

# Motor Seslerine Göre Otomobillerin Tanınması

Efecan Karaman<sup>\*1</sup>, Hikmet Rende<sup>2</sup>, Mehmet Feyzi Akşahin<sup>3</sup>

## ÖZ

Otomobillerde önemli ses kaynaklarını, otomobil motoru ve güç aktarma organları, lastikler, egzoz, şanzıman ve süspansiyon vb. sesler oluşturmaktadır. Otomobillerde oluşan bu sesler tıpkı kişiye ait olan imzalar gibi otomobilleri de birbirinden ayıran tanımlayıcı özellikler oluşturmaktadır. Bu çalışmada, farklı tipteki araçların motor gürültüleri kullanılarak birbirinden ayrıştırılması ve sınıflandırılması amaçlanmıştır. Farklı tip ve modeldeki araçların motor gürültüleri belli süreler ve koşullar altında kayıt edilmiş, ses işleme yöntemleri kullanılarak bu sesler işlenmiş ve daha sonra sınıflandırma yöntemlerinden yapay sinir ağları kullanılarak araç gürültüleri sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma çalışmasında %99,2 oranında başarı sağlanarak araçların modelleri tanınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Araç tanıma, ses işleme, sinyal işleme, sınıflandırma yöntemleri, yapay sinir ağları

## Recognition of Vehicles from Their Engine Sound

### ABSTRACT

Almost every moving vehicle produces a kind of sound. Automobile engine and powertrain, tires, exhaust, gearbox and suspension and other sounds constitute significant sound sources in vehicles. These sounds, which are formed in vehicles, involve identifiable features that distinguish automobiles from each other like signatures belonging to the person. In this study, it was aimed to identify and different types of vehicles by using their engine sounds. These sounds were processed and then these sounds were classified by using an artificial neural networks classification method. As a result, 99.2% success was achieved and the models of the vehicles were recognized.

**Keywords:** Vehicle recognition, sound processing, signal processing, classification methods, artificial neural networks

---

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 07.05.2018

Kabul/Accepted : 16.01.2019

<sup>1</sup> Arş. Gör., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Alanya/Antalya - efecan.karaman@alanya.edu.tr

<sup>2</sup> Prof. Dr., Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Antalya - hrende@akdeniz.edu.tr

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Ankara - maksahin@baskent.edu.tr



## 1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde, otomobillerde oluşan arızalar hâlâ deneyimli ustaların kulak aşinalığından veya aracın işlevini yerine getirememesi sonucu mecburen servise götürülmesi ile burada bulunan yetkili kişilerin tecrübeleri sayesinde tespit edilebilmektedir. Oysa bu konuda bir çalışma yapılarak otomobil sahipleri, otomobillerinin motorlarında oluşan bir takım sorunları veya arızaları, bir uygulama sayesinde cep telefonlarıyla veya bir başka cihaz yardımıyla yalnızca ses kayıtlarından tespit etmeleri mümkün olabileceği düşünülmektedir. Böyle bir uygulamanın gerçeğe dönüşmesi için çok fazla sayıda araç örneği ile çalışabilme imkânının olması, bu araçların arıza vermediği zamanlarda ve arıza verdiği zamanlarda alınmış ses kayıtları ayrıca her arıza tipinin araçlarda oluşması ve bu arıza tiplerinin de ses kayıtları kullanılarak tanımlanması dolayısıyla kapsamlı bir veritabanının oluşturulması gereklidir. Böyle bir veritabanı ile araçlarda meydana gelecek belirli tip tanımlaması yapılmış arızaların ses tanıma yöntemleri kullanılarak sınıflandırılmasının gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir. Fakat, böyle bir uygulamanın gerçeğe dönüşmesi için, dış seslerin etkisiz olduğu ortamlarda alınacak normal sesler ve arızalı durumdaki seslerin tanımlanarak araçlarda meydana gelen arıza tipinin belirlenmesinde birbirinden ayrıştırılması gerektiği düşünülmektedir. Arıza olmayan durumda kayıt edilmiş sinyallerin, arızalı durumlarda kayıt edilmiş sinyaller içinden ayıklanması ile araçta meydana gelen arıza tipinin belirlenebileceği düşünülmektedir. Yapılan çalışmanın temelini, araçların motor gürültülerinden faydalanılarak ses işleme ve sınıflandırma yöntemlerinin kullanılması ile ses tanıma çalışmalarının yapılması oluşturmaktadır.

Ses tanıma temelde elde edilen ses sinyallerinin analiz edilerek sayısallaştırılması sürecidir. Bu süreç sesin kayıt edilmesi ile başlayıp, sesin işlenmesi, özneliklerinin çıkarılması ve karşılaştırma yapılarak sesin sınıflandırılması ile sonuçlanmaktadır. Ses tanıma üzerine yapılan çalışmalar 1950'li yıllardan bu yana devam etmektedir. 1950'li yıllarda yapılan çalışmalar çoğunlukla kelime ve rakam tanıma çalışmalarını içermektedir. Fakat yıllar ilerledikçe ses tanıma, haberleşme sektörü yanında savunma ve sağlık sektöründe de önemli çalışmalarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle, ses tanıma çalışmaları günümüzde yaygın bir kullanım alanına sahiptir ve güncel konuları içermektedir.

Bilindiği üzere birçok farklı tipte, modelde ve farklı yakıt tipine sahip araçlar bulunmaktadır. Bu araçların motor seslerinden faydalanılarak sınıflandırılması gelecekte bu alanda yapılacak yukarıda da bahsedildiği gibi çalışmalara örnek teşkil edeceği düşünülmektedir. Farklı tip araçlarda meydana gelecek arıza tiplerinin tanınması ile ilgili bir çalışma, ilk olarak bu araçların hangi tipte hangi modelde olduğunun belirlenmesi yani bu araçların tanınması ile başlamaktadır. Bu amaçla, bu çalışma otomobillerin modellerinin tanınabilirliğinin tespiti üzerine yapılan bir çalışmadır. Tanıma işlemi ise, otomobillerin motor sesleri kullanılarak yapılmıştır. Araçlardaki motor sesleri,



güç aktarma organlarının oluşturduğu sesler, lastikler, egzoz, şanzıman veya süspansiyon sesleri gibi sesler araç tipini tanımlamak için önemli bir ipucu sağlamaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde, araçlarda tanıma veya bir başka deyişle sınıflandırma çalışmalarının sıklıkla araç görüntüleri ile görüntü işleme teknikleri, akustik ve sismik sinyal özellikleri, araç içerisindeki elektronik aksamaların yarattığı elektromanyetik yayılımlar ve benzeri ses veya sinyallerin kullanılması ile ses işleme teknikleri kullanılarak yapıldığı görülmüştür.

Yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde, Özgündüz vd akustik ve sismik sinyal özelliklerine göre iki farklı aracın sınıflandırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Sinyallere ait karakteristik özellikleri elde etmek amacıyla Mel Frekans Kepstrum Katsayıları yöntemini kullanmışlardır. Elde ettikleri karakteristik özellikleri vektör kuantalama yöntemini ile özellik azaltımı yaparak sınıflandırma aşamasına geçmişlerdir. Sınıflandırma aşamasında, k-NN ve SVM yöntemlerini kullanmışlar ve yöntemlerin başarı oranlarını değerlendirmişlerdir [1]. Aykun ve Karslıgil, deniz taşıtlarının çalışma seslerini değerlendirerek sınıflandırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Deniz taşıtlarının motor, pervane gibi kısımlarının çalışma sırasında ortama yaydıkları sesleri inceleyerek karakteristiklerini belirlemişlerdir. Daha sonra bu karakteristikleri değerlendirerek gemi modelini tanıma üzerine çalışmışlardır. Karakteristik özelliklerin elde edilmesinde Mel Frekans Kepstral Katsayıları yöntemini kullanarak elde edilen özellikleri k-ortalama yöntemi ile sınıflandırmaya hazır hale getirmişlerdir. Sınıflandırma aşamasında ise k-En Yakın Komşuluk yöntemi kullanılmıştır [2]. Fakat yapılan çalışmalar incelendiğinde, araçların motor seslerinin kayıt edilmesi ile sınıflandırılmasına yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Çalışmada, beş farklı modelde araç kullanılmıştır. Bu araçların özelliklerinden sonraki bölümlerde bahsedilmektedir. Genel anlamda araçlar içerisinde farklı yakıt tiplerine, farklı kasa tiplerine sahip araçlar ve aynı motora ait fakat farklı model ve kasa tipinde araçlar bulunmaktadır. Bu araçların motorlarından alınan ses verileri ile çeşitli ses işleme yöntemleri kullanılarak sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Ses verileri yalıtımlı ve kapalı bir ortamda alınmadığı için, trafik sesleri, insan ve kuş sesleri, çevre sesleri gibi dış ortam seslerinin en aza indiği gece saatlerinde alınmıştır. Her araçtan 50'şer adet ses kaydı alınarak ses verileri oluşturulmuştur. İlk olarak ses verileri 10'ar saniyelik sürelerle sabitlenmiştir. Daha sonra çeşitli yöntemlerle ses verilerinden öz nitelikler oluşturulmuştur. Bu öz nitelikler kullanılarak, sınıflandırma yöntemlerinden yapay sinir ağları yöntemi ile araçların modellerinin tanınması üzerine çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde araçların motor sesleri ile sınıflandırılabilceğini söylemek mümkündür. Bu nedenle çalışmadan, otomobil motor gürültüsünden otomobil modelleri tanınarak ileriye dönük yapılabilecek arıza tespit uygulamalarında kullanılacak ses işleme yöntemlerine başlangıç aşamasında ışık tutması ve araçların sınıflandırılmasına yönelik çalışmalara katkıda bulunması amaçlanmaktadır.



## 2. OTOMOBİLLERDE SES KAYNAKLARI

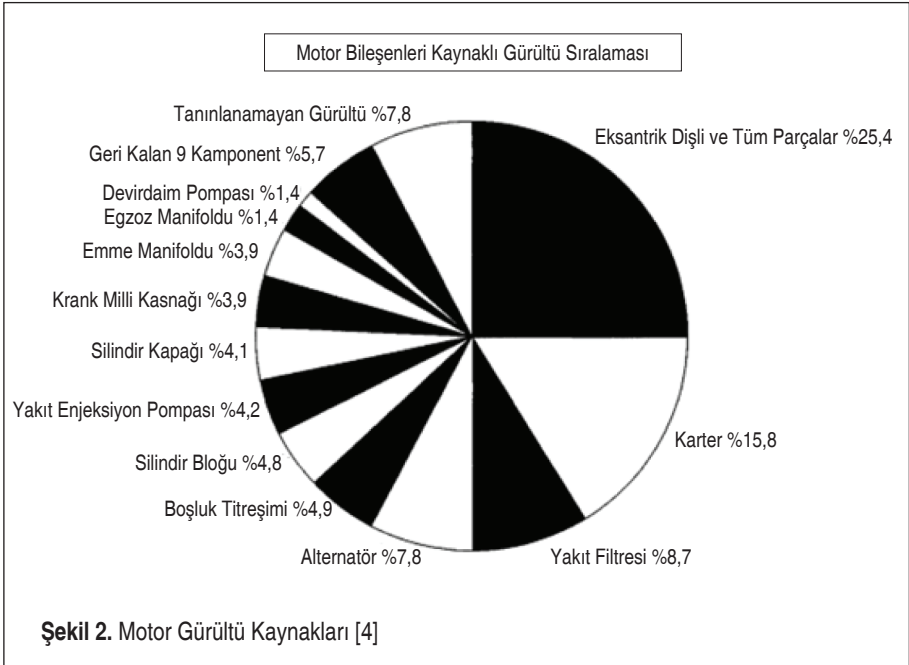
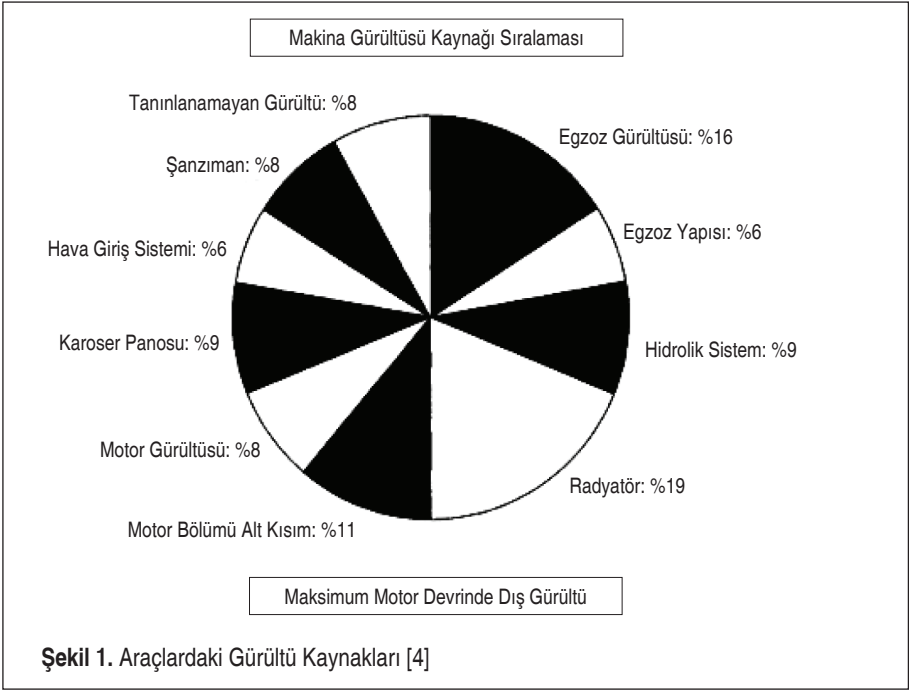
Hareket halindeki araçlar bir çeşit ses veya gürültü üretirler. Bu gürültü, çalışan motorun titreşiminden, araç lastiklerinin zeminle teması ve sürtünmesinden, rüzgâr etkileri ve benzeri etkilerden meydana gelmektedir. Aynı sınıf olarak adlandırılan aynı türdeki ve benzer koşullarda çalışan araçlar benzer gürültüler oluşturur ve kişiye aidiyeti gösteren imzalar gibi tüm araçların kendine özgü bir gürültü imzası bulunmaktadır. Bu gürültü modeli ise bir aracın tespit edilmesinde veya sınıfının tanınmasında önemli bir ipucu vermektedir.

