

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜNE VE KİMİL ZARARLILARININ SES İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE
SINIFLANDIRILMASI VE BİR GÖMÜLÜ SİSTEM GERÇEKLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgi Görkem YAZGAÇ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

ARALIK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜNE VE KİMİL ZARARLILARININ SES İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE
SINIFLANDIRILMASI VE BİR GÖMÜLÜ SİSTEM GERÇEKLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Bilgi Görkem YAZGAÇ
504131226**

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mürvet KIRCI

ARALIK 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504131226 numaralı Yüksek Lisans Bilgi Görkem YAZGAÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SÜNE VE KİMİL ZARARLILARININ SES İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE SINIFLANDIRILMASI VE BİR GÖMÜLÜ SİSTEM GERÇEKLEMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr Mürvet Kırıcı**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ece Olcay Güneş**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Müjgan Kıvan

Namık Kemal Üniversitesi

Teslim Tarihi : **25 Kasım 2016**
Savunma Tarihi : **28 Aralık 2016**





Aileme,

ÖNSÖZ

Söze değerli hocam ve danışmanım Doç. Dr Mürvet KIRCI'ya teşekkür ederek başlamam gerekir. Lisans öğrenciliğimden beri benden sabrını ve desteğini esirgemedi. Onun katkısı, yol göstermesi ve ısrarı olmasaydı bu çalışma mümkün olmazdı.

Elbette Prof. Dr. Ece Olcay GÜNEŞ ve Prof. Dr. Müjgan KIVAN'ın bu çalışmaya katkılarına ve bana sağladıkları yardıma müteşekkirim.

Deney düzeneği hazırlamama yardım eden Erdem, Tekirdağ'da evlerinde konaklamamı sağlayan Tayfun ve Hasan ve Turan'a teşekkür ederim.

Sercan ve Halil iki günde bir tezin nasıl gittiğini sormasaydı çalışmayı çoktan bırakmıştım. Onlarla aynı laboratuarda çalışmak bir şans.

Hemen hemen üç senemi alan bu çalışma sırasında öfkeme ve yılgınlığıma bolca maruz kalan annem Melek, babam Oktay ve kardeşim Arifcan'a teşekkür ederim. Mahmut Barla neşesini benden esirgemedi, çok değerliydi.

En özel teşekkürü ise Hazal hakediyor. İyi ki var.

Kasım 2016

Bilgi Görkem Yazgaç
Elektronik Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Süne ve Kıymıl Zararlıları.....	8
1.2 Kayıt Süreci.....	10
1.3 Uygulamanın Tanıtılması.....	12
2. MATEMATİKSEL YÖNTEMLER.....	15
2.1 Sıfır Geçiş Oranı.....	15
2.2 Enerji	16
2.3 Entropi.....	16
2.4 Spektral Ağırlık Merkezi ve Spektral Yayılma.....	17
2.5 Spektral Entropi.....	17
2.6 Doğrusal Öngörülü Kepstral Katsayıları.....	18
2.7 Çizgi Spektral Frekansı	20
2.8 Mel Frekans Kepstral Katsayıları.....	21
2.9 Pencereleme.....	23
2.10 k - En Yakın Komşuluk.....	24
3. SİSTEM MODELİ.....	27
3.1 Ara Sonuçlar.....	29
4. GÖMÜLÜ SİSTEM GERÇEKLEMESİ	53
4.1 Gömülü Sistem.....	53
4.2 Gerçekleme.....	54
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	61
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ.....	69

KISALTMALAR

RFID	: Radio Frequency Identification
SODAR	: Sonic Detection and Ranging
DÖKK	: Doğrusal Öngörülü Kepstral Katsayıları
MFKK	: Mel Frekans Kepstral Katsayıları
MAP	: Maksimum a posteriori(en büyük sonsal)
DVM	: Destekleyici Vektör Makinası
YSA	: Yapay Sinir Ağları
DVM RBF	: Radyal Bazlı Fonksiyon Destekleyici Vektör Makinası
SGO	: Sıfır Geçiş Oranı
AKD	: Ayrık Kosinüs Dönüşümü
DÖK	: Doğrusal Öngörü Katsayıları
ÇŞF	: Çizgi Spektral Frekansı
ÇSÇ	: Çizgi Spektral Çifti
WAV	: Waveform Audio Dosyası
RAM	: Random Access Memory
USB	: Universal Serial Bus
HDMI	: High Definition Multimedia Interface
PK	: Peak Dosyası
FPGA	: Field Programmable Gate Array



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Tezde incelenen böcek türlerinin taksomonik sınıflandırması.....	9
Çizelge 3.1: SGO histogramlarının Bayes Hata çizelgesi.	32
Çizelge 3.2: Zamana bağlı enerji histogramlarının Bayes Hata çizelgesi.	34
Çizelge 3.3: Entropi histogramlarının Bayes Hata çizelgesi.	36
Çizelge 3.4: Spektral ağırlık merkezi histogramlarının Bayes Hata çizelgesi.....	38
Çizelge 3.5: Spektral yayılım histogramlarının Bayes Hata çizelgesi.....	40
Çizelge 3.6: Spektral entropi histogramlarının Bayes Hata çizelgesi.....	42
Çizelge 3.7: Ses analiz yöntemleri için k-EYK sınıflandırma sonuçları.	42
Çizelge 3.8: Beş sınıflı yapıda Doğrusal Öngürülü Kepstral Katsayılar yönteminde her bir katsayı için Bayes Hata değerleri.	44
Çizelge 3.9: Beş sınıflı yapıda Çizgi Spektral Frekansı yönteminde her bir katsayı için Bayes Hata değerleri.	45
Çizelge 3.10: Beş sınıflı yapıda Mel Frekans Kepstral Katsayılar yönteminde her bir katsayı için Bayes Hata değerleri.....	46
Çizelge 3.11: MFKK ve ÇSF öznitelik vektörü kombinasyonu için karmaşıklık matrisi.....	48
Çizelge 3.12: MFKK ve ÇSF öznitelik vektörü kombinasyonu için kesinlik ve anımsama değerleri	49
Çizelge 3.13: DÖKK, ÇSF, ve MFKK kombinasyonları için sonuçlar	50
Çizelge 5.1: Gömülü sistem uygulaması sonucu elde edilen karmaşıklık matrisi	62
Çizelge 5.2: Gömülü sistem uygulaması sonucu elde edilen zamana bağlı performans metrikleri	63



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Süne zararlılarıyla mücadelede kullanılan kontrol yöntemi grupları.	3
Şekil 1.2: Böceklerin ürettikleri seslerin beş temel başlıkta gruplanması.	4
Şekil 1.3: Tekirdağ ili	10
Şekil 1.4: Kayıt için tasarlanan yapı ile bir kayıt örneği	12
Şekil 2.1: Üçgen filtrelerin mel ölçeğine göre, 150 kHz örnekleme frekansı için frekans düzleminde dağılımı	22
Şekil 3.1: Performans analizi için sistem modeli.....	28
Şekil 3.2: SGO histogramları: (a) İki sınıflı yapı ortalama değer. (b) İki sınıflı yapı standart sapma. (c) Beş sınıflı yapı ortalama değer	31
Şekil 3.3: Zamana bağlı enerji histogramları: (a) İki sınıflı yapı ortalama değerinin standart sapması. (b) Beş sınıflı yapı ortalama değerinin standart sapması.....	33
Şekil 3.4: Entropi histogramları: (a) İki sınıflı yapı minimum değer. (b) İki sınıflı yapı maksimum değer. (c) Beş sınıflı yapı minimum değer (d) Beş sınıflı yapı maksimum değer	36
Şekil 3.5: Spektral Ağırlık Merkezi histogramları: (a) İki sınıflı yapı ortalama değer. (b) İki sınıflı yapı ortalama değerinin standart sapması. (c) İki sınıflı yapı maksimum değer	38
Şekil 3.6: Spektral yayılma histogramları: (a) İki sınıflı yapı maksimum değer. (b) İki sınıflı yapı ortalama değer	39
Şekil 3.7: Spektral entropi histogramları: (a) İki sınıflı yapı ortalama değer. (b) İki sınıflı yapı ortalama değerinin standart sapması. (c) Beş sınıflı yapı ortalama değer. (d) Beş sınıflı yapı ortalama değerinin standart sapması	42
Şekil 3.8: Farklı k değerleri ve yöntem kombinasyonları için ortalama doğruluk. ...	51
Şekil 4.1: Gömülü sistem.....	55
Şekil 4.2: Öğreme kümesinin (veritabanı) oluşturulması.	57
Şekil 4.3: Ses dosyasının hangi sınıfa ait olduğuna karar verme.	58



SÜNE VE KIMIL ZARARLILARININ SES İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE SINIFLANDIRILMASI VE BİR GÖMÜLÜ SİSTEM GERÇEKLEMESİ

ÖZET

Tahıl türleri dünyanın her yerinde yaygın olarak ekilen ve yiyecek olarak tüketilen bitki türleridir. Çeşitli yerel mutfaklarda özellikle büyük yer tutan tahıl ürünlerinin üretimi ekonomik açıdan da büyük önem arz etmektedir. Bu önem tahıl ürünlerinin üretimine zarar veren canlıların tespitini ve bu canlılarla mücadeleyi ya da bu canlıların kontrolünü zorunlu kılmaktadır.

Türkiye'deki beslenme alışkanlığında buğday temelli ürünlerin tüketimi büyük yer kaplamaktadır. Türk tarımında da bu doğrultuda buğday üretimi konusunda geniş alanlar kullanılmaktadır. Buğdayın üretim ve tüketim açısından sahip olduğu önem, elde edilen ürünlerin yıllara göre güvenilir, sağlıklı ve bol olmasını dayatmaktadır. Beklenmedik mevsimsel değişimler bir yana buğday zararlılarının etkin kontrolü ürün güvenliği için yaşamsal önemdedir.

Süne ve kımlı zararlı türleri buğday üretimine zararı uzun yıllardır tespit edilmiş, ülkemizin buğday üretimi yapılan hemen her noktasında farklı yoğunluklarda da olsalar birlikte rastlanan, benzer mevsimsel davranışlara sahip böcek türleridir. En önemli tahıl zararlıları olarak gösterilebilecek bu böceklerin kontrolü ve zirai faaliyetlerin güvenliği için önerilebilecek erken tespit yöntemleri tarımsal faaliyetlerin planlanması ve güvenilirliği açısından önemli bir katkı sağlayacaktır. Bu tez çalışmasının odaklandığı yer tam da burasıdır.

Tez çalışmasında süne ve kımlı zararlılarının erken tespiti ve sınıflandırılması amacıyla çeşitli ses analiz ve işleme yöntemlerinden elde edilen verileri kullanan bir sistem modeli önerilmekte ve bu modelin uygulandığı bir gömülü sistem uygulaması örnek olarak gösterilmektedir.

Tezin ilk bölümü giriş bölümü olarak tasarlanmıştır ve yukarıda bahsedilen amacın altının doldurulması ve hipotezin formüle edilmesiyle başlamaktadır. Hipotez, "Süne ve kımlı zararlıları, yüksek örnekleme frekansına sahip ses verilerinden elde edilen öznitelik vektörleri kullanılarak, makine öğrenmesi yöntemleri ile yüksek başarı ile sınıflandırılabilir ve bu yöntem erken tespit uygulaması olarak kullanılabilir" şeklinde özetlenebilir. Bu bölüm literatür taraması, ihtiyaçların tartışılması ve veri toplama işlemini de içermektedir.

Çalışma doğası gereği disiplinler arası bir karakter taşımaktadır. Bu nedenle entomoloji ve bitki koruma alanlarından bilgilere yer verilmiştir. Ayrıca böceklerin sınıflandırılması, ve bu sınıflandırılmada ses verilerinin kullanılmasına dair akademik çalışma örnekleri de sunulmuştur. Tezde incelenen dört zararlı türü hakkında bilgiler ve bu zararlıların ses kayıtlarının alınması süreci de birinci

bölümde işlenmiştir. Ses kayıt sürecinde kullanılan donanımlar ve yazılımlar ile bu amaçla oluşturulan sistem de bu bölümde tanıtılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci kısmı matematiksel arka planın incelenmesine ayrılmıştır. Tezde özellikle yaygın kullanılan ses işleme ve otomatik konuşma tanıma yöntemleri kullanılmıştır. Ses verisinin incelenmesinde kullanılan yöntemlerin tanıtılmasında ilgili yonteme ilişkin matematiksel denklemlerden faydalanılmıştır. Ses verisinin incelenmesinin çeşitli aşamalarında Sıfır Geçiş Oranı, Enerji, Entropi, Spektral Ağırlık Merkezi, Spektral Yayılma, Spektral Entropi bilgileri incelenmiş, ses verisinden elde edilen öznitelik vektörlerinde Doğrusal Öngörülü Kepstral Katsayıları, Mel Frekans Kepstral Katsayıları ve Çizgi Spektral Frekansı yöntemleri kullanılmıştır. Bu bölümün devamında ise verilerin otomatik sınıflandırmasında kullanılan makine öğrenmesi yöntemi olan k - En Yakın Komşu algoritması tanıtılmıştır.

Üçüncü kısım matematiksel arka planda belirtilen yöntemlerin uygulanmasıyla ortaya çıkan sistem modelinin tanıtıldığı bölümdür. Sistem modelinin oluşturulması ve bu modele ilişkin performans analizi yöntemleri bu bölümde işlenmiştir. Bayes Hata Oranı ve Karmaşıklık Matrisleri tanıtıldıktan sonra bölüm sistem modelinin MATLAB yazılım ortamındaki performansından elde edilen ara sonuçların verilmesi ve bu sonuçların değerlendirilmesiyle sonuçlanmaktadır. Bu ara sonuçlar orta süreli istatistik verilerinden elde edilen histogramlar, Bayes Hatası Tabloları, komşuluk sayısının sistem doğruluğuna etki grafiği gibi verilerden oluşmaktadır.

