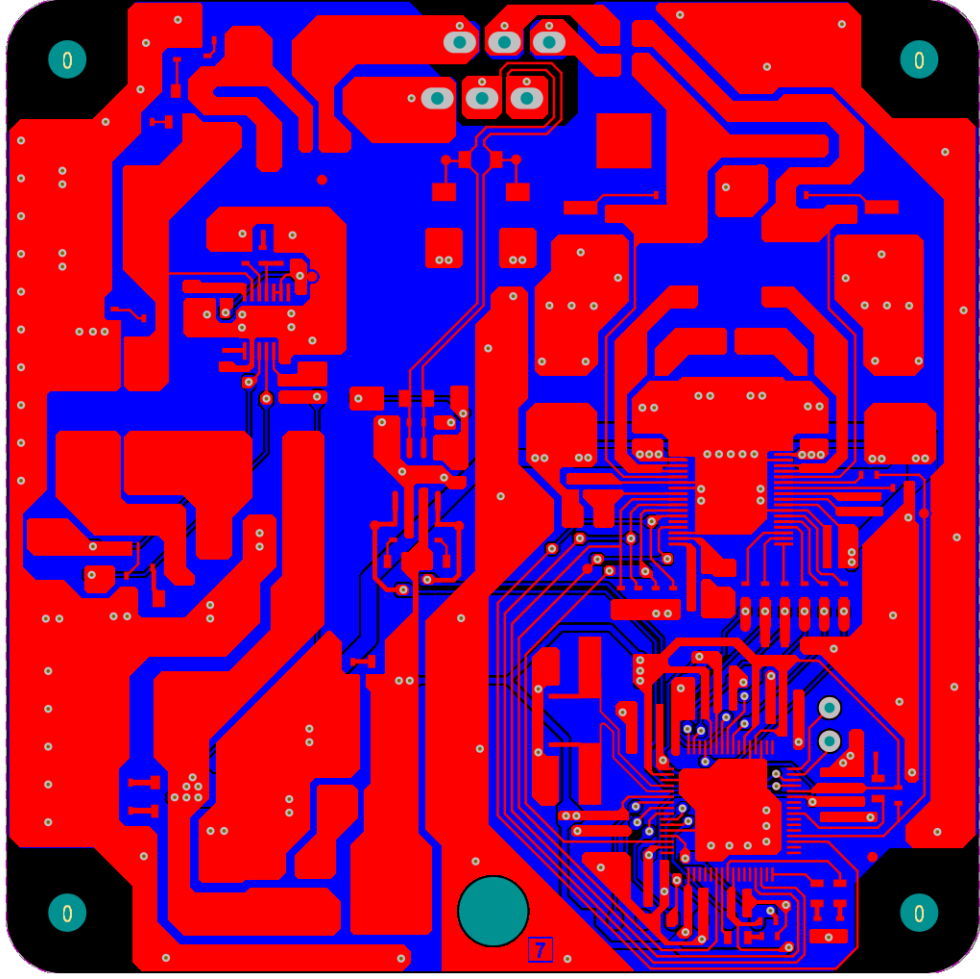
4.1.5. Elektronik devre tasarımı

AVAS da kullanılacak komponent seçimi ve şema tasarımı sonrası Altium Designer baskılı devre kartı (PCB) tasarım programı ile yüzey montaj teknolojisi (SMD) komponentler kullanılarak EMC/EMI kurallarına uygun Şekil 4.6.’da gösterilen iki katmanlı PCB tasarımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6. AVAS elektronik donanım tasarımı 2D görüntüsü.

İki katmanlı elektronik PCB tasarımı, elektronik devrelerin daha kompakt ve karmaşık hale getirilmesi için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. İki katmanlı PCB'ler, tek katmanlı PCB'lere kıyasla daha fazla bağlantı ve daha karmaşık devrelerin tasarlanmasına olanak tanır. PCB'nin iki katmanında da 35 um bakır kalınlığı tercih edilmiştir. Şekil 4.7'de PCB katmanları gösterilmiştir.



Şekil 4.7. AVAS elektronik donanım PCB tasarımı katman görüntüsü.