Araçların ürettiği bu sesler bir dizi zaman diliminde (çerçeve) örneklenebilir, dijitalleştirilebilir veya gruplanabilirler. Eğer spektrum zamanla değişirse, frekans alanı içinde frekans spektrumlarının dağılımlarının değişimi şeklinde tanımlanabilirler. Araç gürültüleri bir çeşit rastgele (stokastik) sinyaldir. Stokastik bir sinyal, stokastik özellikleri zamanla değişmeyen ise durağan bir sinyal olarak tanımlanır, aksi takdirde durağan olmayan sinyal olarak adlandırılır.

Ses kaydı uzun bir süreyi kapsadığında sinyal genellikle sabit yani durağan olmayacaktır. Genellikle, bu tür işlemlerde ses kayıt cihazının konumu sabit olmaktadır. Araç hareket halinde değilse çalışma koşulları genellikle çok fazla değişmez, ancak araç hareket halindeyse oldukça kısa bir süre ses kayıt edilebilir. Hareket halindeki araçlardan yayılan gürültü seviyesi, aracın ilerlediği yolun eksen çizgisinin her iki tarafına eşit uzaklıkta ve yerden belirli bir yüksekliğe yerleştirilen mikrofonlar ile ölçülebilmektedir [3]. Ancak, araç ses sinyalleri genellikle durağan halde iken durağan sinyal olarak uygun bir şekilde işlenebilmektedir.

Otomobillerde önemli ses kaynaklarını, otomobil motoru ve güç aktarma organları, lastikler, egzoz, şanzıman ve süspansiyon sesleri oluşturmaktadır. Örneğin, motor silindirlerinde meydana gelen yanma olayı, basınç darbesi oluşturur. Bu basınç darbesi ise silindir kapağı ve duvarları aracılığıyla motor gövdesinin titreşimine sebep olmaktadır. Oluşan titreşim, havanın basınç salınımları yapması dolayısıyla ses oluşumuna sebep olur. Bu elemanlardan dolayı oluşan gürültüleri yani istenmeyen sesleri tayin etmek ise zordur. Ancak bu sesler sıklıkla oluştuğunda bazı fikirler verebilmektedir.

Mekanik sesleri incelemek amacıyla yapılan araştırmaların başında araç sınıflandırma çalışmaları gelmektedir. Çalışmalarda genellikle motosiklet, araba, gemi, otobüs, tekerlekli ve paletli araç ve benzeri araçlar sınıflandırılmaya çalışılmakta ve çeşitli oranlarda başarılar elde edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan araç sınıfı ise otomobildir ve bu otomobillerin motor sesleri kullanılarak sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Aşağıda verilen Şekil 1 ve Şekil 2'de otomobillerde ve motorlardaki gürültü kaynakları görülmektedir. Şekil 1'de bulunan araçlardaki gürültü kaynaklarının dağılımı incelendiğinde, motor gürültülerinin genel anlamda araç gürültü kaynakları içinde %8'lik bir dilime sahip olduğu görülmektedir.





### 3. SES TANIMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

Ses tanıma, temelde mikrofon veya telefon gibi cihazlarla alınmış olan ses sinyallerinin çeşitli yöntemlerle analiz edilmesi yani sayısallaştırılmasıdır. Ses tanıma sistemleri, insan-makina iletişimini kuvvetlendirmektedir. Bu sayede insanlar arasındaki temel iletişim aracı olan sesli iletişim ile insan-bilgisayar arasındaki iletişimin sağlanması ve bu sayede insan hayatının kolaylaştırılması sağlanabilmektedir. Ses tanıma süreci, sesin kayıt edilmesi ile başlayıp, sesin işlenmesi, özneliklerinin çıkarılıp kaydedilmesi ve karşılaştırma yapılarak sesin sınıflandırılması şeklinde devam etmektedir.

Ses tanıma üzerine yapılan çalışmalar 1950’li yıllardan bu yana devam etmektedir. O yıllarda yapılan çalışmalarda araştırmacılar insan hayatının kolaylaştırılmasına yönelik tek bir konuşmacı için kelime veya rakam tanıma sistemleri üzerine çalışmışlardır [5, 6]. Daha sonraki süreçte çalışmalar birden fazla sayıda kelimenin tanınması ve birbirinden ayrılması üzerine yapılmıştır. 1960’lı yıllara gelindiğinde ise ses tanıma üzerine yapılan araştırmalar sesli tanıyıcı donanımları ve farklı sesli tanımlama metodlarının araştırılması ile devam etmiştir. 1970’li yıllarda, ses tanıma üzerine önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara bakılacak olursa ayrılmış kelime ile ses tanıma konusunda araştırmacılar örüntü tanıma fikrinin kullanılabilirliğini tespit edip geliştirmeye çalışmışlar ve dinamik programlama yöntemlerinin ses tanımadaki kullanılabileceğini göstermişlerdir.

1980’li yıllara gelindiğinde ses tanımadaki istatistiksel modelleme yöntemleri çalışılmaya başlanmıştır. Bu yıllarda günümüzde kullanımı oldukça yaygın olan ancak fikirleri o zamanlara dayanan yapay sinir ağları teknolojisi gibi ses tanıma üzerine farklı yöntemler ve fikirler oluşmaya başlamıştır. 1990’lı yıllara gelindiğinde yeni yöntemler üzerine çalışmalar devam etmiş, süreç bu şekilde 2000’li yıllara gelerek ses tanıma, konuşmacı tanıma ve doğrulama işlemleri, araçların tespiti ve sınıflandırılması, cisimlerin tespiti gibi uygulamalar ve yeni yöntemlere dair çalışmalar devam etmiştir. Çizelge 1’de ses tanıma yöntemleri ve bu yöntemlerin ortaya çıkış tarihleri verilmiştir.

1950’li yıllardan bugüne kadar yapılan çalışmalarda amaç her zaman en yüksek doğruluk oranına ulaşmak olmuştur. Ses tanıma sistemleri, sinyal işleme, akustik, model tanıma ve benzeri birçok farklı disiplini içermektedir. Ses tanıma sistemlerinden model tanıma, ses verilerinin prototip olan modellerde gruplandırılması ve örnek model özellikleri esas alınarak bu iki veri seti arasında eşleştirme yapmak için kullanılmaktadır. Çalışmada, otomobillerin sınıflandırılması amacıyla, Çizelge 1’de verilen ses sınıflandırma yöntemlerinden Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi kullanılmıştır.