Sistem modelinin makine öğrenmesi kısmında kullanılan veri ikinci bölümde açıklanan üç ses özellik çıkarma yöntemi olan Doğrusal Öngörülü Kepstral Katsayıları, Mel Frekans Kepstral Katsayıları ve Çizgi Spektral Frekansı yöntemlerinin farklı kombinasyonları ile elde edilen öznitelik vektörleridir. Sistem performansının bu yöntemlerin kombinasyonlarına göre davranışı incelenerek en başarılı yöntem kombinasyonu seçilmiştir. Mel Frekans Kepstral Katsayıları ve Çizgi Spektral Frekansı yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bu yapı sınıflandırma doğruluk performansı açısından en başarılı sonucu vermiştir.

Tezin dördüncü kısmı gömülü sistem yaklaşımına ilişkindir. Bu kısımda üçüncü bölümde en başarılı sonucu veren Mel Frekans Kepstral Katsayıları ve Çizgi Spektral Frekansı yöntemlerine dayanan yapı UDOO QUAD adlı mikrobilgisayar üzerinde uygulanmıştır. Bu uygulama sırasında kullanılan Python yazılım dili açık kaynak kodlu olması ve sayısal yöntem uygulamalarına olanak tanıyan geniş kütüphanelere sahip olması nedeniyle seçilmiştir. Verilerin mikrobilgisayar üzerinde okunması sırasında yaşanan problemler ve bu problemlere ilişkin çözüme de bu bölümde değinilmektedir. Sistemin bu mikrobilgisayar üzerinde yeniden kurulmasının nedeni bu tez ile başlayan çalışmaların sonucunda sahada kullanılabilir bir tümleşik tasarımın olanaklı olduğunu göstermektir.

Tez çalışmasının sonuç bölümü ara sonuçların tekrar değerlendirilmesine ek olarak gömülü sistem gerçekleştirilmesinden elde edilen karmaşıklık matrisi, doğruluk ve hassasiyet verilerinin incelenmesini içermektedir. Gömülü sistem uygulamasında yönelik değerlendirme oldukça açık bir şekilde saha uygulaması için yapılacak bir tasarımın programlama dili, uygulama algoritması, algoritmanın uygulanacağı mikrokontrolcü gibi konuların gelecek çalışmalar açısından tekrar ele alınması

gerektiğini göstermekle beraber, kurulan matematiksel model ve yapılan uygulamanın hipotezi doğruladığını söylemek mümkündür. Tez çalışmasında önerilen yöntem, hedeflenen amaç doğrultusunda bir ilk çalışmadır ve bu ilk adım hedeflediği parametreleri sağlayarak, daha ucuz, verimli ve etkili ticari ya da bilimsel uygulamalar açısından bir temel oluşturma görevinin altından fazlasıyla kalmaktadır. Sonuç bölümü bu değerlendirme ve gelecek çalışmalara dair olasılıkların incelenmesiyle bitmektedir.





CLASSIFICATION OF SUNN PESTS USING SOUND PROCESSING METHODS AND AN EMBEDDED SYSTEM REALIZATION

SUMMARY

Cereal types are the plant types that are widely planted and consumed as food all around the world. With their weight in different domestic cuisines, production of cereals holds an undeniably great economic importance. This importance places great demand on the detection and the struggle against or control of insect pests of cereals.

Wheat is one of the types of cereals. Consumption of wheat based products covers major share in the nutrition habits of inhabitants of Republic of Turkey. As a direct consequence, vast areas are designated as wheat plantations in Turkish agriculture. With respect to importance of wheat by means of production and consumption, it is demanding that product yield of wheat should be reliable, healthy and abundant by years. Apart from damages caused by unexpected seasonal changes, the efficient control of pests of wheats has vital significance.

Sunn pests, such as *Eurygaster* and *Aelia* species are pest insects that have been clarified as harmful to Turkish wheat production for years. Although having difference in population density, having similar seasonal behaviors, the sunn pests can be encountered nearly all parts of Turkey. Sunn pests are the most important group of insect species which damage cereal plantations. Proposing early detection and control procedures of these insects would be significantly beneficial for planning and reliability of agricultural activities.

In this thesis, a system model with the purpose of early detection and classification of sunn pests are proposed. An embedded system based on the system model is given as an exemplary application.

First chapter of the thesis is designed as an introduction chapter and the purpose of the work, which is presented above is extended in this section. The hypothesis can be summarized as “sunn pest can be classified with high accuracy with machine learning methods by using sound feature vectors obtained from the data with high sampling frequency and this method can be successfully applied to early detection applications.” This chapter contains, literature review, discussion of needs for experiments and information about data collection procedure.

This work carries an interdisciplinary character because of its nature as it contains insect biology and electronics engineering. Therefore, information about entomology and plant protection is presented. Moreover examples of classification of insect species, the classification methods, sensors and setups that are used in insect

classification tasks and usage of sound data of insects in insect classification procedures are described. In this thesis four species of sunn pests are examined. The species are members of *Eurygaster* and *Aelia* genus. General definitions and information about four insect classes of *Eurygaster Integriceps*, *Eurygaster Austriaca*, *Aelia Rostrata* and *Aelia Accumniata* are given in the first chapter. The sound recording procedure, the hardware and software used in this recording and the recording system produced for sound recordings of subject insects are introduced in this section too.

Second chapter of thesis report is sorted for mathematical background which the thesis is based on. In the thesis, especially well known and widely applied sound processing, analysis and automatic speech recognition methods are preferred. The mathematical equations are used for introduction of respective methods that are used for analyzing sound data. For preliminary analysis, Zero Crossing Rate, Energy, Entropy of Energy, Spectral Centroid, Spectral Spread and Spectral Entropy information are gathered for midterm statistics of sound data. These methods give general information for subject sound data but, the analysis data are not preferred for classification task. For classification task, well known speech feature extraction methods of Linear Predictive Cepstral Coefficients, Mel Frequency Cepstral Coefficients and Line Spectral Frequencies methods are preferred and applied. Continuing the chapter the machine learning approach for classification is introduced. The machine learning method that is used for the automatic classification of sound feature data is chosen as simple k-Nearest Neighborhood method.

Third chapter is the section of thesis, where the system model which is produced after the application of mathematical methods that are introduced in the chapter two is described. Construction of system model and the performance analysis methods related to this model are examined in this section. The performance metrics are defined with respect to Bayesian Error Rates and Confusion Matrices. After the introduction performance analysis metrics, the chapter concludes with the presentation of intermediary performance analysis results of system application on MATLAB software environment. These intermediary results are composed of data such as histograms from obtained midterm statistics, Bayesian Error tables, confusion matrices, system accuracy and precision tables and neighborhood parameter-system accuracy graph.

The data that are used in the machine learning part of system model are constructed with the combinations of feature vectors that are obtained with three feature extraction method which are explained in Chapter Two. The input vectors for k-Nearest Neighborhood procedure is obtained for each recording using the combinations of Linear Predictive Cepstral Coefficients, Mel Frequency Cepstral Coefficients and Line Spectral Frequencies methods outputs. The behavior of system performance is examined for each combination and through this examination the most successful combination is decided as the usage of Mel Frequency Cepstral Coefficients and Line Spectral Frequencies together.

Fourth part of the thesis is about embedded system approach. In this chapter, a setup that depends on the Mel Frequency Cepstral Coefficients and Line Spectral Frequencies combination, which was decided as the most successful result, is applied

on the UDOO QUAD microcomputer. Being open source and enabling applications of numerical method libraries, Python programming language is preferred during the application of setup. Encountered problems about reading sound data on microcomputer and the solution to this problem is also explained in this chapter too. The cause of re-establishing system model this microcomputer is to show that the works beginning with this thesis work are capable of an integrated design which can be applied to on-field problems.

The fifth part of the thesis report contains conclusion and feature works. In conclusion of thesis report includes revaluation of intermediary results, in addition to confusion matrix, accuracy and precision results obtained from embedded system implementation. As the evaluation for embedded system application shows clearly that the a design for on-field application is subject to revaluation of programming language, application algorithm and the microcontroller that would be used for application, the established mathematical model and applied setup make it possible to say that hypothesis was verified. The proposed method in the thesis study is a first study in the direction of aimed purpose. This first step concludes its duty as reaching aimed parameters so that it provides a solid ground for feature works for cheaper, more efficient and more precise commercial or scientific applications. The last chapter ends with this evaluation and discussion about aforementioned future works.



1. GİRİŞ

Tahıllar dünya genelinde yaygın olarak ekilen ve yoğun olarak tüketilen bitki türleridir. Tahıl türleri farklı yerel mutfaklarda farklı önemde de olsa büyük yer tutmakta, bu nedenle de tahıl ürünlerinin üretiminin tartışılması imkansız bir ekonomik önemi bulunmaktadır. Bu duruma bir örnek Türkiye'dir. 1994 yılı verileri göstermektedir ki tahıl ürünlerinin üretimi Türkiye'deki tüm tarımsal üretimin %33.3'ünü oluşturmaktadır. Bu tahıl üretiminde ise en önemli pay buğdaya ait bulunmaktadır. Ekmek şeklinde yoğun olarak tüketilen buğday ürünleri %58'li bir oranla Türk insanının temel enerji kaynağı olarak tüketilmektedir [1]. Türkiye'deki beslenme alışkanlığının son 20 yılda pek fazla değiştiği söylenemez. Buğday ekmeği hala Türk mutfağında ve sofralarındaki önemini korumaktadır. Buğday örneğinde parçadan bütüne gidilirse, tahıl ürünlerinin hayatlarımızdaki yerleri nedeniyle sahip oldukları ekonomik önem daha açık olarak görülebilir. Buğday üretiminin dünya üretimine göre %50'den fazlası gelişmekte olan ülkelerde gerçekleşmektedir [2]. Dünya ülkeleri arasındaki iktisadi ilişkiler göz önüne alındığında, gelişmekte olan ülkelerin bu yoğun tüketilen ürünün temel üreticisi olması, buğdaya uluslararası ekonomik önem bahşetmektedir. Bu ekonomik önem nedeniyle buğday üretiminin güvenliğini, sağlığını ve verimini korumak gerekmektedir. Bu tarım ürününün güvenliği, sağlığı ve verimine karşı oluşacak tehditlerin en önemlilerinden birisi zararlı böcekler tarafından oluşturulan tehdittir. Bu nedenle tahıl zararlısı böceklerle karşı mücadele, ya da bu böceklerin kontrolünün sağlanması hayati önemdedir. Bu böceklerin neden olduğu ürün kayıpları, düşük ve yıllara göre beklenmedik oranlarda gerçekleşen hasat veriminin başat nedenlerinden biridir.

Süne ve kımıl zararlısı olarak adlandırılan böcek grubu tahıl ekim alanlarına zarar veren en önemli böcek grubudur. Süne ve kımıl zararlıları *Eurygaster* ve *Aelia* cinslerine bağlı böcek türlerini kapsamaktadır. Türkçe'de Süne zararlısı daha çok *Eurygaster* türlerini tanımlar iken Aeli türleri ise Kımıl zararlısı olarak tanımlanır. Literatürde bu canlılar Süne zararlıları, *Shield Bugs*, *Stink Bugs* gibi isimlerle anılan ortak bir kümede toplanmaktadır. Süne zararlılarına asıl olarak Doğu Avrupa ve Batı Asya sathında yaygın olarak rastlanmaktadır. Bu zararlılardan özellik *Eurygaster*

Integriceps Türkiye’de çok yaygın olan ve çok zararlı olarak belirlenmiş bir türdür. Bu zararlı türüne dair Türkiye’deki araştırmaların geçmişi, geçtiğimiz yüz yılın ilk çeyreğine kadar uzanmaktadır [3].

Süne türleri, bitki gelişiminin her aşamasına zarar verebilirler. Bitkinin gelişim aşamasına bağlı olarak, süne saldırısı bitkinin kök boğazı ve yapraklarından, başağa kadar geniş bir yelpazeyi hedef alır. Canlı nimf aşamasındayken genelde başaklardan beslenir. Buna karşılık, kışı geçiren erişkin canlılar daha çok kök boğazı ve yapraklara saldırarak merkez yaprağın zarar görmesine neden olurlar. Süne saldırısının en büyük zararı ise bitki tohumunun zarar görmesi sonucu meydana gelir. Kışlamış ergin tanımının nedeni bir gelişme aşamasına dayanmaktadır. Süne türleri tarlada konakladıkları ve beslendikleri bitki üzerinde üredikten sonra ilk erişkinlik aşamalarına tarlada ulaşırlar. Ancak mevsim süresince sıcaklık arttıkça süne zararlısı daha serin hava koşulları ve sıcaklıklara sahip bölgelere göç etme ihtiyacı taşırlar. Bunlar genelde yüksek rakımlı yerlerdir. Daha sonra süneler aynı alanlarda kış aylarını da geçirirler. Bahar mevsiminde kışı geçirdikleri ve kışlak adı verilen noktalarda kıpırdanmaya başlayan süne zararlıları, beslenmek ve üremek amacıyla buğday tarlalarına doğru bir göç hareketine başlarlar. İşte bu dönemdeki süneler kış görmüş erişkinlerdir [4].

Süne zararlısı popülasyonunun yoğunluğu, hava koşullarındaki değişiklikler, su kaynaklarına erişim olanakları, ürünün gelişim süresi ve ürün kültürünün karakteristiği süne saldırısı sonucu meydana gelecek ürün kayıplarını etkileyen faktörlerdendir [5]. Örneğin süne zararlısının popülasyonunda, bir dizi nedenle meydana gelen ani artışların buğday üretimine büyük zararlar verdiği, buna karşın ürün kültürünün değiştirilmesinin bir zararlı mücadele yöntemi olarak uygulandığı bilinmektedir. Süne böceğinin etkisi, epidemik karakter taşıyan yaygınlığı bu canlıların ekonomik önem kazanmasına ve bu canlılarla mücadele edilmesinin zorunlu kılınmasına neden olmuştur.

Süne zararlılarına karşı uygulanacak kontrol yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmalarda birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler Şekil 1.1’de görüldüğü gibi gruplanabilir. Süne zararlısına karşı önerilen mücadele yöntemleri kültürel kontrol, biyolojik kontrol ve kimyasal kontrol olmak üzere başlıca üç başlık altında kümelenir.