Tasarlanan PCB dış kaynak PCB üreticisinde ürettirilip, sonrasında SMD dizgi hattı kullanılarak elektronik komponentlerin montajları gerçekleştirilmiş. Elektriksel kontroller sonrası gömülü C dili kullanılarak gömülü yazılım tasarımı gerçekleştirilmiştir. Donanım ve yazılım tasarım doğrulama testleri yapılmış AVAS ürünü, bahsi geçen regülasyon ve standartlara uygun testler için hazır hale getirilmiştir.



5. TEST VE TASARIM DOĞRULAMA

Bu kısımda AVAS tasarımı sonrası test ve tasarım doğrulama çalışmaları anlatılmıştır. Bu kapsamda UNECE-R138 ve UNECE-R10 regülasyonları ile ISO-16750 standartlarında yer alan testler ve tasarım doğrulamaları gerçekleştirilmiştir.

5.1. Akustik Test ve Tasarım Doğrulama

Tasarlanan AVAS da UNECE-R138 regülasyonun temel gereksinimi olan 1/3 oktav bandındaki frekans değerlerinde üretilen ses seviyeleri akredite bir test kuruluşu tarafından ölçülmüştür. Şekil 5.1.'de ses seviyesi testi, test ayarı verilmiştir.



Şekil 5.1. UNECE-R138 regülasyonları göre ses seviyesi test ayarı.

Test sonuçlarına göre aşağıdaki tablodaki dB(A) değerleri uygun olarak değerlendirilmiştir. UNECE-R138 AVAS regülasyonu, 1/3 oktav bandındaki ardışık

iki frekanstaki ses seviyelerinin yeterli koşulları karşılamasını gerektirir. Tasarlanan AVAS ürünü bu kriteri sekiz farklı ses frekansında karşılamaktadır. Tablo 5.1.'de ölçülen değerler verilmiştir.

Tablo 5.1. UNECE-R138 regülasyonuna göre ses seviyesi ölçüm tablosu.

Frekans (Hz)	10 km/h Sabit Hız' da Ölçülen (dB(A))	20 km/h Sabit Hız' da Ölçülen (dB(A))
630	64	63
800	62	57
1.000	59	64
1.250	58	65
1.600	58	56
2.000	63	62
2.500	58	64
3.150	46	45

İkinci aşamada, geliştirilen AVAS'ın frekans kaydırmaya yönelik temel düzenleyici gerekliliklerini yerine getirmek amacıyla çeşitli hızlardaki merkezi ses frekansı ölçülmüş ve frekans kayma oranları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar UNECE-R138 regülasyonunda yer alan, denkleme göre yapılmaktadır (5.1).

$$del f = \left\{ \left(\frac{f_{speed} - f_{ref}}{v_{test} - v_{ref}} \right) / f_{ref} \right\} \times 100 \quad (5.1)$$

Tablo 5.2.'de ölçümleri alınmış ve frekans kayma oranları hesaplanmış değerler gösterilmiştir.

Tablo 5.2. UNECE-R138 regülasyonuna göre frekans kayması ölçüm tablosu.