**Çizelge 1.** Ses Tanıma İçin Geliştirilen Yöntemler ve Tarihleri [7]

YÖNTEM	TARİH
Doğrusal Önkestirim Kodlama (LPC)	1969-1970
Dinamik Zaman Uydurma (DTW)	1970'ler
Gizli Markov Modeller (HMM)	1975
Mel- Frekans Cepstrum Katsayıları (MFCC)	1980
Yapay Sinir Ağları (YSA), Dil Modelleri	1980'ler
Destek Vektör Makinaları (SVM)	1995, 1998
Çekirdek Tabanlı Sınıflandırıcılar	1998
Dinamik Bayesian Ağları	1999

### 3.1 Ses Tanıma Aşamaları

Ses tanıma, aralarında ortak özellikler bulunan ve ilişki kurulabilen işaret veya nesnelerin bazı belirgin özelliklerini, makinalar aracılığıyla tanımlama veya sınıflandırma işlemidir. Bu nedenle ses tanımanın en önemli amaçları, bilinmeyen ses sınıflarını nitelendirerek bilinen bir sınıfa ait sesi tanımlamaktır. Ses tanıma, ilk olarak sesin sentezi ve analizi aşaması ile başlamaktadır. Ses analizi kısmında ses kayıt cihazı veya mikrofon gibi farklı kayıt cihazları ile elde edilmiş olan ses sinyallerinin sayısallaştırılması için çalışılmaktadır. Bu aşamada, sesin parametrik bir ifadeye dönüştürülmesi amaçlanır ve ses için ayırıcı özellikler tespit edilir. Bu özellikler daha sonra ses tanıma işleminde giriş verisi olarak kullanılmaktadır. Ses analizinde, ses verilerinin sayısallaştırılması, ses verilerinden özneliklerin oluşturulması ve öznelik vektörlerinin elde edilmesi, spektral analiz gibi işlemler yapılmaktadır.

Ses tanınması amacıyla ilk olarak ses verisi kayıt edilmektedir. Bu şekilde herhangi bir işlemde geçirilmemiş bir ses verisi elde edilmiş olur. Daha sonraki aşamada, yukarıda da bahsedildiği gibi ses sinyali sayısallaştırılmaktadır. Ses girdisi bir kayıt cihazı ile yapıldıktan sonra, sesin sayısallaştırılması aşamasında analog ses sinyali sayısala sinyaline dönüştürülmektedir. Bu dönüşümün sebebi, sayısal tekniklerin daha kolay bir şekilde ve çok daha hızlı olarak gerçekleştirilebilmesidir. Analog ses sinyali sayısal sinyale dönüştürülürken örnekleme, nicelendirme ve kodlama gibi aşamalardan geçmektedir. Örnekleme aşaması, sayısal sinyalden belirlenen anda genlik değerlerinin alınması olarak tanımlanabilir. Nicelendirme kısmında ise örneklenmiş olan analog ses sinyali belirli aralıklara bölünmektedir. Kodlama aşaması ise nicelendirilen analog sinyalinin herhangi bir sayı sisteminde gösterilmesidir [8].

Sayısallaşan ses sinyali üzerinde sinyal işleme tekniklerini uygulayarak sesin ayırt edici özellikleri çıkarılmaktadır. Daha sonraki aşamada elde ettiğimiz ayırt edici özel-



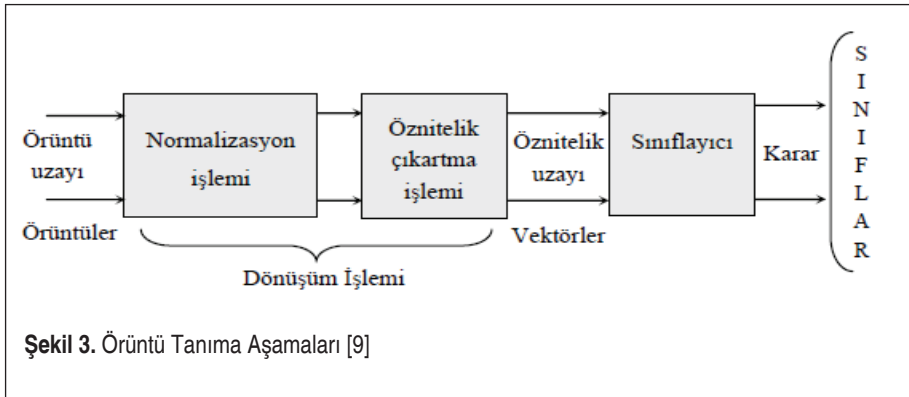
likler bazı teknikler ile modellenmektedir. Modelleme aşamasından sonra elimizde bir ses modeli oluşmaktadır. Elde edilen ses modeli veritabanında bulunan diğer verilerle karşılaştırılıp en iyi oranda eşleştirilmeye çalışılır. Bütün bu süreç ses tanıma işlemi gerçekleştirmektedir.

Ses tanıma sisteminin eğitilmesi ve sesin tanınması üzerinde durulmaktadır. Eğitim aşamasında sistemin özellikleri, giriş ses verileri incelenerek ortaya çıkarılmaktadır. Tanıma aşamasında ise veritabanındaki bilgilerle ses verilerinin özellikleri karşılaştırılmaktadır. Giriş ses verisinde birçok ilgili ve ilgisiz bilgi bulunmaktadır. Bu nedenle, ses tanıma işleminde ilgili bilgiler seçilerek ilgisizlerden ayrılmalıdır [8].

Ses tanıma temel olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar; algılayıcılar, öznelik çıkarma ve sınıflandırmadır. Algılayıcılar, herhangi bir anda mümkün olan veya olabilecek doğal durumlardan biri olan fiziksel işlemleri ölçer. Sesin algılandığı, işaret veya görüntünün filtre edildiği ve işlendiği, bileşenlerine ayrıldığı veya modellendiği kısımdır.

Öznelik çıkarma aşaması, ses, işaret veya görüntülerin veri boyutunun indirgenip bu verilerden belirleyici özelliklerin tespit edilerek ayrıldığı kısımdır. Bu aşama sistemin başarılı olmasında etkin bir rol oynar.

Sınıflandırma aşaması ise, elde edilen öznelik kümesinin indirgendiği ve çeşitli yöntemler kullanılarak formülize edilmesi ile tanımlama işleminin yapılmasıdır. Sınıflandırıcının rolü, sesi, elde edilen özneliklerden de faydalanılarak özelliklerine göre kategorize etmek ve uygun sınıflara ayırmaktır. Çalışmada kullanılan algılayıcı, yani ses kayıt cihazının özellikleri, ses kayıt işlemi ve kayıt edilen seslerin özellikleri, öznelik çıkarma ve sınıflandırma yöntemleri tezin materyal ve metot bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.