Şekil 1.1: Süne zararlılarıyla mücadelede kullanılan kontrol yöntemi grupları.

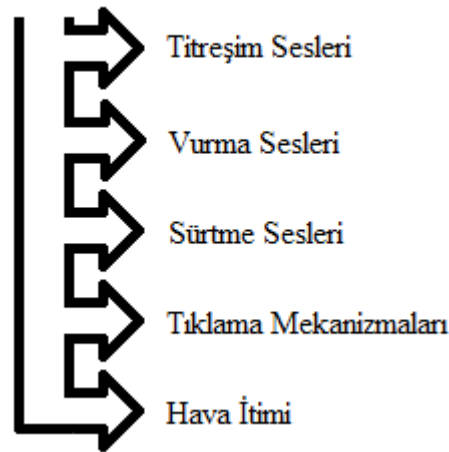
Kültürel kontrol yöntemleri bitki kültürüne ilişkindir. Bu başlıkta yapılan çalışmalarda bitki büyümesine etki eden olgulara müdahale edilmesi, bu olguların yeniden şekillendirilmesi, erken ve hızlı hasat çalışmaları ve zararlı etkenlere karşı dirençli türlerin ekilmesi gibi başlıklar incelenmektedir. Biyolojik kontrol yöntemleri, zararlıya karşı avcı türlerin ve parazitlerin kullanılmasını içerir. Örneğin, süne zararlısına karşı uygulanan biyolojik kontrol türlerinden biri de *Trissolcus* arısı kullanılarak süne zararlısının yumurtalarının parazitlenmesi, bu sayede de zararlının yayılmasına engel olunmasıdır [4]. Süne zararlısına karşı kimyasal kontrol yöntemleri, insektisit adı verilen kimyasal maddelerin, bir diğer deyişle zehirlerin kullanılmasını içermektedir. Bu kontrol yöntemi geçmişten bu yana geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Ancak uygulanan bölgelerin genişlemesi, bu yöntemden doğan sonuçların büyük zararlar vermesi, insan sağlığı, flora ve faunaya etkileri tümleşik kontrol yöntemlerinin uygulanmasını zorunlu kılmıştır. İnsektisitlerin insan ve çevre sağlığına karşı zararlı olduğu bilinmektedir [6]. Tümleşik kontrol, tüm kontrol yöntemlerinin uygun durumlarda, çevre ve sağlık parametreleri göz önüne alınarak ve kontrol uygulamasının etkinliğini ve verimini arttıracak şekilde uygulanmasıdır.

Şimdiye kadar, böcek zehirlerinin yaygın, aşırı ve zararlı kullanımını azaltmaya yönelik farklı alandan birçok araştırma yürütülmüştür. Bu araştırma alanlarından birisi de böcekler tarafından üretilen ses verilerinin işlenerek, böceklerin varlığına yokluğuna, konumuna ve popülasyonuna dair bilgilerin çıkarılmasını ve bu bilgilerin tespit uygulamalarında kullanılmasını içermektedir. Bu sayede böcek zararlılarına karşı doğru, uygun zamanlamaya sahip ve etkili önlemlerin alınması amaçlanmaktadır. Bu çözümler sayesinde zararlı böcek türlerine karşı mücadele ve kontrol uygulamalarının etkinliğinin artırılması ve insektisitlerin kullanımının azaltılması umulmaktadır.

Bilimsel araştırmalar incelendiğinde böceklere bağlı verilerin incelenmesi ve ölçülmesi için önerilen yöntemlerin geniş aralıktaki bir literatürü kapsadığı görülmektedir. Böcek davranışlarının farklı durumlarına göre değişecek Şekilde nerilen yöntemler, optik ve opto-elektronik cihazların kullanımı, videografi, termal görüntüleme, RFID ve radyo telemetri, X ışını radyografisi, bilgisayarlı tomografi, SODAR ve akustik tespit gibi başlıklara dağılmaktadır. Akustik tespit alanı aktif ve pasif akustik tespit, hidro-akustik, atmosferik alıcılar gibi bölümleri kapsamaktadır. Böceklerin pasif akustik tespiti, bu araştırma alanında Şimdiye kadar en çok ilgi çeken araştırma başlıklarından biri olagelmiştir. Bu alışma alanının çekirdeğini böceklerin oluşturduğu düşük Şiddetli seslerin ve beslenme seslerinin kullanılarak tespit yapılması bulunmaktadır. Böceklerden toplanan ses verileri genelde 500Hz ile 150kHz arasında bir frekans aralığında bulunmaktadır. Bu ses verilerinin toplanması ve böceklerin akustik tespiti uygulamaları için kullanılan sensörler kapasitif ya da piezoelektrik mikrofonlar gibi akustik transdüserler ya da ivmeölçerler gibi titreşim transdüserleri olabilir [7]. Sensör türleri hedeflenen böceğin türü ve uygulamanın kurulacağı sahanın durumu gibi etkenler nedeniyle değişebilir.

Böceklerde ses üretim mekanizmaları Şekil 1.2’de görülebileceği gibi beş temel grupta incelenmektedir. Bu gruplar titreşim sesleri, vurma sesleri, sürtme sesleri, tıklama mekanizmaları ve hava itimi olarak ayrılmaktadır.

Böceklerde Ses retim Mekanizmaları



Şekil 1.2: Böceklerin ürettikleri seslerin beş temel başlıkta gruplanması.

Böcekler tarafından üretilen titreşim sesleri kanat sesleri ve böceklerin eklemleri tarafından bitki yaprakları gibi bir yüzey üzerinden iletilerek meydana getirilen seslerden oluşmaktadır. Vurma sesleri böceğin bir vücut parçasını yine bir vücut

parçasına vurarak çıkardığı seslerken, sürtme sesleri genelde böceklerin bu iş için özelleşmiş vücut parçalarının birbirine sürtünmesi ile meydana getirilen seslerdir. Sürtme sesleri üretmek için yapılan hareketler belirli örüntülere sahiplerdir. Tık sesleri böceklerin kas sistemindeki kasılma gevşeme hareketleri nedeniyle meydana gelir. Son olarak, trake spiralleri yoluyla böcek vücudu dışına itilen hava yoluyla oluşturulan sesler hava itimi başlığı altında toplanır [8]. Tespit ve sınıflandırma uygulamalarının gerçekleştirilmesi amacıyla böceklerden çeşitli sensörler yoluyla toplanan ses verileri ses analizi ve sınıflandırma yöntemleri ile işlenir.

Elektronik alanındaki ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler gözlem verilerinden çok daha anlamlı ve ayrıntılı sonuçlar çıkarılabilmesine olanak tanımaktadır. Böcek sesleri için uygulanması önerilen analiz yöntemleri Fourier analizi gibi temel ve görece basit yöntemlerden, Doğrusal Öngörülü Kepstral Katsayıları (DÖKK) ve Mel Frekans Kepstral Katsayıları (MFKK) gibi görece daha karmaşık ses ve konuşma öznelik çıkarma yöntemlerine kadar geniş bir yöntemler havuzu oluşturmaktadır.

Hyatt ve Maughan yaptıkları çalışmada önerdikleri bir gösterge hesabı ve Fourier analizi uygulaması ile böcekleri kanat çırpma frekansını tespit etmek için bir yöntem ortaya atmışlardır. Böceklerin kanat sesleri konusunda en çok karşılaşılan problem bu seslerin böcek hareketleri ve çevresel koşullar nedeniyle zaman ve frekans anlamında çok değişken olmasıdır. Hyatt ve Maughan'ın çalışmasında veri toplamak için optik takometreden faydalanılmıştır. Böceklerin kanat çırpma seslerinin temel frekansının belirlenmesi için böcek ses verisinin daha az değişken bölmeleri seçilmiştir. Bu seçimle elde edilen veri parçalarından bir gösterge değer hesaplanarak bazı Diptera türleri için frekans bilgisine ulaşılmıştır [9]. Bu çalışmada hedef böcek türlerinin Diptera olduğu not edilmelidir.

Mankin ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada buğday ve ananas gövdelerine yuvalanmış farklı cins böceklere ait larvalar konu edilmiştir. Akustik tespit uygulaması için bir ivmeölçer sistemi önerilmiştir. İki farklı böcek türü için frekans spektrumları elde edilmiş ve larva aşamalarına göre farklılıkları bu veriye dayanarak incelenmiştir. İvmeölçer aracılığıyla elde edilen akustik veri, bitki gövdelerine yuvalanmış böceklerin hareket ve beslenme seslerinin tespit edilmesini olanaklı hale getirmiştir [10]. Laboratuvar ortamındaki bu çalışmada incelenen örneklerin belli böceklerin larvaları olduğu ve buna bağlı olarak uygulamanın mantığının dar bir hedef alana uygun olduğu söylenmelidir.

Akustik tespit yöntemlerini kullanarak Bennet-Clark, böcek ses verilerinin özelliklerinin bu böceklerin boyut ve kas yapısı ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu çalışma temelde böcek çağrılarına odaklanmıştır ancak çevresel durumların böcek ses üretimi konusunda önemli etkenler olduğunu ortaya koymuştur. Genelde böcekler tarafından üretilen sesler böceğin büyüklüğüyle ters orantılıyken, çevresel etkenler ve daha uzun mesafeli haberleşme ihtiyacı bazı böcek türlerinin beklenenin aksine düşük frekanslı sesleri tercih ettiğini göstermiştir [11]. Bazı böceklerin bir yüzeyi titreştirerek haberleşmesi bu haberleşme şekline dair bir örnek olarak gösterilebilir.

Fleurat-Lessard ve arkadaşlarının çalışması aynı grubun önceki çalışmalarına da dayanarak böceklerin akustik tespitinin bu canlıların çıkarttığı gürültüden de tespit edilebileceğini göstermiştir. Bahsi geçen araştırma, buğday tohumu yığınlarında bulunan böceklere yoğunlaşmaktadır. Böceklerden elde edilen ses verisiyle böceklerin türü, yaşam döngülerinde buldukları aşama ve popülasyon yoğunluğuna dair bilgilerin elde edilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca sensör performansının böceklerin ses verileri üzerinden karar verilmesinde önemli bir etken olduğu tartışılmıştır [12]. Sensör seçimi uygulamanın hedefleri doğrultusunda yapılmalıdır.

Gutierrez ve arkadaşları yaptıkları çalışmada aktif filtre yapısına sahip bir sensör tasarımını bitki koruma uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlamıştır. Akustik tespit bu tasarım üzerinden yapılmıştır. Çalışmanın konusu, kırmızı palmye kurtlarının tespiti üzerinedir. Bu çalışmada ses kayıt işlemini takip edecek şekilde bir gömülü sistem tasarlanmıştır [13]. Saha uygulamaları için bir gömülü sistem tasarımı elzemdir. Ayrıca, konu edilen canlılar ve uygulama ihtiyaçlarına göre bir sensör seçimi mümkün olmadığında, bu sensörün tasarlanması uygulamanın etkinliği ve mali kısıtlar açısından da avantajlı olarak değerlendirilebilir.

Bilimsel literatürde uçan böceklerin sesleri üzerinden tespiti konusunda çalışmalar oldukça geniş bir yer tutmaktadır. Güncel çalışmalar, sahada yapılacak tespit çalışmalarına uygulanabilir tasarım sorununu ele almaktadır. Raman ve diğerlerinin çalışması açık alandaki böcek seslerinin tespitini merkezine almaktadır. Konu edilen böcek cinsi sivrisineklerdir. Bu çalışma için hedef türleri kendine çekecek kimyasallar barındıran bir açık alan test birimi tasarlanmıştır. Bunun nedeni farklı kaynaklara sahip çevre seslerinin etkisini bertaraf etmektir. Görülmektedir ki

kaydedilen seslerin sadece küçük bir bölümü hedeflenen böcek türlerine aittir. Düşük yanlış doğrulama oranı, düşük maliyetli sistemlerle sahada uygulanabilir uçan böcek ses tespiti uygulamalarının tasarlanabileceğini göstermiştir [14].

Chen ve arkadaşları akustik verilerle ilgi çalışmalarda tek bir veriye aşırı bağlı uygulamaların kanat çırpma sesi tespiti problemlerinde kalıcı bir çözüme ulaşmak konusunda anlamlı bir sonuç vermeyeceğini iddia etmektedir. Buna göre bu tarz çalışmalarda veri hacmi karmaşık modellerin öğrenilmesi konusunda yeterli olmamaktadır [15]. Gerçekten de test kümesinin eleman sayısı makine öğrenmesi yöntemlerinin uygulanması ve bir genellemeye ulaşılması açısından önemlidir.

Tespit işlemleri noktasında çağdaş makine öğrenmesi yöntemleri sağlam bir temele oturmaktadır. Batista ve arkadaşlarının yaptığı çalışma, zararlı uçan böceklerin gerçek zamanlı tespitine olanak tanıyan, düşük maliyetli bir sistem tasarımını sağlamaya yöneliktir. Hedef böcek türleri yine bazı sivrisinek türleridir. Bu sistem bir lazer sensörü temel almakta ve bu lazer sensörden elde edilen kanat çırpma verilerini işlemektedir. Verileri işlemek için uygulanan yöntemler konuşma işleme yöntemleridir. Böceklere dair veriler, türlerin hareketliliği, türlerin sayımı ve sınıflandırılması konusunda karar vermek için kullanılmaktadır. Sınıflandırma işlemi için Bayes sınıflandırma yöntemleri ve Maksimum a posteriori (MAP) kestirim yöntemi uygulanmıştır. Üç uçan böcek sınıfı için sistemin tespit performansı başarılı olarak değerlendirilmektedir [16]. Makine öğrenmesi uygulamalarında yaygın olarak k-En Yakın Komşuluk (k-EYK), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin uygulanması sayesinde otomatik tespit ve sınıflandırma uygulamalarının doğruluğu ve kesinliği ile konu edilen sınıfların sayısı artabilmektedir. Yaptıkları çalışmada Silva ve diğerleri farklı konuşma işleme ve makine öğrenmesi yöntemlerini uçan böceklerden elde edilen lazer sensör verilerine uygulamışlardır. Çalışmalarında çıkartılan ses özelliklerinin ve uygulanan makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırmalı bir analizini sunmuşlardır. Ölçekli bir yöntem olan MFKK yöntemi uygulanan yöntemler arasında en yüksek doğruluk oranlarını vererek en kullanışlı yöntem olarak gözükmektedir. Makine öğrenmesi açısından kullanılan Radyal Bazlı Fonksiyon Destek Vektör Makinesi (DVM RBF) ile farklı öznelik kümeleri kombinasyonları ile ikili sınıflandırma probleminde, değişik böcek sınıfları için yüksek doğruluk oranlarına ulaşılmıştır [17]. Bu çalışmanın hedefi bir erken tespit

sistemi oluşturmaktan ziyade, zararlı uçan böceklerin yakalanması için bir akıllı kapan tasarımını sağlamaya yöneliktir.