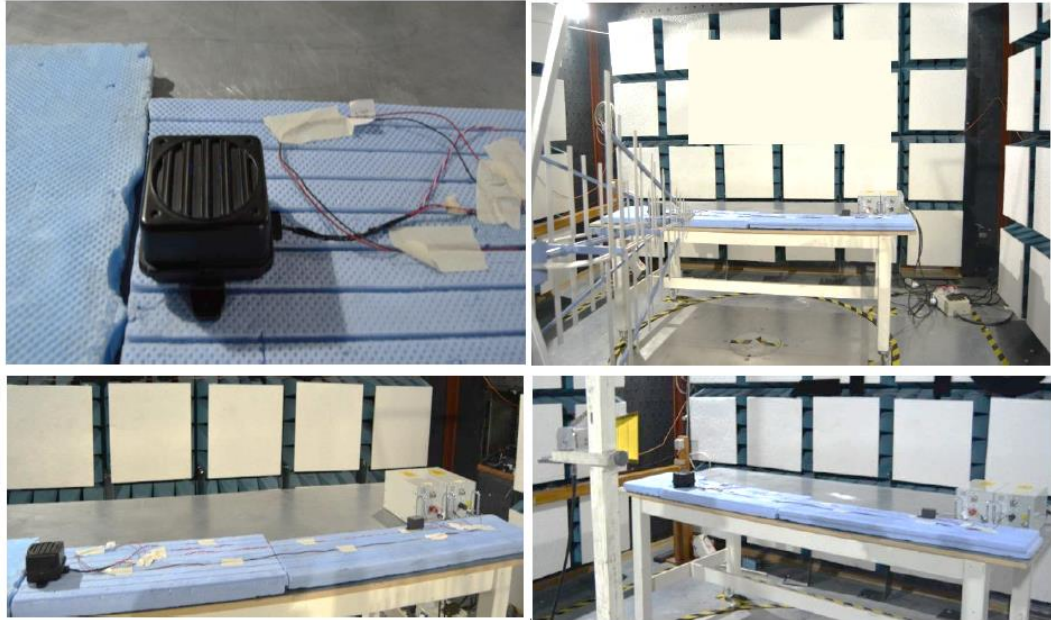
		Hedef Hızlardaki Test Sonuçları			
		v_{ref}			
Araç Hızı	km/h	5	10	15	20
Frekans, f_{speed} , Sol Taraf	Hz	813	888	938	938
Frekans, f_{speed} , Sağ Taraf	Hz	813	888	938	938
Frekans Kayması, $del f$, Sol Taraf	%	-	1,8	1,5	1
Frekans Kayması, $del f$, Sağ Taraf	%	-	1,8	1,5	1
Frekans Kayması Kabul Kriteri	>%0.8 / km/h	Geçti	Geçti	Geçti	Geçti
Frekans Kayması Test Metodu:	Metot (B)				

Tasarlanan AVAS da frekans kayma oranlarına bağılı kalarak UNECE-R138 regülasyonu isterlerini karşılayan tüm testler olumlu olarak sonuçlanmıştır.

5.2. Elektronik Test ve Tasarım Doğrulama

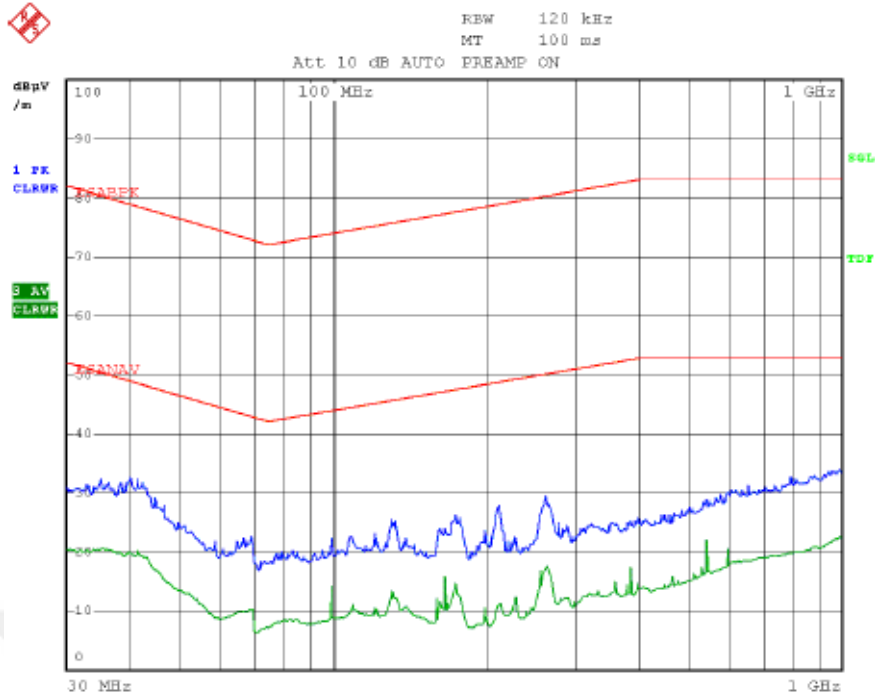
Tasarlanan AVAS UNECE-R10 regülasyonunun ve ISO-16750 standardının gereksinimlerine göre de test edilmiştir. UNECE-R10 regülasyon testleri akredite bir kuruluştaki, ISO-16750 testleri ise Sanel Şirketi bünyesinde gerçekleştirilmiştir.