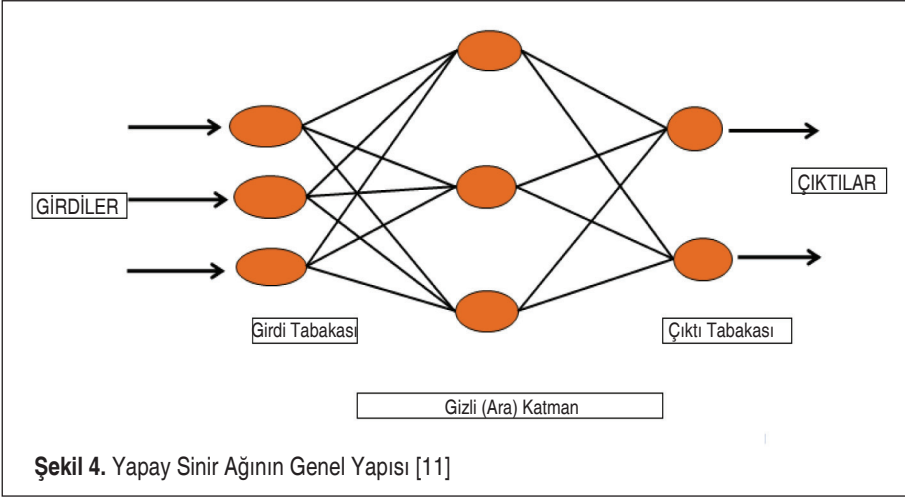
### 3.2 Sınıflandırma Yöntemleri

#### • Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi sonucu ortaya çıkmıştır. Genel olarak yapay sinir ağları, insan beynindeki bir çok nöronun (sinir hücresi) ya da yapay olarak basit işlemcilerin birbirlerine değişik etki seviyelerinde bağlanması sonucu oluşan karmaşık bir sistem olarak tanımlanabilir. Yapay sinir ağları (YSA), genelde çok farklı yapıda ve formda bulunan veri yapılarının hızlı bir şekilde tanımlanması ve algılanması üzerine kullanılmaktadır. YSA'lar örneklerle ilgili bilgiler toplamakta, genellemeler yapmakta ve daha önce görmediği örnekler ile karşılaştırıldığında öğrendiği bilgileri kullanarak o örnekler hakkında karar verebilmektedir. Günümüzde yapay sinir ağları, kontrol ve sistem tanımlama, görüntü ve ses tanıma, tahmin ve kestirim, arıza analizi, tıp, haberleşme ve benzeri alanlarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yapay sinir ağlarının günümüzde yaygın kullanımının en önemli sebebi klasik yöntemlerle çözümü zor olan karmaşık problemlerin başarılı bir şekilde çözümüne olanak sağlamasıdır [10].

Yapay sinir ağlarının yapısı genel olarak incelendiğinde, milyonlarca biyolojik sinir hücresinin (nöron) bağlantılar aracılığıyla birleşip beyni oluşturdukları gibi, yapay sinir hücrelerinin birleşmesinden de yapay sinir ağları meydana geldiğinden yukarıda bahsedilmişti. Nöronların aynı doğrultu üzerinde dizilmesi ile katmanlar ve bu katmanların birleşimiyle de yapay sinir ağları oluşmaktadır. Bu sistemdeki nöronlardan bazıları yalnızca girdileri almak için, bazıları ise çıktıkları iletmek için dış mekân ile bağlantı halindedir. Diğer tüm nöronlar ise gizli katmanlardır. Genel olarak sinir hücreleri, girdi katmanı, gizli katman veya ara katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç katman halinde ve her katman içinde paralel biçimde olacak biçimde bir araya gelerek ağ oluştururlar [11]. Katmanlar şöyle sıralanabilir:

- Girdi Katmanı: Bu katmandaki nöronlar, dış dünyadan bilgileri alarak gizli katmanlara iletirler. Bazı ağlarda girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme olmaz. Sadece girdi değerlerini bir sonraki katmana iletirler. Bu nedenle bazı araştırmacılar, bu katmanı ağların katman sayısına ilave etmezler.
- Ara Katman: Girdi katmanından gelen bilgiler işlenerek çıktı katmanına gönderilir. Bu bilgilerin işlenmesi ara katmanlarda gerçekleştirilir. Bir ağ içinde girdi ve çıktı katmanı tek katmandan oluşabilirken, ara katman birden fazla katmandan oluşabilmektedir. Ara katmanlarda çok sayıda nöron bulunur ve bu nöronlar birbirleriyle bağlantılıdır. Ağın büyüklüğünün tanımlanması ve performansının bilinmesi açısından ara katmanda bulunan nöronların sayısının seçimi oldukça önemlidir.
- Çıktı Katmanı: Ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın girdi katmanından sunulan girdi seti için çıktı üretir.



Bahsedilen katmanlarda bulunan nöronlar ve bu katmanlar arasındaki ilişkiler Şekil 4'te gösterilmektedir. Şekil 4'teki yuvarlak turuncu renkteki daireler nöronları ifade etmektedir. Her katmanda birbirine paralel elemanlar bulunmaktadır. Bu paralel elemanları birbirine bağlayan çizgiler ise ağırlık bağlantılarını göstermektedir. Nöronlar ve bunların bağlantıları bir yapay sinir ağını oluşturmaktadır.

#### 4. MOTOR SESLERİNİN KAYIT, İŞLEME VE SINIFLANDIRMA ÇALIŞMALARI

Deney çalışmasında, ses kayıt işlemi farklı zaman aralıklarında, beş farklı tipte ve modelde araç kullanılarak alınmıştır. Aşağıda araçların özelliklerinden bahsedilmiştir;

- Renault Symbol 1.5 dci Joy model, 90 hp, 1461 cm<sup>3</sup> motor hacminde, 220 Nm torka sahip, 100.000 km'de ve yakıt tipi dizel olan sedan kasa tipinde araç (1. Araç),
- Renault Fluence 1.5 dci Touch model, 90 hp, 1461 cm<sup>3</sup> motor hacminde, 200 Nm torka sahip, 100.000 km'de ve yakıt tipi dizel olan sedan kasa tipinde araç (2. Araç),
- Peugeot 207 1.4 hdi Active model, 70 hp, 1360 cm<sup>3</sup> motor hacminde, 160 Nm torka sahip, 100.000 km'de ve yakıt tipi dizel olan kısa kasa tipinde araç (3. Araç),
- Peugeot Partner Van 1.9 Kombi model, 71 hp, 1867 cm<sup>3</sup> motor hacminde, 125 Nm torka sahip, 100.000 km'de ve yakıt tipi dizel olan camlı van- kamyonet kasa tipinde araç (4. Araç),