Bilgisayar temelli yöntemlerle böceklerin varlığına, konumuna, çıkardıkları seslerin türü ve içeriğine, yaşam döngüsü aşamalarına ve boyutuna dair bilgi çıkarmak ve akıllı kapanlar, sensör sistemleri ya da genelleyerek, gömülü sistemler tasarlamak mümkündür. Bu tez çalışmasının temelini daha önceki gözlemlerden yararlanılarak dört buğday zararlısı türü alınmıştır. Bu zararlıların yüksek örnekleme frekansında elde edilen ses verilerinden yararlanılmıştır.

1.1 Süne ve Kımlı Zararlıları

Süne ve kımlı zararlısı türleri Scutellaridae ve Pentatomidae ailesine bağlı farklı cins böcekleri kapsayan zararlı türleridir. Literatürde süne ve kımlı adı ile genellenen bu canlı türleri Doğu Avrupa'dan Kuzey Afrika'ya, oradan da Batı ve Orta Asya'ya kadar geniş bir coğrafyada rastlanan ve tahıl ekim alanlarına verdikleri zararla bilinen canlı türleridir. Süne zararlısı tabiri, ülkemizde daha çok *Eurygaster* cinsine bağlı olan türler, özellikle de *Eurygaster integriceps* türü için kullanılan bir isimdir.

Aelia cinsi canlılar Türkçe'de kımlı zararlıları olarak adlandırılan canlılardır. Tez çalışmasında ele alınan böcek türleri çevresel ve ekonomik önemleri, yaygınlıkları ve erişilebilirlikleri göz önüne alınarak incelenmek için seçilmişlerdir.

Türkiye'deki tahıl ekim alanlarında başat bir tehdit olarak değerlendirilen süne ve kımlı zararlısı türlerinden dört tür çalışmanın konusu edilmiştir. Bu türler *Eurygaster integriceps*, *Eurygaster austriaca*, *Aelia acuminata* ve *Aelia rostrata* türleridir. Coğrafi olarak farklı popülasyon yoğunluklarına sahip olsalar da süne ve kımlı zararlısı türleri Türkiye Cumhuriyeti topraklarının hemen hemen her noktasında yaygın olarak karşılaşılan zararlı böcek türleridir.

Çizelge 1.1'de tez çalışmasında incelenen *Eurygaster integriceps*, *Eurygaster austriaca*, *Aelia acuminata* ve *Aelia rostrata* türü böceklerin taksonomik sınıflandırılmasına dair çizelge görülebilmektedir. Türkiye'de süne zararlısı olarak bilinen *Eurygaster* cinsine bağlı canlılar Scutellaridae ailesine aitken, kımlı zararlısı olarak bilinen *Aelia* türüne bağlı canlılar Pentatomidae ailesine aittir. Shield Bug ya da Stink Bug olarak da adlandırılan bu canlı türleri Hemiptera takımı içerisinde yer alır.

Yarım kanatlılar olarak da bilinen bu takımın üyeleri çıkardıkları pis koku ile insanlar tarafından rahatça tanınmaktadır.

Çizelge 1.1: Tezde incelenen böcek türlerinin taksomonik sınıflandırması

	Eurygaster integriceps	Eurygaster austriaca	Aelia rostrata	Aelia acuminata
Alem	Animalia	Animalia	Animalia	Animalia
Şube	Arthropoda	Arthropoda	Arthropoda	Arthropoda
Sınıf	Insecta	Insecta	Insecta	Insecta
Takım	Hemiptera	Hemiptera	Hemiptera	Hemiptera
Aile	Scutelleridae	Scutelleridae	Pentatomidae	Pentatomidae
Alt Aile	Eurygastrinae	Eurygastrinae	Pentatominae	Pentatominae
Cins	Eurygaster	Eurygaster	Aelia	Aelia

E. integriceps ve *E. austriaca*, *Eurygaster* cinsinin en sık karşılaşılan türleridir. Aslen otlak alanlarına yerleşen bu canlılar modern tarımın gelişmesiyle ve otlak alanlarının tarımsal üretime açılması sonucu tahıl ürünlerinin en tehlikeli zararlıları haline gelmişlerdir. Zarlılara karşı yaygın kimyasal kontrol uygulamalarının sonucunda süne zararlılarının avcılarının popülasyonunun azalması sonucu *Eurygaster* cinsinin oluşturduğu tehdit daha da artmıştır. Süne zararlıları mevsimsel bir göç davranışına sahip uçan böcek türleridir. Bu canlı yaz mevsiminin başında beslenmek ve üremek için buğday tarlalarını mesken seçer. Yaz sıcaklıklarının en yüksek değerini aldığı zamanlarda süne zararlıları kışlak bölgeler olan yüksek bölgeler göç ederler. Sıcaklıkların çok düşmesiyle daha alçak bölgelere göç eden süneler buralarda kışlarlar [18].

A. acuminata ve *A. rostrata* Türkiye'deki tahıl alanlarında yaygın olan kımıl zararlılarının yaygın örneklerindedir. Süne zararlılarıyla benzer mevsimsel davranışlara sahip bu canlılar, sünelere göre daha hareketli ve çevik bir yapıya sahiptir. Kımıllar uçan böceklerdendir.

Kımıllar ve süneler boyut ve vücut şekilleri konusunda bazı farklılıklara sahiptir. *A. acuminata* yaklaşık 10-11.5 mm boyutunda iken görece daha küçük olan *A. rostrata* ortalama olarak 8-9 mm boyutundadır. Süne türleri ortalama 1 cm boyutunda oval bir vücut şekline sahipken kımıl türlerinin vücut şekli daha eliptiktir [19].

Tez çalışmasında kullanılan böcek sınıflarına ait bireyler Tekirdağ bölgesinden toplanmıştır. Dört türe ait bireylerin tamamı kış geçirmiş erişkin bireylerdir. Böceklerin toplandığı alan olan Tekirdağ bölgesine ait Google Haritalar görüntüsü Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3: Tekirdağ ili

Toplanan böceklerden süne türleri Tekirdağ'da yaygın olarak bulunurken *A. acuminata*'nın daha çok Tekirdağ'daki tararlarda bulunduğu, buna karşılık *A. rostrata*'nın daha çok komşu Kırklareli ilindeki tahıl ekim alanlarını mesken seçtiği bilinmektedir.

Şimdiye kadar süne böceklerinin ürettikleri titreşim sesleri konusunda çeşitli çalışmalar yapılmışsa da, bu çalışmaların perspektifi tespit ve sınıflandırma olmamıştır [8,20]. Örneğin *Eurygaster integriceps*'in titreşim sesleri içinde değerlendirilebilecek çiftleşme çağrısının bir kimyasalın ya da rakibin varlığı gibi farklı koşullarda, farklı özellikler gösterdiği ortaya konulmuştur. Bu çalışma, süne böceklerinin çiftleşme ve düşmanlık koşullarında düşük frekanslı titreşimler ile haberleştiklerini göstermiştir [20]. Yapılan çalışmanın çerçevesi *E. integriceps* bireylerinin haberleşmesidir. Hava yollu sesler incelenmemiştir. Süne ve kımıl zararlıların tespiti ve sınıflandırılması şimdiye kadar alanın uzmanlarının görsel temas ve değerlendirmelerine dayalı olarak yapılırken bu problem için bir otomatik tespit yöntemi önerilmemiştir.

Çalışmada, her bir böcek sınıfı için farklı sayıda bireylere ulaşılabilmmiştir. Bu sayılar *E. integriceps* için 62 birey, *E. austriaca* için 18 birey, *A. acuminata* için 26 birey ve *A. rostrata* için 12 birey şeklindedir.

1.2 Kayıt Süreci

Süne ve kımıl zararlılarına ulaşılması ve bu seslerin kaydedilmesi bu çalışma süresince en çok zorlanılan bölüm olmuştur. Bu canlıların tarla ya da kışlak ortamından toplanması gerekir. Bunun için uzman yardımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmada ses kayıtlarının yapılması için yetkin ses ötesi mikrofonlar kullanılmıştır. Avisoft Bioacoustics tarafından üretilen CM16/CPMA tipi kapasitif mikrofonlar akustik ve ses ötesi bölgelerde çalışma yeteneğine sahiptir.

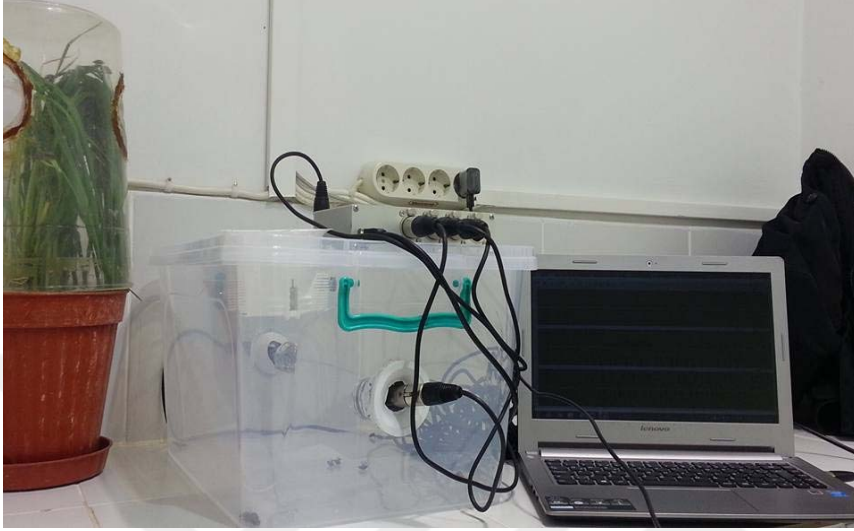
Literatürde de ses ötesi mikrofonların analiz, tespit ve sınıflandırma uygulamalarında kullanıldığı örnekler mevcuttur. Gelişmiş ses ötesi mikrofonların kullanımı, birçok türü dinlemeye ve belirlemeye olanak sağlamıştır. Bazı böceklerin ses ötesi seviyede ses ürettiği araştırmacılar tarafından bilinen bir olgudur. İlginç bir çalışmada Mohl ve Miller, tavuskelebeklerinin kanatlarıyla çıkardıkları ses ötesi tık seslerinin yarası kovucu olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir [21]. Spangler ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma *Achoria griseria* erkeklerinin dişileri çekmek için 100 kHz frekansında bir çağrı şarkısına sahip olduklarını göstermiştir. Araştırmada, bu çağrının aynı türün dişilerini çekecek şekilde yapay olarak yeniden üretilebileceği de gösterilmiştir [22].

Teknolojideki gelişmeye paralel olarak gelişmiş ses ötesi mikrofonların fiyatlarının da ucuzlaması, yüksek bant genişliğine sahip cihazların büyük sayıdaki böcek türlerini dinlemede, incelemede ve tanımlamada kullanılması olanağını doğurmuştur. Brizio ve arkadaşları bu tarz cihazların saha testi olması amacıyla Orthoptera türlerinin seslerini ses ötesi mikrofonlarla kayıt altına almıştır [23]. Bir diğer çalışma da düşük fiyatlı ses ötesi mikrofonların biyoakustik ve biyoçeşitlilik uygulamalarında kullanılabilecek kadar başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir [24].

Avisoft Ultrasoundgate cihazı veri uyumlulaştırma işlevini görece şekilde harici ses kartı görevini yerine getirmiştir. Bu donanım 150 kHz örnekleme frekansına sahip 16 bit'lik ses kayıtları elde edilebilmesine olanak sağlamıştır. Kayıt yapabilmek için donanımla birlikte sağlanan Avisoft Recorder yazılımı kullanılmıştır. Kayıtların incelenmesi ve ön analiz süreci için aynı firmaya ait SasLab ses analiz yazılımı kullanılmıştır.

Böceklerle yapılan ilk kayıt denemelerine düşük şiddetli, yüksek frekanslı, hava yollu haberleşme sesleri olabileceği beklentisiyle hareket edilmiş ancak böyle bir ses üretiminin mevcut olmadığı tespit edilerek kanat seslerine odaklanılmıştır. Böceklerin kanat seslerini kaydetmeye olanak tanıyacak bir yapının oluşturulması için şeffaf plastik saklama kabından yararlanılmıştır. Rahatça açılıp kapanabilen, hafif olduğundan kolay taşınabilen ve şeffaf olduğu için gözlem yapmayı

kolaylaştıran 25lt'lik kabın üç farklı yüzeyine ses ötesi mikrofonlar monte edilmiştir. Bu mikrofonlardan biri kapağın ortasında diğer ikisi de karşılıklı kare yüzeylerdedir. Aynı anda üç mikrofonla üç kanaldan kayıt yapılmıştır. Kayıt yapısı Şekil 1.4'te görülebilir.



Şekil 1.4: Kayıt için tasarlanan yapı ile bir kayıt örneği

Çalışmada kullanılan kayıtlar 2016 yılının ilkbahar-yaz aylarında gerçekleştirilmiştir. Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında yapılan kayıtların her biri aynı zamanda böceklerin yaşam döngülerindeki farklı zamanlara da denk gelmektedir. Böcek kanat seslerinin kayıtları Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Bitki Koruma Laboratuvarı ve bu üniversiteye ait açık alanlarda yapılmıştır. Toplam kayıt süresi toplam 14 saattir.