UNECE-R10 regülasyon testleri kapsamında regülasyon alt standartları olan CISPR-25 elektromanyetik yayılım, ISO-7637-2 geçici bağışıklık, ISO-11452-4 ve ISO-11452-2 Radyo frekansı bozulmalarına bağışıklık testleri uygulanmıştır. Şekil 5.2.'de ilgili testlerin gerçekleştirildiği dış laboratuvar görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.2. UNECE-R10 regülasyon testleri laboratuvar görüntüsü.

Şekil 5.3.'te ve Tablo 5.3.'de verilen CISPR 25 standardı dikey anten elektromanyetik ölçüm sonuçlarına göre geniş bant (mavi) ve dar bant (yeşil) ölçüm değerleri limit (kırmızı) değerlerin altında kalmıştır.



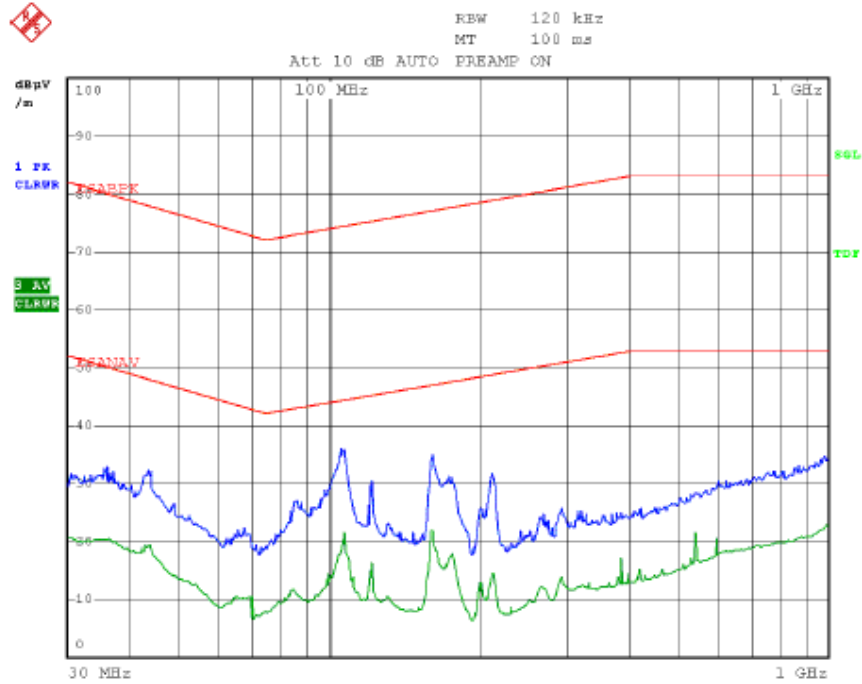
Şekil 5.3. CISPR 25 standardı elektromanyetik yayılım dikey anten ölçüm grafiği.

Tablo 5.3. CISPR 25 standardı elektromanyetik yayılım dikey anten ölçüm değerleri.

Genişbant Ölçüm			Darbant Ölçüm		
Frekans (MHz)	Limit (dBuV/m)	Ölçülen Seviye (dBuV/m)	Frekans (MHz)	Limit (dBuV/m)	Ölçülen Seviye (dBuV/m)
32	81	32	31	51	21
36	80	33	46	50	21
46	77	26	46	47	16
69	73	23	69	43	11
99	73	22	99	43	15
125	75	25	115	45	12
185	77	26	170	47	17
210	78	28	212	48	12
270	80,5	29	270	50,5	18
395	82,5	26	395	52,5	18
520	83	29	510	53	15
700	83	31	720	53	19
870	83	32	880	53	21
980	83	34	990	53	23

Anten polarizasyonu değiştirilerek aynı ürünle yapılan ölçümlerde Şekil 5.4'te ve Tablo 5.4.'de verilen CISPR 25 standardı yatay anten elektromanyetik ölçüm

sonuçlarına göre geniş bant(mavi) ve dar bant(yeşil) ölçüm değerleri de limit(kırmızı) değerlerin altında kalmıştır.