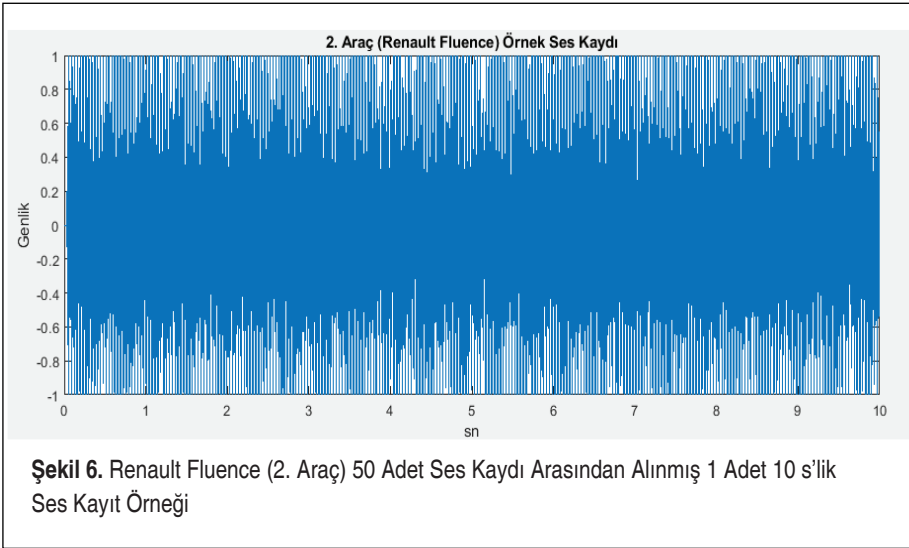
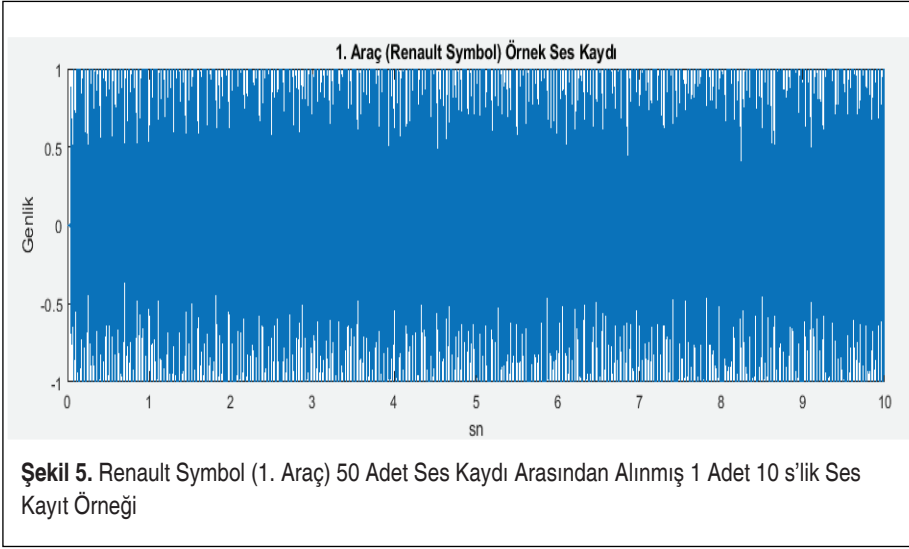


- Opel Zafira 1.6 Comfort model, 105 hp, 1598 cm<sup>3</sup> motor hacminde, 150 Nm torka sahip, 100.000 km'de ve yakıt tipi benzin olan minivan kasa tipinde araç (5.Araç)

Çalışmada kullanılan ses kayıt cihazı, Sony ICD-PX240 marka ses kayıt cihazıdır. Ses kayıt cihazının kolay ve pratik kullanımı sayesinde ses kayıtları alınarak bilgisayar ortamına USB bağlantı kablosu sayesinde aktarılmıştır. Otomobillerden ses kayıtları ilk olarak farklı zaman dilimlerinde sabah, öğle, akşam, gece saatlerinde alınmıştır. Ancak gündüz ve öğle zamanlarında alınan ses kayıtlarında trafik, kuş, insan ve benzeri gibi istenmeyen seslerin etkisinin fazla olması dikkat çekmiştir. Ayrıca ses kayıtlarının yalıtımlı ve kapalı bir ortamda alınamayıp, açık bir ortamda alınacak olması, dış ortam ve benzeri seslerin olabildiğince önlenebileceği bir zaman diliminde ses kayıtlarının alınmasını gerekli kılmıştır. Bu nedenle gece saatleri ses kayıtları için en uygun zaman dilimi olarak belirlenmiştir. Ses kayıt aşamasında, ses kayıt cihazının yerleşimi ile ilgili standartlar incelenmiştir. ISO 1996 uluslararası standardı, iç ve dış mekânlarda yapılan ses ölçümleri sırasında ses kayıt cihazının konumu ile ilgili yönlendirici bilgiler içermektedir. Ses kayıt cihazının yerleştirileceği konum ölçüm amacına bağlı olarak değişiklik göstermesine rağmen genellikle iç ve dış mekân ölçümlerinde mikrofon veya ses kayıt cihazının yerden 1,2-1,5 m yüksekte olması gerektiği belirtilmektedir [12]. ISO 1996 standardı baz alınarak, ses kayıt işlemi yerden 1,2 m yükseklikten yapılmış, her bir araçtan gece saatlerinde ve aynı açık ortamda, araç rölanti halinde çalışıp kaput açık halde iken elle ortalama 10 s süre ile 50'şer adet ses kaydı alınmıştır.

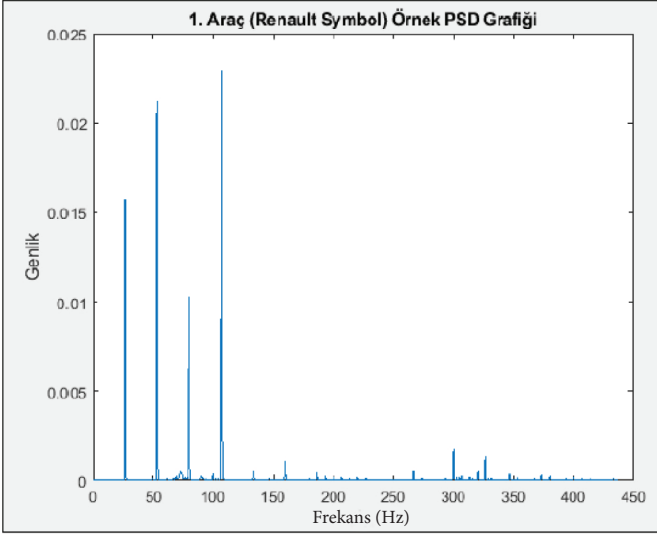
Ses kayıt cihazı ile ses kayıt esnasında oluşan farklı süreler (10-12 s aralığı) dikkate alınarak, her ses kaydı verileri sayısal ses düzenleme ve ses kaydetme yazılımı kullanılarak 10 s sürecek şekilde kısıtlanmıştır ve sesler mp3 formatından wav formatına dönüştürülmüştür. Wav formatına dönüştürülen tüm ses dosyaları Matlab programında uygun bir şekilde işlenebilmeleri amacıyla mat uzantılı dosyalara çevrilmiştir. Bu çalışmada alınan ses kayıtları 10'ar saniyelik süreler içermekte olup, her araç için 50 adet ses kaydı alınmıştır ve sinyaller 44100 Hz örnekleme frekansına sahiptir. Kayıt edilen bu ses sinyalleri ile veritabanı oluşturulmuştur.

Şekil 5'te ve Şekil 6'da görüldüğü gibi tüm araçlara ait 50'şer adet ses kaydı verisi bulunmaktadır. Şekillerde yalnızca iki aracın birer adet ses kayıt verisi örnek olarak verilmiştir. Araçlara ait 50'şer adet ses kaydı incelenmiş olup grafikler çizilmiştir. Bu ses verileri işlenerek güç spektrum yoğunlukları hesaplanmıştır. Güç spektrum yoğunlukları incelenerek 17 adet farklı frekans bölgesi tespit edilmiştir. Bu frekans bölgelerine denk gelen genlik değerleri öznitelik olarak alınmış ve bu veriler sı-

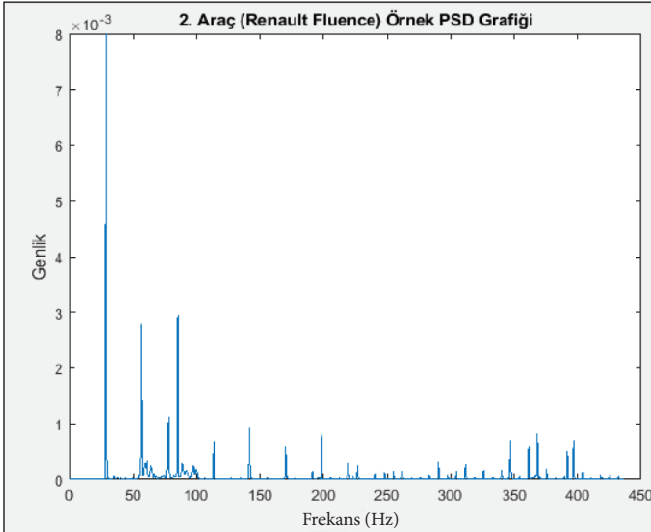


nıflandırma işleminde kullanılmıştır. Şekil 7'de ve Şekil 8'de Renault Symbol (1. Araç) ve Renault Fluence (2. Araç) araçlarına ait güç spektrum yoğunluğu grafikleri verilmiştir.