1.3 Uygulamanın Tanıtılması

Süne ve kımlı zararlılarının otomatik tespitine olanak tanıyan bir sistem veya bu canlıların otomatik sınıflandırılması ile ilgili bir çalışma henüz ne önerilmiştir ne de uygulanmıştır. Entomoloji, ve bitki koruma alanlarında bu canlılara ilişkin araştırmalar elbette vardır ancak bu tez ile ilk kez önerilen, çok yaygın ve tehlikeli bu tahıl zararlılarının otomatik tespiti için ses verileri kullanılarak yapılan uygulamadır. Bu çalışmaya göre süne ve kımlı zararlıları, yüksek örnekleme frekansına sahip ses verilerinden elde edilen öznelik vektörleri kullanılarak, makine öğrenmesi yöntemleri ile yüksek başarı ile sınıflandırılabilir ve bu yöntem erken tespit uygulaması olarak kullanılabilir.

Çalışmanın analiz ve sınıflandırma işlemleri İstanbul Teknik Üniversitesi Sistem Araştırma, Modelleme ve Tasarım Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada süne ve kımıl ses kayıtları farklı ses özelliklerine göre incelenmiş, daha sonra ses öznitelik çıkarma uygulamalarıyla daha karmaşık veriler elde edilmiştir. Bu verilerin makine öğrenmesi ile sınıflandırılması ve bu sınıflandırma yöntemlerinin performans açısından incelenmesi sonrası bir kart üzerinde sistem gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde süne ve kımıl zararlılarının ses analizi ve işleme yöntemleri sayesinde otomatik tespitinin yapılabileceği ilk defa gösterilmiştir.





2. MATEMATİKSEL YÖNTEMLER

Tez çalışmasında, süne zararlılarının kanat seslerinden tür bazında sınıflandırma konusunda sonuçlara varmak için uygulanan matematiksel yöntemler, yaygın kullanılan ses analizi, ses öznitelik çıkartma yöntemleridir. Sınıflandırma için ise k-En Yakın komşuluk Yöntemi Uygulanmıştır. Bu bölümde uygulanan matematiksel yöntemler ilgili denklemler yardımıyla tanıtılacaktır. Ses analizi için uygulanan yöntemler Sıfır Geçiş Oranı, Enerji, Entropi, Spektral Ağırlık Merkezi, Spektral Yayılma ve Spektral Entropi gibi bilgilerin elde edilme yöntemleridir. Ses verilerinin öznitelik vektörlerinin oluşturulmasında Doğrusal Öngörülü Kepstral Katsayıları, Mel Frekans Kepstral Katsayıları ve Çizgi Spektral Frekansı yöntemleri kullanılmıştır.

2.1 Sıfır Geçiş Oranı

Sıfır Geçiş Oranı (SGO) ses işareti analizlerinden incelenen, işaretin zamana bağlı özelliklerinden birdir. SGO değerleri bir işaretin periyodu ile ilişkilendirilebilir. Genelde bu analiz ses işareti verisinin gürültülüğüne ilişkin bilgi verir. Gürültü işaretlerinden SGO değerinin yüksek olması beklenir [25].

Ses işleme yöntemleri ses verilerine parça parça uygulanır. Buna göre $x_i(n)$, $n=1,2,3,\dots,W_L$ iken bir ses işaretinin i 'inci parçasındaki örneklemelerin değeridir. W_L ses parçasının uzunluğunu verir. SGO değeri (2.1) numaralı denklemde görüldüğü gibi hesaplanabilir.

$$Z(i) = \frac{1}{2W_L} \sum_{n=1}^{W_L} |sgn[x_i(n)] - sgn[x_i(n-1)]| \quad (2.1)$$

$Z(i)$ değeri bir ses parçasının SGO değerini verirken, $sgn(\cdot)$ fonksiyonu da (2.2)'deki şekilde tanımlanır.

$$sgn[x_i(n)] = \begin{cases} 1, & X_i(n) \geq 0 \\ -1, & X_i(n) < 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

$Sgn(\cdot)$ fonksiyonu bir referans değere göre işarete pozitif ya da negatif değer atayan bir fonksiyondur. İşaret fonksiyonu olarak da tanımlanır.

2.2 Enerji

Ses veri kümesini analiz etmek için incelenen bir diğer özellik, ses işaretinin enerjisidir. Ses işaretinin zamana bağlı enerji değeri $E(i)$ denklem (2.3)'de görüldüğü gibi hesaplanır.

$$E(i) = \sum_{n=1}^{W_L} |x_i(n)|^2 \quad (2.3)$$

Görüldüğü gibi, enerji değeri ses parçasının uzunluğuna bağlıdır. Bu nedenle (2.4)'teki normalize edilmiş hali kullanmak daha anlamlıdır.

$$E(i) = \frac{1}{W_L} \sum_{n=1}^{W_L} |x_i(n)|^2 \quad (2.4)$$

Aslında (2.4)'te verilen denklem bir ortalama değerdir [25]. Bu değer bize karşılaştırma yapmaya yarayacak bir güç bilgisi vermektedir. *Aelia* ve *Eurygaster* cinsleri için enerji verisinin oldukça ayırt edici olması beklenmelidir. Çünkü *Aelia* ve *Eurygaster* cinslerine bağlı canlılar şekil, boyut ve davranış kalıpları, yani hareketlilik açısından farklılıklar göstermektedir.

Ses işareti analiz uygulamalarında zamansal enerji değeri, genelde standart sapma ve ortalama değere göre normalize edilerek kullanılmaktadır. İşaret zarfının düşük ve yüksek enerjili parçalar arasında ses şiddetine bağlı olarak değişimi beklendiğinden bu etkinin azaltılabilmesi adına normalize edilmiş değer tercih edilir.

2.3 Entropi

Ses işaretinin enerji seviyesindeki açık değişimler enerjinin entropi değeri sayesinde yorumlanabilir. Bu verinin aldığı düşük değerler, enerji zarfında açık değişikliklerin göstergesidir. Enerjinin entropisi hesaplanırken, önce bir veri örneğinin kısa zamanlı parçası K tane alt parçaya ayrılır. Daha sonra, bu K alt parçanın enerji değerleri hesaplanır. Alt parçanın enerjisinin kısa zamanlı parçanın enerjisine oranı şeklinde tanımlanabilecek e_j olasılık değeri denklem (2.5)'te görüldüğü şekilde hesaplanır [25].

$$e_j = \frac{E_{alt\ par\ca}}{E_{kisa\ zamanli\ par\ca}} \quad (2.5)$$

Bir işaret parçasının entropisi $H(i)$ denklem (6)'te görüldüğü gibi hesaplanır.

$$H(i) = - \sum_{j=1}^K e_j \cdot \log_2(e_j) \quad (2.6)$$

2.4 Spektral Ağırlık Merkezi ve Spektral Yayılma

Spektral Ağırlık Merkezi ve Spektral Yayılma, bir x_i işaretinin X_i olarak tanımlanabilecek spektrumunun şekli ile ilgili açıklayıcı bilgi taşıyan iki işaret niteliğidir. Bir ses parçasının spektral ağırlık merkezi C_i denklem (2.7)'de görüldüğü gibi hesaplanır.

$$C_i = \frac{\sum_{k=1}^{W_{fL}} k X_i(k)}{\sum_{k=1}^{W_{fL}} X_i(k)} \quad (2.7)$$

x_i ses işareti parçasının frekans spektrumu, Ayrık Kosinüs Dönüşümü ile hesaplanır. Frekans spektrumu verisi $X_i(k)$, $k=1,2,\dots, W_{fL}$ iken i 'inci ses parçasının AKD genlik katsayılarıdır. W_{fL} toplam genlik katsayısı sayısıdır.

Spektral ağırlık merkezi spektrum işaretinin ağırlık merkezi olarak tanımlanır. Bu nitelik, genelde Müzik Bilgi Çıkarımı sistemlerine uygulanagelmiştir. Bu işaret niteliğinin yüksek değerleri daha tiz sesleri niteler.

Spektrumun ikinci merkezi momenti, spektral yayılma olarak tanımlanır. Bu nitelik spektrumun spektral ağırlık merkezi çevresinde nasıl bir dağılım gösterdiğini niteler. Spektral yayılma S_i , denklem (2.8)'de görüldüğü gibi hesaplanır [25].

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{W_{fL}} (k-C_i)^2 X_i(k)}{\sum_{k=1}^{W_{fL}} X_i(k)}} \quad (2.8)$$

2.5 Spektral Entropi

Ön analiz sırasında hesaplanan spektral özelliklerden biri de Spektral Entropi'dir. Spektral Entropi'nin hesaplanması enerjinin entropisinin hesaplanmasına benzer şekilde gerçekleştirilir. Spektral Entropi hesaplanırken kısa zamanlı parçanın spektrumu alt bantlara ayrılır. Bunlar frekans aralıklarıdır. Buradan enerjinin entropisine benzer şekilde spektral enerji için bir normalize değer olan olasılık oranı hesaplanır. Bu hesaplama denklem (2.9)'de gösterildiği şekilde gerçekleşir.

$$n_j = \frac{E_{salt\ bant}}{E_{kısa\ zamanlı\ parçanın\ spektrumu}} \quad (2.9)$$

Normalize spektral enerjinin entropisi (2.10) numaralı denklemden görülebileceği gibi hesaplanır. Bir ses parçasının spektral entropisi H , olarak gösterilmiştir [25].

$$H = -\sum_{f=1}^{L-1} n_f \cdot \log_2(n_f) \quad (2.10)$$

2.6 Doğrusal Öngörülü Kepstral Katsayıları

Doğrusal Öngörülü Kepstral Katsayıları (DÖKK) yöntemi, insan ses sisteminin Doğrusal Öngörülü Analiz yöntemiyle modellenmesi ve bu model üzerinden kepsral katsayılarına ulaşılması amacıyla tasarlanmıştır. Bir ses işareti parçası (2.11)'deki denklemde görülebileceği gibi modellenir.

$$s_m[n] = \sum_{k=1}^p a_k s_m[n-k] + Gu[n] \quad (2.11)$$

Bu denklemde p sabiti tahmin derecesini gösterir. Bu derece katsayı sayısını temsil eder. Bir tüm kutup filtre olarak düşünülebilecek modelde G , filtrenin kazanç sabiti ve $u(n)$ 'de çıkış işareti olarak belirlendiğinde sistemin z -dönüşümü uygulanarak verilen modeli denklem (2.12)'de görülebilir.

$$V(z) = \frac{G}{1 - \sum_{k=1}^p a_k z^{-k}} = \frac{G}{A(z)} \quad (2.12)$$

$V(z)$ transfer fonksiyonu insan ses sisteminin $A(z)$ otoregresyon katsayıları üzerinden tanımlanmış bir modelidir. Bu katsayılar Doğrusal Öngörü Katsayıları (DÖK) olarak bilinir [24]. Bu katsayılar ses sisteminin karakteristiğini belirlerler. Bu işlem pencerelemiş işaret parçalarının otokorelasyonu gösteren lineer denklemler çözülerek gerçekleşir. Bu lineer denklem (2.13)'te verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} R[0] & R[1] & \dots & R[p-1] \\ R[1] & R[0] & \dots & R[p-2] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R[p-1] & \dots & R[1] & R[0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R[1] \\ R[2] \\ \vdots \\ R[p] \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$R[n]$ bir işaret parçasının otokorelasyon fonksiyonunu gösterirken, filtre kazancı (2.14)'teki denklem çözülerek hesaplanır.

$$G = \sqrt{R[0] - \sum_{k=1}^p a_k R[k]} \quad (2.14)$$

DÖK üzerinden hesaplanan kepsral katsayıları Doğrusal öngörülü kepsral katsayılar adı verilir. Bir işaretin kepsral analizi, o işaretin zaman temelli bir temsili olan kepsrumun hesaplanmasıyla gerçekleşir. Kepsrum frekans temelli gösterim olan spektrum sözcüğünden türetilmiştir. Bu analizde zaman birimi yerine quafrency birimi önerilmiştir. (2.15)'ten görülebileceği gibi bir işaretin kepsrumu işaret spektrumunun logaritmasının ters fourier dönüşümüdür. $\hat{s}[n]$ işaretin kepsrumudur.

$$\hat{s}[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \ln[S(\omega)] e^{j\omega n} d\omega \quad (2.15)$$

Kepstral analizin arkasındaki anafikir bir işaretin ses karakteristiğini dekonvolüsyon yardımıyla ortaya çıkarabilmektir. Bir işaret (2.16)'daki gibi sistem transfer fonksiyonu $v[n]$ ve gırtlaktan çıkan işaret $u[n]$ 'nin konvolüsyonu olarak modellenebilir.

$$s[n] = v[n] * u[n] \quad (2.16)$$

Bu denklem frekans bölgesinde bir çarpım işlemi olarak temsil edilir. Denklem (2.17)'de frekans bölgesinde gırtlaktan çıkan işaret ile sistem transfer fonksiyonunun yani ses karakteristiğinin ilişkisi verilmiştir.

$$S(\omega) = V(\omega)U(\omega) \quad (2.17)$$

İntegrasyon bir diğer deyişle tümlev işleminin doğrusal bir işlem olduğu bilindiğinden bir işaretin kepsturu $\hat{s}[n]$ (2.18)'de görüldüğü gibi ses sistemi kepsturunu $\hat{v}[n]$ ile gırtlak çıkış işareti kepsturunu $\hat{u}[n]$ 'nin toplamı olarak belirlenir.

$$\hat{s}[n] = \hat{v}[n] + \hat{u}[n] \quad (2.18)$$

Ses tanıma uygulamaları için kepsturumun iki önemli özelliğinden bahsetmek uygun olacaktır. Bunlardan ilki, periyodik bir işaretin kepsturumunun da periyodik olduğudur. İkinci olarak ise, quafrency indisi sonsuza giderken, ardışık filtre cevaplarının kepsturumunu azalan bir dizi özelliği gösterir. Gırtlak çıkış işareti yarı periyodik bir karaktere sahip olduğu için düşük quafrency indislerinin olduğu bölümler ses sistemine ait olarak belirlenmektedir. Bu nedenle ilk birkaç kepstural katsayı ses sistemini modellemek için yeterli görülmektedir. Bu katsayılara kepstural katsayılar adı verilmektedir. DÖKK hesabını gerçekleştirmek için döngüsel bir yaklaşım önerilmiştir ve (2.19a) ile (2.19b)'de gösterilmiştir.

$$\hat{v}[n] = \ln(G) \quad \text{for } n = 0 \quad (2.19a)$$

$$\hat{v}[n] = a_n + \sum_{k=1}^{n-1} \binom{k}{n} \hat{v}[k] a_{n-k} \quad \text{for } 1 \leq n \leq p \quad (2.19b)$$

DÖKK hesabı sonucunda elde edilen ilk birkaç katsayı, insan sesi söz konusu olduğunda kişinin kendi ses sisteminin ya da ses yolunun yapısına dair bilgi verecektir. Çünkü işaretin kendisi şekillendirilmeden önce periyodik ya da yarı periyodik bir işaret olarak değerlendirilebilir. Bu bakımdan fizyolojiye yani sınıflandırılan örneğe dair bilgi, ses sistemine dair bilgi olmalıdır. Bu anlamda böcekleri sınıflandırırken de ilk katsayılar incelemeye alınabilir. Çünkü canlının

ortamla ilişkilendiği noktada ortaya çıkan ses farklı fiziksel özelliklere sahip canlılar için farklı olacaktır.