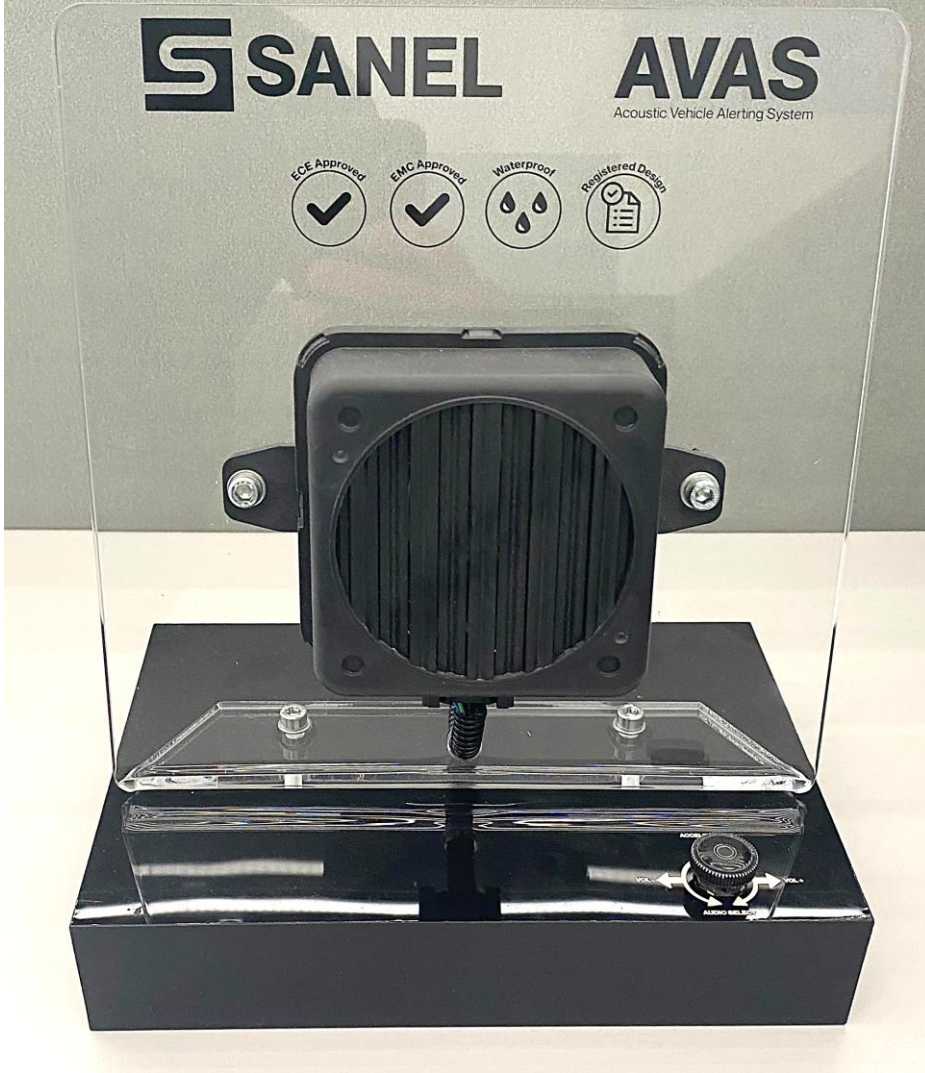


Şekil 5.4. CISPR 25 standardı elektromanyetik yayılım yatay anten ölçüm grafiği.

Tablo 5.4. CISPR 25 standardı elektromanyetik yayılım yatay anten ölçüm değerleri.