Her araç için ayrı ayrı oluşturulan  $17 \times 50$ 'lik öznitelik matrisindeki öznitelikler çekildikten sonra bu verilerden  $17 \times 25$ 'lik kısmı eğitim aşamasında geriye kalan  $17 \times 25$ 'lik



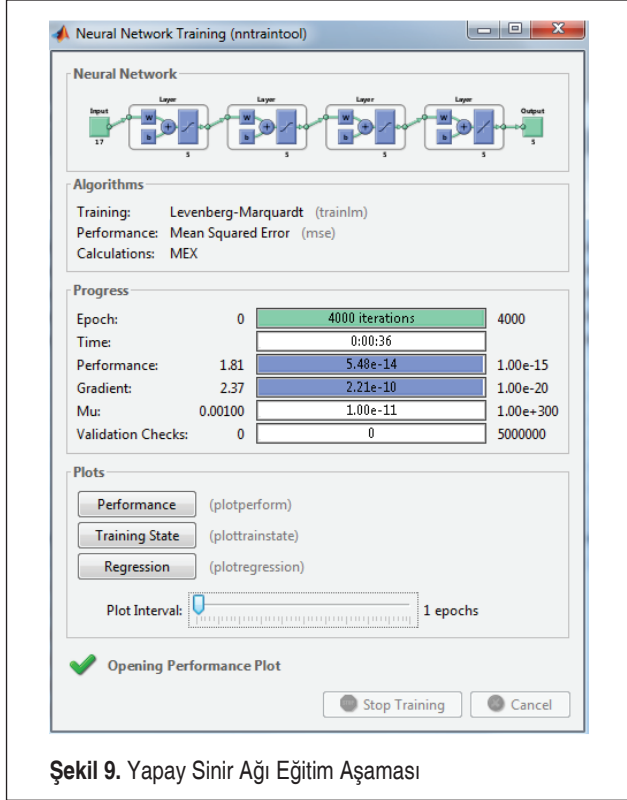
Şekil 7. Renault Symbol (1. Araç) Aracına Ait Güç Spektrum Yoğunluğu Grafiği



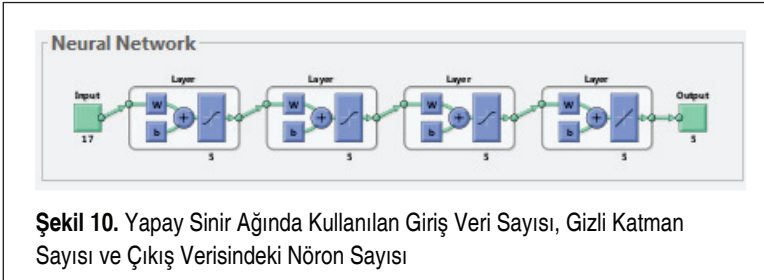
Şekil 8. Renault Fluence (2. Araç) Aracına Ait Güç Spektrum Yoğunluğu Grafiği



veri kısmı ise test aşamasında kullanılmıştır. Sınıflandırma aşamasında yapay sinir ağları kullanılmıştır. Yapay sinir ağları farklı nöron sayıları ve gizli katman sayılarında denenmiştir. Deneme ileri beslemeli yapay sinir ağında Levenberg-Marquardt algoritması kullanılarak 17 adet giriş verisinde dört gizli katman sayısında ve çıkış katmanında beş nöron içeren bir yapıda oluşturulmuştur. Yapay sinir ağının eğitimi Şekil 9'da ve Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 9. Yapay Sinir Ağı Eğitim Aşaması



Şekil 10. Yapay Sinir Ağında Kullanılan Giriş Veri Sayısı, Gizli Katman Sayısı ve Çıkış Verisindeki Nöron Sayısı



Yapay sinir ağı eğitildikten sonra test edilip ve çıkış verileri incelenmiştir. Eğitim setinin çıkış verileri 1 ve 0 tanımlaması yapacak şekilde eğitilmiştir. Tanıma işlemi şu şekilde anlamlandırılmaktadır: her araç için bir satır bulunmaktadır. İlk satır 1. araç için, ikinci satır 2. araç, üçüncü satır 3. araç, dördüncü satır 4. araç ve beşinci satır ise 5. aracı temsil etmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi test 25 veri ile yapılmıştır. Her araç için 25 adet test verisi, 5 araç için toplamda 125 adet test verisi bulunmaktadır. Test aşamasından sonra çıkış verisinde, 1. araç için 0-25 arasındaki sütun incelenir ve 1. satırda 1 veya 1'e yakın değerlerin bulunma oranı 1. aracın o oranda tanındığı anlamını taşır ve tanıma yüzdesi hesaplanabilir. Aynı şekilde 2. araç için 25-50 aralığındaki sütun incelenir ve 2. satırdaki 1 ve 1'e yakın değerlerin bulunma oranlarına bakılarak tanıma oranı hesaplanır. Bu işlem 5 araç için, her araç kendi satırında olmak üzere yapılmıştır. İleri beslemeli yapay sinir ağı kullanılarak yapılan sınıflandırma çalışmasında, her katmanda beş nöron bulunan dört gizli katmanla yapılan test sonucunda %99,2 başarı oranında sınıflandırma yapılmıştır.