DÖKK değerleri genelde p tane DÖK üzerinden hesaplanır. p tane DÖK, bir işaret parçasının p tane Doğrusal Öngörülü Kepstral Katsayı'sına işaret eder. DÖKK değerleri daha sonra bu ses parçası için bir öznitelik vektörü oluşturmak üzere gruplanırlar [26].

2.7 Çizgi Spektral Frekansı

Bir işaretin Çizgi Spektral Frekansı (ÇSF)'nin temel bir gösterimi olan Çizgi Spektral Çifti (ÇSÇ), Itakura tarafından işaretin Doğrusal Öngörü Katsayıları modelinin daha güçlü bir temsili olması amacıyla önerilmiştir [26]. ÇGÇ kuantalama açısından daha güvenilirdir, ayrıca daha büyük bir interpolasyon potansiyeline sahiptir. Bir işaretin doğrusal öngörülü modeli olan $A(z)$ (2.20)'de gösterilmiştir.

$$A(z) = 1 - \sum_{k=1}^p a_k z^{-k} \quad (2.20)$$

(2.21a) ve (2.21b)'de tanımlanan özellikleri gösteren çokterimliler simetrik ve anti simetrik çokterimliler olarak tanımlanırlar.

$$P(z) = z^{-p}P(z^{-1}) \quad (2.21a)$$

$$Q(z) = -z^{-p}Q(z^{-1}) \quad (2.21b)$$

Bu denklemlerin yardımıyla görülebileceği gibi $A(z)$ doğrusal öngörü çokterimlisi, bir simetrik ve bir anti simetrik çok terimli olarak ayrıştırılabilmek amacıyla yeniden düzenlenebilir. (2.22a) ve (2.22b)'deki denklemler $A(z)$ çokterimlisinin ayrıştırılmış halini göstermektedir.

$$P(z) = A(z) + z^{-(p+1)}A(z^{-1}) \quad (2.22a)$$

$$Q(z) = A(z) - z^{-(p+1)}A(z^{-1}) \quad (2.22b)$$

$A(z)$ doğrusal öngörü çok terimlisinin $P(z)$ ve $Q(z)$ çokterimlileri cinsinden yazılması da mümkündür. (2.23)'de $A(z)$ simetrik ve anti simetrik çokterimlilerin toplamı olarak ifade edilmiştir.

$$A(z) = \frac{1}{2}[P(z) + Q(z)] \quad (2.23)$$

ÇSÇ parametreleri $P(z)$ ve $Q(z)$ çokterimlilerinin sıfır ve kutupları olarak elde edilir. Bu iki çokterimlinin sıfır ve kutupları önemli özellikler taşırlar. İlk söylenmesi

gereken şudur: Bu çokterimlilerin tüm sıfır ve kutupları birim çember içerisinde yer alırlar. İkinci olarak, eğer $A(z)$ çok terimli minimum fazdaysa birim çember üzerindeki sıfırlar ayrılabilir ya da karıştırılabilir. Tüm sıfırların z düzleminde karmaşık eşlenikleri olduğu da son olarak söylenebilir.

Tüm sıfırlar birim çemberin üzerinde olduğundan ÇSC'leri gerçel sayılar düzlemiyle yaptıkları açılar cinsinden temsil etmek mümkündür [27]. ÇSC'nin bu şekilde açılal gösterimi Çizgi Spektral Frekans olarak adlandırılır. ÇSF katsayıları $[0, \pi]$ aralığında tanımlanır ve genelde $[0, 1]$ aralığında olacak şekilde normalize edilerek öznitelik vektörü olarak kullanılırlar.

$A(z)$ 'nin tüm kutup modelinde sıfırlar kutuplara dönüşür. ÇGF güç spektrumu üzerinde frekans düzlemine dik doğrular şeklinde betimlenebilir.

2.8 Mel Frekans Kepstral Katsayıları

Mel Frekans Kepstral Katsayıları (MFKK) ses işaretlerinde öznitelik çıkartılması alanında çok popüler olan bir yöntemdir. MFKK yönteminin anafikri mel ölçeği adı verilen bir ölçek üzerinden kepsral analiz işleminin gerçekleştirilmesidir. Mel ölçeği insan işitsel sisteminin modellenmesi üzerine oturtulmuş ve kökeni 80'li yıllara dayanan bir ses ölçeğidir [25]. MFKK'leri elde etmek için doğrusal aralıklara sahip olmak yerine üst üste gelen ve mel ölçeğine göre yerleştirilmiş üçgen filtreler grubunun frekans cevaplarından faydalanılır.

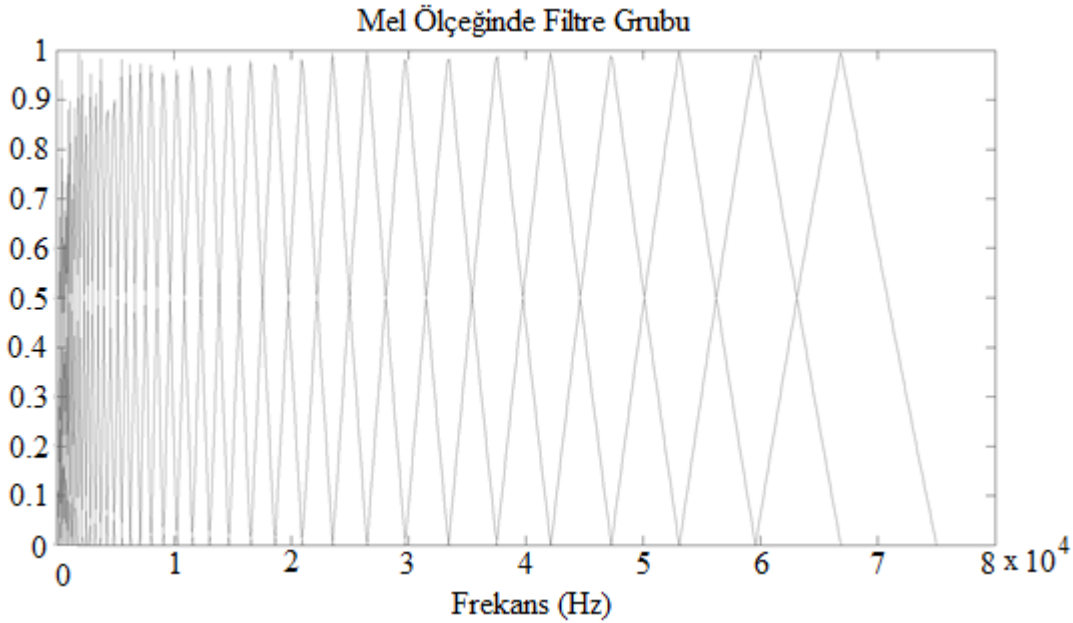
Mel ölçeği, insan işitsel sistemini düşük frekans bölgesinde daha etkin bir şekilde betimlemektedir. Yaklaşık 1 kHz frekansın altında mel ölçeğinin doğrusal frekans ölçeğine benzer şekilde davranması gerektiği gözlemlenmiştir. Buna karşılık 1 kHz frekansının üzerinde mel ölçeği ile doğrusal frekans ölçeği arasındaki ilişki logaritmiktir. Sesin psiko-akustik etkisini tam olarak sembolize edebilmek için birden fazla frekans dönüştürme fonksiyonu önerilmiştir. Bunlardan biri (2.24)'te verilmiştir.

$$f_{Mel} = 1127.01048 \ln\left(\frac{f}{700} + 1\right) \quad (2.24)$$

Bu fonksiyonda f_{Mel} mel birimiyle temsil edilen mel frekansını ve f 'de Hertz birimine sahip doğrusal frekansı göstermektedir.

Daha önce belirtildiği gibi MFKK'leri hesaplamak için ihtiyaç duyulan filtre grubu üst üste binen ve üçgen filtrelerdir. Bu filtre grubundaki bir filtrenin alt ve üst frekans sınırları bir önceki ve bir sonraki filtrelerin merkez frekansları olacak şekildedir. Bu filtrelerde maksimum kazanç, merkez frekans üzerine düşmekte olan üçgenin tepe noktasındadır.

Şekil 2.1'de 150 kHz örnekleme frekansı için üçgen filtrelerin frekans düzleminde yerleşimlerinin bir örneği gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Üçgen filtrelerin mel ölçeğine göre, 150 kHz örnekleme frekansı için frekans düzleminde dağılımı

Denklem (2.25)'te bir filtrenin merkez frekansının nasıl hesaplandığı gösterilmiştir.

$$f_{cm(Mel)} = f_{L(Mel)} + \frac{m(f_{H(Mel)} - f_{L(Mel)})}{M+1} \quad 1 \leq m \leq M \quad (2.25)$$

Bu fonksiyonda $f_{cm(Mel)}$ bir m filtresinin merkez frekansını mel cinsinden ifade etmektedir. İçinde M tane üçgen filtre bulunan tüm filtre grubunun alt ve üst sınırları $f_{L(Mel)}$ ve $f_{H(Mel)}$ olarak mel cinsinden ifade edilmiştir.

Bir m filtresinin çıkış denklemi (2.26)'da verildiği şekilde ifade edilir.

$$X_m = \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} |S[k]|^2 |H_m[k]| \quad 1 \leq m \leq M \quad (2.26)$$

Bu denklemde X_m filtre çıkışıdır. $|H_m[k]|$ ise k ayrık frekans indisi iken bir m filtresinin frekans genlik yanıtıdır. $|S[k]|$ pencerelemiş bir ses örneğinin N noktalı Hızlı Fourier Dönüşümü spektrumunu işaret eder.

Bu filtre çıkışı daha sonra işaret şiddetinin yüksekliğinin algılanmasını modellemek için logaritmik olarak sıkıştırılır. Bu (2.27)'de gösterilmiştir.

$$X_{m(\ln)} = \ln(X_m) \quad 1 \leq m \leq M \quad (2.27)$$

MFKK'leri elde etmek için uygulanan son adımda Ayrık Kosinüs Dönüşümü'ne başvurulur. (2.28)'deki gibi filtre çıkışlarını ayrıştırmak için uygulanan AKD işlemi sonrasında p üyeden oluşan MFKK öznitelik vektörü p tane AKD katsayısından elde edilir. p değeri mel ölçeği kepsrumunun derecesidir.

$$MFCC_k = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M X_{m(\ln)} \cos\left(\frac{\pi k(m-0.5)}{M}\right)} \quad 1 \leq k \leq p \quad (2.28)$$

Bu denklem bir ses parçasının k'inci Mel Frekans Kepstral Katsayısı'nın değerini verir [25]. Bu durumda öznitelik vektörü k tane elemandan oluşur.

2.9 Pencereleme

Ses öznitelik çıkartma uygulamalarında öznitelik çıkartma yöntemlerinin bütün bir ses işaret verisine uygulanması yerine öncelikle bir pencereleme aşaması uygulanır. Bu aşamada pratikte ses işaret verisi bir pencere fonksiyonu yardımıyla daha küçük parçalara bölünür. Bu parçalar ses işaretindeki değişimlerin kendi içerisinde daha tutarlı farklarda olacağı şekilde seçilir. Örneğin konuşma tanıma uygulamalarında pencere boyutları 20ms ile 40ms arasında seçilir. Bu parçalar öznitelik vektörleri oluşturmak açısından daha anlamlıdır. Denklem (2.29)'da görüleceği gibi bu işlem zaman düzleminde bir çarpma işlemi olarak görülebilir.

$$s_m[n] = s[n]w[n - m] \quad (2.29)$$

Denklemde görülen $s[n]$ pencereleme işleminin uygulandığı işaret örneğinin bütünüdür. Bir pencereleme fonksiyonu olan $w[n]$ bu işaret parçasıyla çarpıldığında $w[n]$ boyutuna sahip işaret parçası $s_m[n]$ elde edilir. $s_m[n]$ m anındaki işaret parçası olarak belirlenir. Pencereleme fonksiyonları kaydırılarak uygulanır. Dikdörtgen pencereden Hamming penceresine kadar farklı pencereleme fonksiyonları uygun buldukları yerde kullanılır. Bir işareti basitçe bölmek için dikdörtgen pencere kullanılabilir, ancak bu fonksiyonun sınır değerlerindeki keskinlik bozulmalara neden olur [27].