Genişbant Ölçüm			Darbant Ölçüm		
Frekans (MHz)	Limit (dBuV/m)	Ölçülen Seviye (dBuV/m)	Frekans (MHz)	Limit (dBuV/m)	Ölçülen Seviye (dBuV/m)
31	81	31	31	51	21
37	80	33	36	50	21
42	77	32	42	47	19
68	73	22	78	43	10
98	73	28	98	43	15
105	74	37	108	44	22
134	75,5	19	170	45,5	22
175	77,5	35	210	47,5	15
295	80,5	25	295	50,5	17
390	82,5	25	390	52,5	17
510	83	27	510	53	15
710	83	31	530	53	22
840	83	33	880	53	22
990	83	35	995	53	22

UNECE-R10 regölasyonu ve ISO-16750 standart isterlerini karşılayan tüm testler olumlu olarak sonuçlanmıştır. Böylelikle tasarlanan AVAS'ın otomotiv elektroniğine uygunluğu doğrulanmıştır. şekil 5.5.'de tasarımı tamamlanmış AVAS ürünü gösterilmiştir.



şekil 5.5. Tasarımı tamamlanmış AVAS ürünü.

6. SONUÇ

Bu çalışmada öncelikle pazardaki ürünler, literatür ve patent araştırmaları ile yarı iletken bileşen üreticilerinin (MCU, MPU, Amplifikatörler, Çeşitli Entegre Devreler gibi) sunduğu çözümler araştırılmıştır. Eş zamanlı olarak çeşitli araç seslerinin analizleri regülasyon isterlerine göre gerçekleştirilmiştir. Sistemin otomotiv sektöründe aktif olarak kullanılan tüm çalışma gerilim aralıklarında çalışabilmesi sağlanmış ve geliştirilen AVAS'ın bileşenleri otomotiv yönetmeliklerine uygun tasarlanmıştır. Bu çalışmada ticari araçlar için uluslararası mevzuatlara uygun olarak geliştirilen AVAS'ın ses düzenlenmesi ve tasarım aşamaları ele alınmış ve analiz edilmiştir. Sunulan AVAS'ın belirtilen avantajlarıyla birlikte, ulusal otomotiv sanayine ve gelecek akademik çalışmalara önemli katkı sağlaması beklenmektedir.

Sunulan çalışmada adı geçen sistem TEYDEB-1501 3210670 nolu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiş ve proje SANEL tarafından Sakarya Üniversitesi danışmanlık desteği ile başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.



KAYNAKLAR

- [1] Pardo-Ferreira, M. C., Torrecilla-García, J. A., Heras-Rosas, C. de las, & Rubio-Romero, J. C. (2020). New Risk Situations Related to Low Noise from Electric Vehicles: Perception of Workers as Pedestrians and Other Vehicle Drivers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6701. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186701>
- [2] *TMC to Sell Approaching Vehicle Audible System for “Prius” | Toyota Motor Corporation Official Global Website*. (2010, August 24). Global.toyota. <https://global.toyota/en/detail/330218>
- [3] Critical Pedestrian Safety Legislation Moves to White House for President’s Signature. (2010, December 16). www.prnewswire.com; American Council of the Blind. <http://www.prnewswire.com/news-releases/critical-pedestrian-safety-legislation-moves-to-white-house-for-presidents-signature-112016879.html>
- [4] Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2020). *Otomotiv sektörü raporu (2020)*.
- [5] Minimum Sound Requirements for Hybrid And Electric Vehicles Final Environmental Assessment. (2016). <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/documents/812347-minimumsoundrequirements.pdf>
- [6] Chamard, J.-C., & Roussarie, V. (2012). Design of Electric or Hybrid vehicle alert sound system for pedestrian..
- [7] Fabra-Rodriguez, M., Peral-Orts, R., Campello-Vicente, H., & Campillo-Davo, N. (2021). Gear sound model for an approach of a Mechanical Acoustic Vehicle Alerting System (MAVAS) to increase EV’s detectability. *Applied Acoustics*, 184, 108345. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108345>
- [8] Siemens Digital Industries Software. (2020). *Acoustic vehicle alerting system*. https://www.plm.automation.siemens.com/media/global/ja/SiemensSW-Acoustic-vehicle-alerting-system_WhitePaper_tcm57-76714.pdf
- [9] The Lens - Free & Open Patent and Scholarly Search. (n.d.). The Lens - Free & Open Patent and Scholarly Search. Retrieved January 20, 2024, from <https://www.lens.org>
- [10] Koike, M., Kitagawa, M., & Ishiguro, K. “Simulated Sound Generator for Electric Vehicles,” US005635903A, 1997.
- [11] Y. Pan, D., “Vehicle External Warning Sound Generation System and Method,” WO2012037050A1, 2012.
- [12] Pyzik, A., & Larsson, P., “Acoustic Vehicle Alerting System And Method,” EP3686880A1, 2020.
- [13] J. Bastyr, K., Sishtla Venkata, D., & Trumpy, D. P., “System And Method For Adaptive Magnitude Vehicle Sound Synthesis,” WO2019240768A1, 2021.