**Çizelge 2. Araçlarda Tanıma İçin Kullanılan Yöntem**

1. Araç (0-25. sütun)					2. Araç (25-50. sütun)					3. Araç (50-75. sütun)					4. Araç (75-100. sütun)					5. Araç (100-125. sütun)				
1	1	1	1	1																				
					1	1	1	1	1															
										1	1	1	1	1										
															1	1	1	1	1					
																				1	1	1	1	1

## 5. BULGULAR

Çalışmada, beş farklı modeldeki otomobilin motorlarından 50'şer adet ses kaydı aynı ortamda alınmıştır. Tüm ses kayıtlarının net olarak 10'ar s olması için 10 s üzerindeki kısımları ses düzenleme yazılımı kullanılarak kırpılmıştır. Ses verilerinin incelenmesi sonucu öznitelikler çıkarılmıştır. Sınıflandırma ileri beslemeli yapay sinir ağları kullanılarak farklı gizli katman ve katmanlarda bulunan farklı nöron sayıları ile yapılmıştır. Gizli katman sayısının artması ile eğitim için gereken süre artacağından, üç ve dört gizli katman sayısı kullanılarak, gizli katman sayısının ağırlık performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. 17 adet girişe sahip ileri beslemeli yapay sinir ağının üç katman sayısına sahip gizli katmanlarda yedi nöron ve çıkış katmanında beş nöron olmak üzere ve dört gizli katman sayısına sahip gizli katmanlarda beş nöron ve çıkış katmanında da beş nöron olacak şekilde iki ayrı yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Gizli katmanlarda yedi nöron ve çıkış katmanında beş nöron bulunan üç katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı eğitilirken eğitim çıktısı, ilk satır 0-25 sütunları arasında 1 ve 1 değerine yakınsa 1. araç, ikinci satır 25-50 sütunları arasında 1 ve 1 değerine yakınsa 2. Araç,



üçüncü satır 50-75 sütunları arasında 1 ve 1 değerine yakınsa 3. Araç, dördüncü satır 75-100 sütunları arasında 1 ve 1 değerine yakınsa 4. araç ve beşinci satır 100-125 sütunları arasında 1 ve 1 değerine yakınsa 5. araç olacak şekilde tanımlanmıştır. Çıkış sayısı 5'tir ve her grubun hedef çıktısı (1, 0, 0, 0, 0), (0, 1, 0, 0, 0), (0, 0, 1, 0, 0), (0, 0, 0, 0, 1) beşli değerleri olarak verilmiştir. Çalışmada eldeki toplam verilerin %50'lik kısmı olan 125 veri eğitim için geri kalan %50'lik kısım olan 125 veri ise test için kullanılmıştır. Tüm denemelerde yapay sinir ağıları Levenberg-Marquardt öğretim algoritması kullanılarak eğitilmiştir.

Üç katmanlı yapay sinir ağı test çıktısı kontrol edildiğinde 125 adet test verisi içinde altı adet veri aracı yanlış tanımlanmıştır. Bu denemede araç modelleri, %95,2 başarı oranında sınıflandırılmıştır. Daha sonra dört gizli katman sayısına sahip gizli katmanlarda beş nöron ve çıkış katmanında da beş nöron olan, ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli eğitilmiş ve test edilmiştir. Test çıktıları kontrol edildiğinde bir adet veri hatası görülmüş ve araç modelleri %99,2 başarı oranı sınıflandırılmıştır.

## 6. SONUÇ

Motor sesleri kullanılarak araç modellerinin tanınması amacıyla yapılan bu çalışmada sınıflandırma işlemi farklı katman ve nöron sayılarında ileri beslemeli yapay sinir ağıları yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Dört gizli katman her katmanda beş nöron bulunan ve çıkış katmanında beş nöron bulunan Levenberg-Marquardt öğretim algoritması kullanılan ileri beslemeli yapay sinir ağıları kullanılarak, sınıflandırmada %99,2 oranında başarı sağlanmıştır.

Çalışma, aynı marka farklı kasa tipine sahip ve farklı yakıt tipi ile çalışan, farklı marka ve modelde olan beş araç ile yapılmıştır. Sınıflandırmadaki başarı oranı dikkate alındığında aynı motora sahip olan araçların da birbirlerinden çok yüksek oranda ayırıştırılabildiği görülmektedir. Motor seslerinin frekansları, araçta aynı motor olsa dahi farklı kasa tipinde olduğundan dolayı farklılık gösterdiği düşünülmektedir. Ayrıca çalışmada, benzin ve dizel yakıt tipine sahip araçlarda incelenmiştir. Sınıflandırmada elde edilen %99,2 başarı oranı, aynı motora sahip farklı kasa tipindeki araçlar ile birlikte farklı yakıt tipine sahip araçların da ayırıştırılabildiğini göstermektedir. Yapılan çalışma sonucunda sınıflandırmada elde edilen yüksek başarı oranı, araçların motor sesleri kullanılarak tanınabileceğini göstermektedir.

Bu çalışma sonucu elde edilen sınıflandırmadaki yüksek başarı oranı, çalışmada kullanılan yöntemin yeterli veritabanı oluşturulması ile araçlardaki arızaların tespitinde kullanılabileceği düşünülmektedir. Ancak bu işlem için çok sayıda farklı marka ve modelde araca ulaşılması gerekmektedir. Araçlardan farklı zaman dilimlerinde, farklı





çalışma koşullarında, arıza oluştuğu durumunda ve arıza mevcut değilken, elde edilecek çok sayıda ses verisi ile veritabanı oluşturulmalı ve sesler işlenerek ayrıştırılmalıdır. Arıza tespiti aşamasında, araçlarda arızanın bulunup bulunmadığı veya arıza tiplerinin tanımlanarak bu arızaların araçta bulunup bulunmadığının tespitinde, çalışmada kullanılan yapay sinir ağları yönteminin kullanılabilir olduğu düşünülmektedir.

## 7. KISALTMALAR

DTW	: Dinamik Zaman Uydurma
HMM	: Gizli Markov Modeller
LPC	: Doğrusal Önkestirim Kodlama
MFCC	: Mel Frekans Kepstrum Katsayıları
YSA	: Yapay Sinir Ağları
SVM	: Destek Vektör Makineleri

## KAYNAKÇA

1. **Özgündüz, E., Türkmen, H. İ., Şentürk, T., Karşlgil, M. E., Yavuz, A. G.** 2010. "Vehicle Identification using Acoustic and Seismic Signals," IEEE 18. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Diyarbakır.
2. **Aykun, İ., Karşlgil, M. E.** 2009. "Ship Classification by Sound Signature," 17. Sinyal İşleme ve Uygulama Sempozyumu, Antalya.
3. **Janssens, K., Bianciardi, F., Britte, L., Van de Ponsele, P., Van der Auweraer, H.** 2014. "Pass-by Noise Engineering: a Review of Different Transfer Path Analysis Techniques," International Conference on Noise and Vibration Engineering, ISMA 2014, Belgium.
4. **Challen, B., Baranescu, R.** 1999. Diesel Engine Reference Book, Oxford; Butterworth-Heinemann Ltd., United Kingdom.
5. **Davis, K. H., Biddulph, R. and Balashek, S.** 1952. "Automatic Recognition of Spoken Digits," The Journal of the Acoustical Society of America, 24 (6), p. 637-642.
6. **Olson, K. H. and Belar, H.** 1956. "Phonetic Typewriter," The Journal of the Acoustical Society of America, 28 (6), p.1072-1081.
7. **Eray, O.** 2008. "Destek Vektör Makineleri ile Ses Tanıma Uygulaması," Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
8. **Nabiyev, V. V.** 2012. Yapa Zekâ, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
9. **Ölmez, T., Dokur, Z.** 2009. Uzman Sistemlerde Örüntü Tanıma, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
10. **Türkoğlu, İ., Arslan, A.** 1996. "Yapay Sinir Ağları ile Bozuk Örüntü Tanıma," Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi, p. 147-158.
11. **Öztemel, E.** 2006. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
12. **Aydın, İ.** 2008. "Otomobillerde Kullanılan İzolasyon Malzemelerinin Emme Katsayılarının Ölçülmesi ve Uygun Malzeme Kalınlığının Belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.