Genelde pencerelerin kaydırılması üst üste binme denenen ve tercih edilen bir olguyla gerçekleşir. Örneğin 20ms uzunluğundaki bir pencerede 10ms'lik bir

kaydırma %50'lik bir üst üste binmeye neden olur. Bu üst üste binme işarete dair bilginin korunması için gereklidir. Pencereleme uygulamasıyla elde edilen toplam parça sayısı (2.30)'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\left\lfloor \frac{N-W_L}{W_S} \right\rfloor + 1 \quad (2.30)$$

Burada N bir işaretteki toplam örnek sayısı iken W_L ve W_S ise sırasıyla pencere uzunluğu ve pencere kaydırmasıdır.

Yukarıda belirtildiği gibi pencere fonksiyonu uygulamaya göre seçilir. Örneğin dikdörtgen pencere uygulamalarının spektral bozulmaya neden olduğu bilinmektedir. Bu durumda spektral bozulmayı minimize etmek amacıyla çok yaygın kullanılan Hamming penceresi önerilir. Hamming pencere fonksiyonu (2.31)'de görülmektedir [25].

$$w[n] = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{W_L-1}\right) & 0 \leq n \leq W_L - 1 \\ 0 & \text{diğer türlü} \end{cases} \quad (2.31)$$

Çalışmada kısa süreli parçalarda 10ms'lik Hamming penceresi %75 üst üste binme ile uygulanmıştır.

2.10 k - En Yakın Komşuluk

K – En Yakın Komşuluk (k-EYK) farklı uygulamalarda en çok tercih edilen makine öğrenmesi ve sınıflandırma yöntemlerinden biridir. Bu tercihte temel neden yöntemin basitliğidir.

k-EYK yöntemi ilk olarak Fix ve Hodges tarafından bir parametrik olmayan örüntü sınıflandırma yöntemi olarak 1951 yılında önerilmiştir. k-EYK hem ikili sınıflandırma hem de çoklu sınıflandırma seneryolarında uygun bir sınıflandırma yöntemidir [28].

k-EYK sınıflandırmasında ilk adım öğrenme sürecidir. Bu süreçte öznitelik vektörleri şeklindeki veri, sınıflandırma sistemine öğretilir ve hangi sınıfa ait olduğu belirtilir. Sonraki adım ise test aşamasıdır. Test aşamasında basitçe test verisinin öğrenme verilerine olan uzaklık metrikleri hesaplanır. Uzaklık metrikleri hesaplandıktan sonra sonuçlar artan şekilde sıralanır. k tane en küçük uzaklık sonuca sahip öğrenme kümesi elemanı, test verisin k tane en yakın komşusudur. Test

verisinin hangi sınıfa ait olduğu kararı k tane en yakın komşuda en fazla hangi sınıfa ait üyeler varsa o sınıf seçilerek yapılır [25].

Uzaklık metrikleri Öklid, Hamming Minkovski, Chebyshev vb. şekillerde olabilir. Denklem (2.32)'de Öklid uzaklığı verilmiştir.

$$d(p, q) = d(q, p) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (2.32)$$

Burada $p=(p_1, p_2, \dots, p_n)$ ve $q=(q_1, q_2, \dots, q_n)$ olmak üzere p ve q Kartezyen koordinatlardır. Çalışmada Öklid uzaklık metriğinden yararlanılmıştır.

k-EYK sınıflandırıcısının çalışma performansı farklı performans değerlendirme yöntemleri kullanılarak bulunabilir. Bu yöntemler uygun öğrenme ve test kümelerinin seçimi amacıyla da kullanılabilir. Öğrenme kümelerinin uygun seçimi sınıflandırma sisteminin geliştirilmesi açısından önemlidir.



3. SİSTEM MODELİ

Süne ve kımıl zararlılarının seslerinin ses işleme ve öznitelik çıkartma yöntemleri ile incelenmesi ve otomatik olarak sınıflandırılması için bir sistem modeli önerilmiş ve bu model öncelikle masaüstü bilgisayarda analiz edilmek amacıyla kurulmuştur.

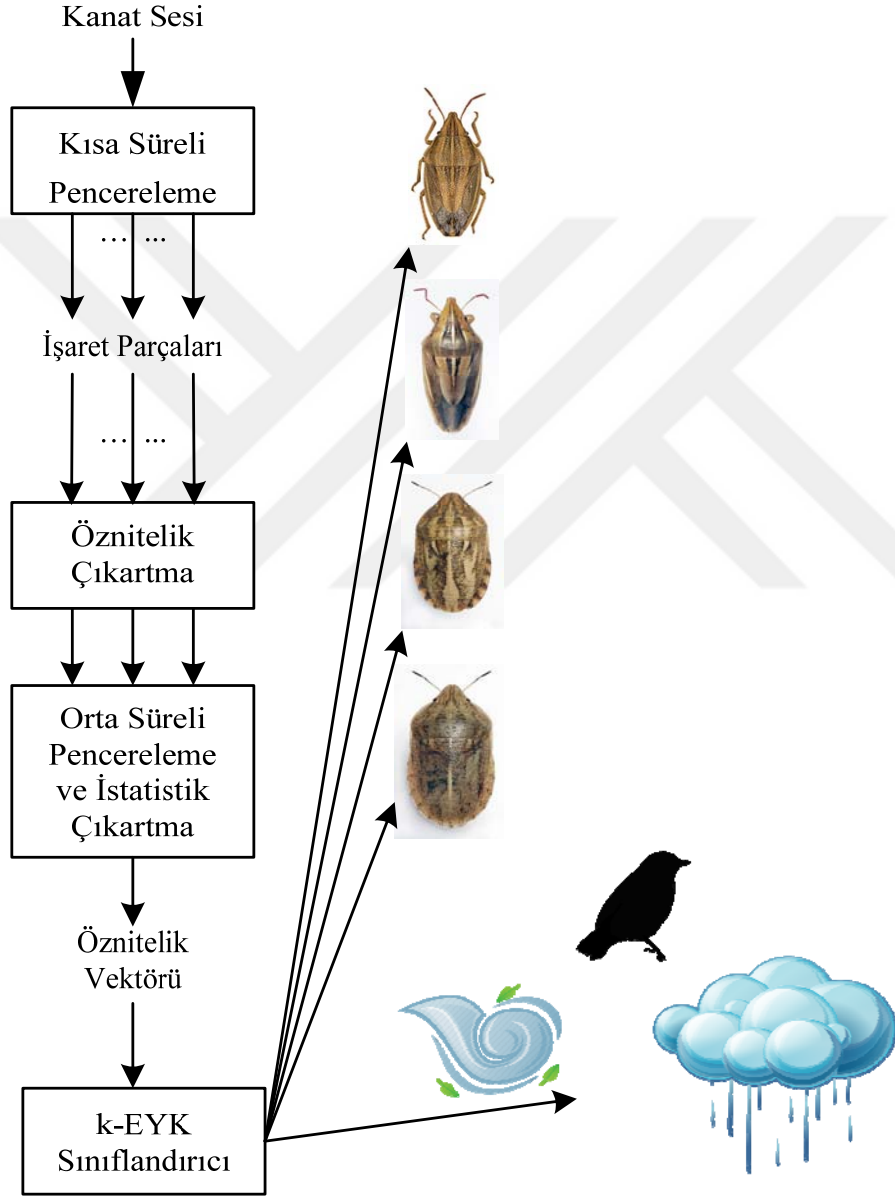
Dört hedef böcek türü olan *Aelia acuminata*, *Aelia rostrata*, *Eurygaster integriceps* ve *Eurygaster austriaca*'ya ait sesler ve bu böcek türleri dışında dış ortam kayıtları sırasında kaydedilen rüzgar sesi, yağmur sesi kuş sesi gibi ortam sesleri ile bes temel sınıf meydana getirilmiştir. Toplamı yaklaşık 14 saat süren kayıtlardan sadece bu sesleri barındıracak şekilde ses parçaları Avisoft SasLab Pro yazılımı üzerinde seçilerek farklı WAV dosyaları halinde kaydedilmiştir. Her bir ses dosyasının yaklaşık olarak aynı uzunlukta olmasına dikkat edilmiştir. Her sınıf içinde 250 ses dosyası olmak üzere toplam 1250 ses dosyası ile sistem modelinin analizi, tasarımı ve değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Her bir ses parçası yaklaşık olarak 250ms boyutundadır.

Sistem analiz, tasarım ve değerlendirme aşamasının masaüstü bilgisayarda gerçekleştirilen ilk bölümünde, MATLAB yazılım geliştirme ortamından faydalanılmıştır. MATLAB mühendislik alanında yaygın kullanılan, çok geniş yelpazede matematiksel yöntemlerin kullanılmasına olanak sağlayan kütüphanelere sahip ve yüksek seviyede bir yazılım dili kullandığından matematiksel algoritmaların kurulmasını oldukça kolaylaştıran bir yazılım geliştirme ortamıdır.

MATLAB ortamında kurulan sistemde her bir ses dosyası kısa süreli pencereleme ile bölünmektedir. Bu pencere fonksiyonu 10ms'lik bir Hamming penceresidir. 2.5ms'lik bir kaydırma ile %75 üst üste binme tercih edilmiştir. Bu kısa süreli pencere uygulanmış ses parçasından elde edilen her bir pencerelenmiş ses parçasına, ses analizi ve ses öznitelik çıkartma yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntem sonrası her bir ses parçası için bir öznitelik vektörü elde edilir. Bu aşamadan sonra orta süreli istatistikler elde edilir. Orta süreli istatistik için belirlenen pencere uzunluğu kısa süreli pencere uzunluğunun bir tam sayı katı olarak seçilmelidir. Çalışmada 100ms pencere ve %75 üst üste binme ile bir orta süreli pencereleme yapılmıştır. Bu

pencereleme aşaması ortalama değer, medyan, standart sapma, ortalamanın standart sapması, maksimum değer ve minimum değer istatistiklerinin çıkarılacağı grupları sağlamaktadır. Bu istatistikler her bir ses dosyası için bir vektör oluşturur. Bu vektörler sınıflandırma sisteminin girişi olarak kullanılır.

Şekil 3.1’de sistem modelinin basit bir şeması görülmektedir. Sistemin çıkışında ses dosyasının beş sınıftan hangisine ait olduğu belirlenmektedir.



Şekil 3.1: Performans analizi için sistem modeli

Sınıflandırma analizi sırasında DÖKK, ÇSF ve MFKK ile elde edilen öznitelik vektörleri sınıflandırıcıya giriş olarak verilmiş ve farklı performans değerlendirme yöntemleri ile sınıflandırıcı performansı değerlendirilmiştir.

Ses işleme yöntemlerinin böcek kanat çırpma verilerine uygulanmasının ilk aşamasında elde edilen öznitelik vektörlerinden oluşturulan histogramlar verilmiş ve buradan elde edilen olasılık değerleriyle Bayes Hata Oranı hesaplanmıştır.

Bayes Hata Oranı'ndan kısaca bahsetmek gerekirse, Bayes sınıflandırmasının sonsal olasılıklar üzerinden karar vermeye dayanan bir yapısı olduğu bilinmelidir. Denklem (3.1)'de sınıf isimleri ve öznitelik vektörlerine bağlı bir sonsal olasılık yoğunluk fonksiyonu verilmiştir.

$$P(a_i|x), i = 1, 2, \dots, N_c \quad (3.1)$$

Burada a_i sınıf isimlerini, x 'de öznitelik fonksiyonlarını göstermektedir. N_c önceden tanımlanmış ses sınıflarının toplam sayısıdır. Bayes sınıflandırmasında sonsal olasılıklar bilindiğinde maksimum sonsal olasılık değerine sahip olan sınıf denklem (3.2)'de görüldüğü gibi öznitelik vektörünün ait olduğu sınıf olarak belirlenir.

$$\gamma = \text{arg}_{a_i, i=1, \dots, N_c} \max P(a_i|x) \quad (3.2)$$

Bu noktada ikili sınıflandırma problemi için Bayes Hatasını incelemek anlamayı kolaylaştıracaktır. $p(x)$, x olayının meydana gelme olasılığıyken Bayes Hatası denklem (3.3)'teki gibi hesaplanır.

$$P_{BH} = \int_{R_1} P(a_1|x)p(x)dx + \int_{R_2} P(a_2|x)p(x)dx \quad (3.3)$$

Burada R_1 hatalı bir şekilde a_2 olarak sınıflandırılan öznitelik vektörlerini R_2 'de hatalı bir şekilde a_1 olarak sınıflandırılan öznitelik vektörlerini göstermektedir [25]. Bayes Hata Oranı en küçük azaltılamaz hata oranını göstermek için kullanılır.

Her ses işleme yöntemi için elde edilen orta süreli istatistikler ile oluşturulan histogramlar çalışmanın analiz kısmını meydana getirmektedir.

3.1 Ara Sonuçlar

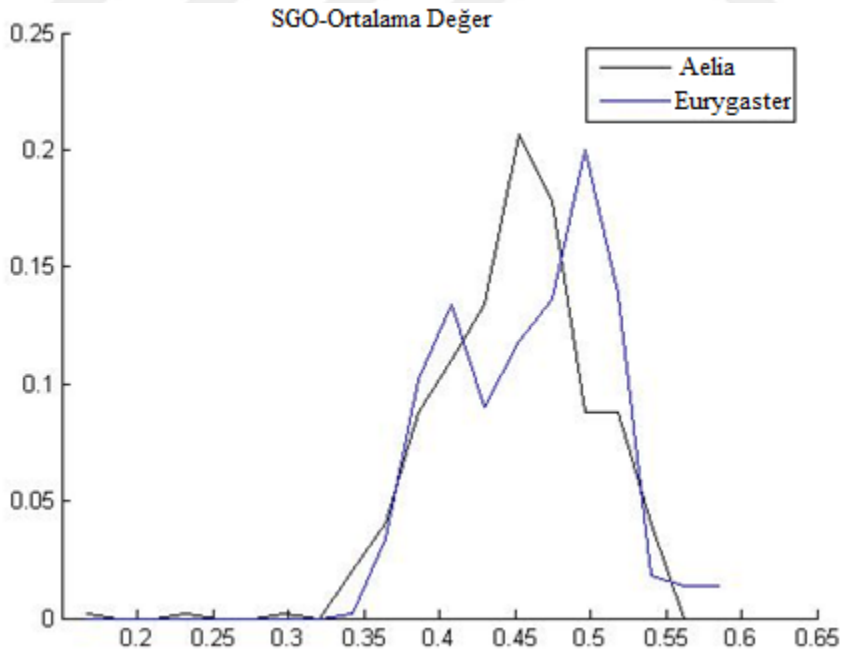
Ses sınıfları iki temel yapıda incelenmiştir. Bunlardan ilki beş sınıflı yapıdır. Bu yapıda *Eurygaster integriceps*, *Eurygaster austriaca*, *Aelia acuminata*, *Aelia rostrata* ve ortam seslerinin olduğu "Diğer" sınıf bulunmaktadır. İki sınıflı yapıda *Eurygaster* ve *Aelia* türlerine ait sesler ikili olarak incelenmiştir.