- [14] J. Bastyr, K., Sishtla Venkata, D., & Trumpy, D. P., "System And Metod For Adaptive Magnitude Vehicle Sound Synthesis," US20210118421A1, 2021.
- [15] Wang, X., Inoue, T., & Maesaka, T., "Active Sound Effect Generating Device," US10699692B2, 2020.
- [16] Lee, M.-R., Cheng, M.-T., Krishnaswami, R., Na, L., & Li, M., "Active Sound Desensitization To Tonal Noise In A Vehicle," US20180315413A1, 2018.
- [17] Park, D. C., Lee, S. I., Ishiguro Lee, D., & Kim, S., "VEHICLE, Vehicle Control Method And Vehicle Driving Sound Control Apparatus," US20150364125A1, 2015.
- [18] Meschke, J., & Kern, M., "Vehicle Having An Electric Drive," WO2012034669A2, 2012.
- [19] C. Valeri, F., R. Koons, D., & M. Reilly, S., "Method For Controlling An Extended-Range Electric Vehicle Including An Electronic Sound Enhancement System," US9271073B2, 2016.
- [20] Konet, H., Kanuma, T., Sato, M., & Tabata, T., "System And Method For Producing An Audible Alert For A Vehicle," US8299904B2, 2012.
- [21] Kim, K.-M., "Pedestrian Warning Device Of Vehicle," US9994148B1, 2018.
- [22] United Nations Economic Commission for Europe. (2017). *Uniform provisions concerning the approval of quiet road transport vehicles with regard to their reduced audibility (ECE R138, Rev. 2)*.
- [23] National Highway Traffic Safety Administration. (2016). *Federal Motor Vehicle Safety Standards; Minimum Sound Requirements for Hybrid and Electric Vehicles (FMVSS 141)*. Federal Register, 81(235), 90416-90460.
- [24] United Nations Economic Commission for Europe. (2014). *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility (ECE R10, Rev. 5)*.
- [25] International Organization for Standardization. (2010). *Road vehicles - Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment (ISO 16750:2010)*.
- [26] International Organization for Standardization. (2013). *Road vehicles - Degrees of protection (IP code) - Protection of electrical equipment against foreign objects, water and access (ISO 20653:2013)*.
- [27] Bies, D. A., & Hansen, C. H. (2017). *Engineering Noise Control: Theory And Practice* (4th ed.). Crc Press.
- [28] Everest, F. A., & Pohlmann, K. C. (2015). *Master Handbook Of Acoustics* (5th ed.). Mcgraw-Hill, Cop.
- [29] Smith, S. W. (1999). *The scientist and engineer's guide to digital signal processing*. San Diego, Calif. California Technical Pub.
- [30] Mathworks. (n.d.). *Fast Fourier Transform (FFT) - MATLAB - MathWorks United Kingdom*. [uk.mathworks.com](https://uk.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html). Retrieved April 28, 2024, from <https://uk.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html>
- [31] Oppenheim, A. V., & Schafer, R. W. (2009). *Discrete-Time Signal Processing* (3rd ed.). Prentice Hall.

- [32] MathWorks. (n.d.). *Fast Fourier Transform (FFT)*. Retrieved June 26, 2024, from [www.mathworks.com](https://www.mathworks.com/discovery/fft.html). Retrieved April 28, 2024, from <https://www.mathworks.com/discovery/fft.html>
- [33] Heideman, M., Johnson, D., & Burrus, C. (1984). Gauss And The History Of The Fast Fourier Transform. *IEEE ASSP Magazine*, 1(4), 14–21. <https://doi.org/10.1109/massp.1984.1162257>
- [34] Strang, G. (1994). Wavelets. *American Scientist*, 82(3), 250–255. <http://www.jstor.org/stable/29775194>
- [35] Proakis, J. G., & Manolakis, D. G. (2013). *Digital signal processing*. Pearson, Cop.
- [36] Abayomi-Alli, O. O., Damaševičius, R., Qazi, A., Adedoyin-Olowe, M., & Misra, S. (2022). Data Augmentation and Deep Learning Methods in Sound Classification: A Systematic Review. *Electronics*, 11(22), 3795. <https://doi.org/10.3390/electronics11223795>
- [37] Jekaterýńczuk, G., & Piotrowski, Z. (2023). A Survey of Sound Source Localization and Detection Methods and Their Applications. *Sensors*, 24(1), 68–68. <https://doi.org/10.3390/s24010068>
- [38] Jaouen, L. (2024, January 15). *Octave bands | APMR*. [apmr.matelys.com](https://apmr.matelys.com/Standards/OctaveBands.html). <https://apmr.matelys.com/Standards/OctaveBands.html>
- [39] University of Illinois at Urbana-Champaign. (n.d.). Center Frequencies and High/Low Frequency Limits for Octave Bands, 1/2-and 1/3-Octave Bands. Retrieved April 5, 2024, from https://courses.physics.illinois.edu/phys406/sp2017/Lab_Handouts/Octave_Bands.pdf
- [40] Denjean, S., Kronland-Martinet, R., Roussarie, V., & Ystad, S. (2021). Zero-Emission Vehicles Sonification Strategy Based on Shepard-Risset Glissando. *Lecture Notes in Computer Science*, 12631, 709–724. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70210-6_46
- [41] STMicroelectronics. (2020). *AVAS Architecture based on AutoDevKit User Manual UM2719*. STMicroelectronics. Retrieved May 5, 2024, from https://www.st.com/resource/en/user_manual/um2719-avas-architecture-based-on-autodevkit-stmicroelectronics.pdf
- [42] Teensy® 3.2. (n.d.). [Www.pjrc.com](http://www.pjrc.com). Retrieved January 25, 2024, from <https://www.pjrc.com/store/teensy32.html>
- [43] Kircioglu, O., Unlu, M., & Camur, S. (2016). Modeling And Analysis Of DC-DC SEPIC Converter With Coupled Inductors. 2016 International Symposium on Industrial Electronics (INDEL). <https://doi.org/10.1109/indel.2016.7797807>



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Görkem BAVTAR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2013, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Öğretmenliği
- **Lisans** :2020, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
- **Yüksek lisans** :Devam Ediyor, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2020 yılından itibaren Sanel Sanayi Elektroniği İmalat ve Ticaret A.Ş. de Elektronik Tasarım Takım Lideri olarak çalışmaktadır.
- 2014-2020 yılları arasında Sanel Sanayi Elektroniği İmalat ve Ticaret A.Ş. de Elektronik Tasarım Mühendisi olarak çalışmıştır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Bavtar, G., Akıner, O., Alper, K., Yavuz, C. ve Çetinel, G. (2022, 24-25, Mart). Ticari Elektrikli Ve Hibrit Motorlu Araçlar İçin Geliştirilen Yerli Ve Milli Akustik Araç İkaz Sistemi (AVAS) Tasarımı. 4. *International Scientific Research And Innovation Congress - İksad Publishing House*, İstanbul, Turkey.
- Bavtar, G., Çetinel, G., Yavuz, C. Ve Akıner, O. (2023, 25-26, Kasım). İşitilebilir Güvenliği Tasarlamak: Ticari Araçlar İçin AVAS Ses Tasarımı Ve Zorlukları. 3. *International Trakya Scentific Research Congress*, Edirne, Turkey.
- Bavtar, G., Çetinel, G., Yavuz, C. ve Akıner, O. 2023. Designing Audible Safety With Acoustic Vehicle Alerting System For Commercial Vehicles, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 11(XII), 2373-2379.