Her bir incelemede ortalama değer, medyan, standart sapma, ortalamanın standart sapması, maksimum değer ve minimum değer istatistiklerinden en açık bilgi verdiği düşünölenler seçilmiştir. İstatistiklere ait histogramlar şekil olarak verilmiş bunları Bayes Hata Oranı tabloları takip etmiştir.

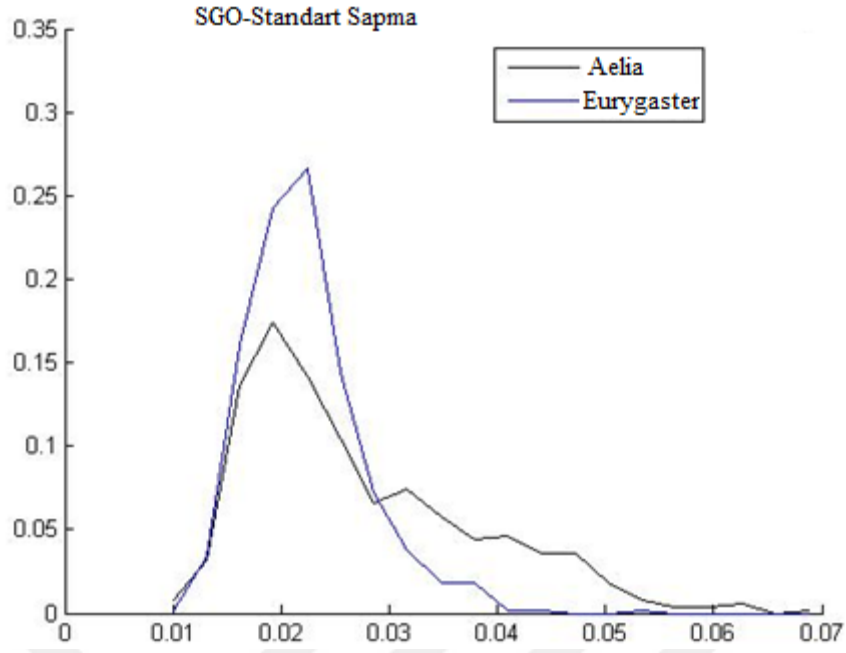
Sıfır Geçiş Oranı incelemesinde iki *Aelia* ve *Eurygaster* türleri için ortalama değer ve standart sapma histogramları Şekil 3.2a ve Şekil 3.2b'de verilmiştir. *Eurygaster integriceps*, *Eurygaster austriaca*, *Aelia acuminata*, *Aelia rostrata* ve Diğer'den oluşan beş sınıflı yapıda SGO ortalama değer histogramı Şekil 3.2b'de verilmiştir.

Görölebildiği gibi SGO ortalama değeri, konu edilen böcek grupları için benzerdir. *Eurygaster* ailesi üyelerinde bu değer hafifçe daha yüksektir. *Aelia* ailesi üyelerinin kanat çırpma sesleri incelendiğinde SGO değerinin standart sapması daha yüksek değerlere dağılmaktadır. Burada *Aelia* ve *Eurygaster* türlerinin ses özelliklerine dair istatistiksel fark açıkça gözlenebilmektedir.

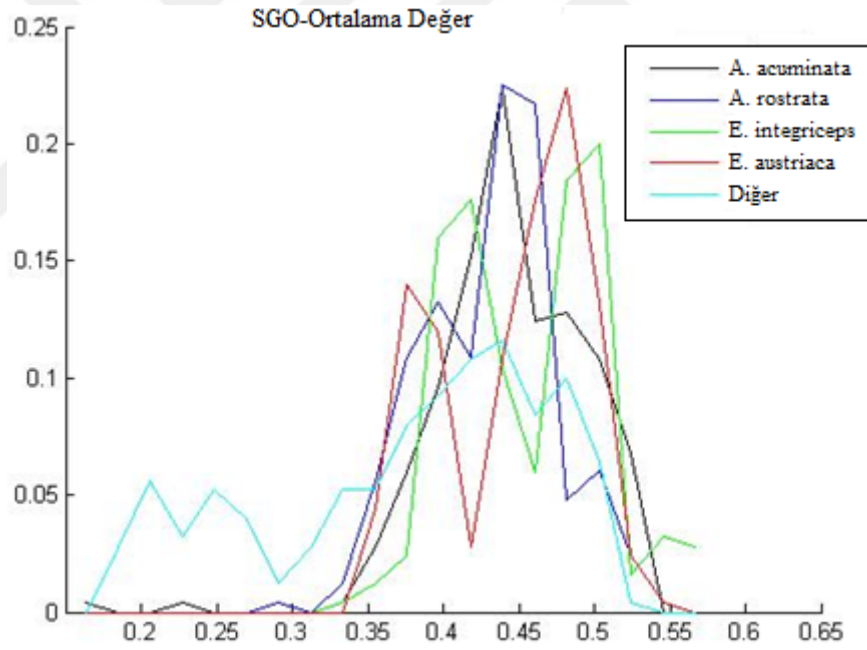
Cins içi istatistikler benzer şekilde ortalama değer histogramında gözlemlenmiştir. Burada, Diğer sınıfa ait ortam seslerinin SGO ortalama değerlerinin, daha geniş bir aralıkta dağıldığı görölmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.2: SGO histogramları: (a) İki sınıflı yapı ortalama değer. (b) İki sınıflı yapı standart sapma. (c) Beş sınıflı yapı ortalama değer

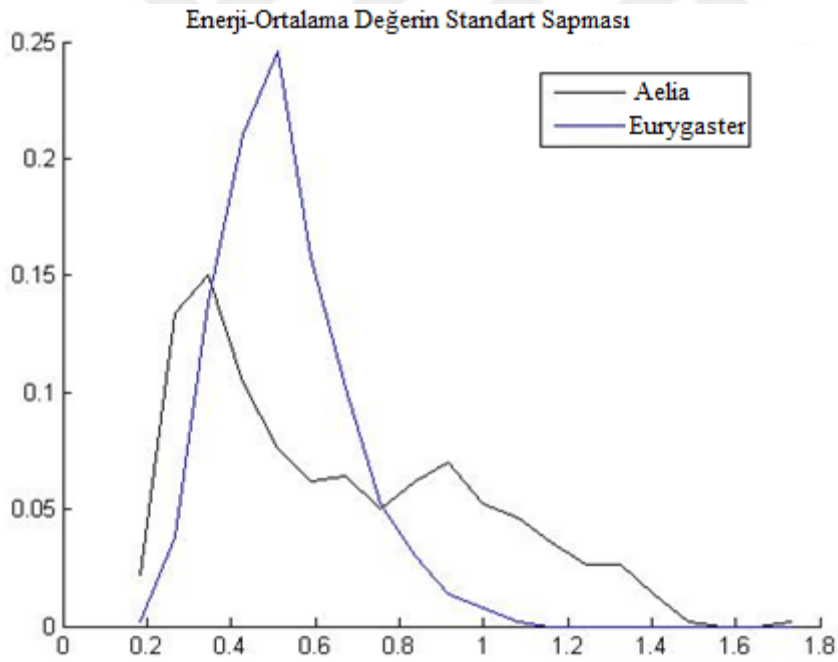
Her histogram için hesaplanan Bayes Hata Oranı değerleri Çizelge 3.1'de görülmektedir.

Çizelge 3.1: SGO histogramlarının Bayes Hata çizelgesi.

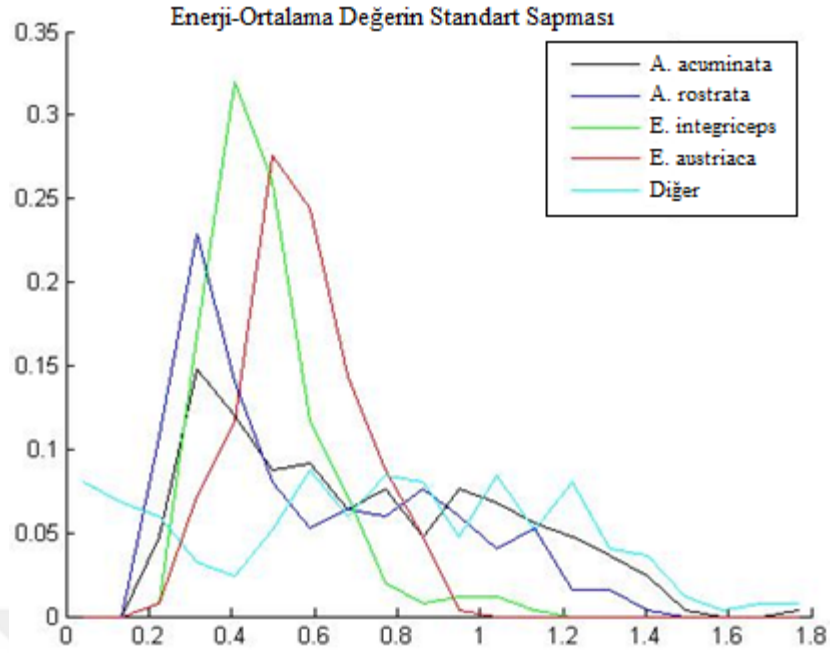
Yapı	İstatistik	Bayes Hatası
Aelia-Eurygaster	Ortalama Değer	0.3864
Aelia-Eurygaster	Standart Sapma	0.3687
Beş Sınıflı Yapı	Ortalama Değer	0.634

Görülebileceği gibi SGO istatistikleri Süne ve Kıymıl böcekleri için önsel bir fikir verebilir. Ancak beş sınıflı yapıda histogramdan elde edilen Bayes Hata Oranı'nın çok yüksek olduğu değerlendirilmektedir.

Zamana bağlı enerji bilgisinin incelenmesi için ortalama değer standart sapması istatistiğinin histogramından faydalanılmıştır. Şekil 3.3a ve Şekil 3.3b, ardışık olarak *Aelia* ve *Eurygaster* türlerinin ikili sınıflandırılması seneryosu ve süne ve kıymıl türleri ile diğer seslerin olduğu çoklu sınıflandırma seneryosu histogramlarını göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.3: Zamana bağlı enerji histogramları: (a) İki sınıflı yapı ortalama değer in standart sapması. (b) Beş sınıflı yapı ortalama değer in standart sapması

Aelia ve *Eurygaster* türlerinin ikili sınıflandırması incelendiğinde *Eurygaster* cinsine ait türlerin daha dar bir aralıkta ve merkez çevresinde bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık *Aelia* cinsine ait böceklerin zamana bağlı enerjilerinin ortalama değer in standart sapması istatistiği, daha geniş bir aralıkta dağılım göstermektedir. *Eurygaster* cinsine ait histogramda, bu istatistiğin daha büyük bir maksimum değere sahip olduğu görülmektedir.

Çok sınıflı yapıda sınıflar içi dağılımların benzerlik gösterdiği görülmektedir. Buna karşılık Diğer sınıfına ait istatistik geniş bir aralıkta dağılmıştır. Bu beklenen bir durumdur.

Zamana bağlı enerjinin süne ve kımlı sınıfları ile beş sınıflı yapıda hesaplanan ortalama değer in standart sapması istatistiği için elde edilen histogramlardan hesaplanan Bayes Hata Oranı değerleri Çizelge 3.2’de görülmektedir.

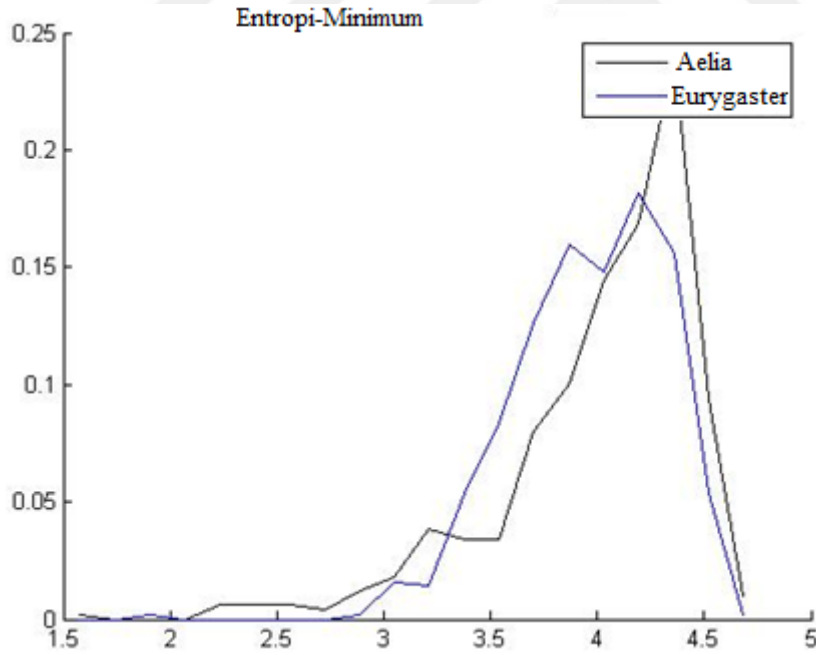
Beş sınıflı yapıda Bayes Hata Oranı yaklaşık %60 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda zamana bağlı enerji niteliğinin süne ve kımlı zararlılarının sınıflandırılmasında etkin bir nitelik olmadığı söylenebilir.

Çizelge 3.2: Zamana bağlı enerji histogramlarının Bayes Hata çizelgesi.

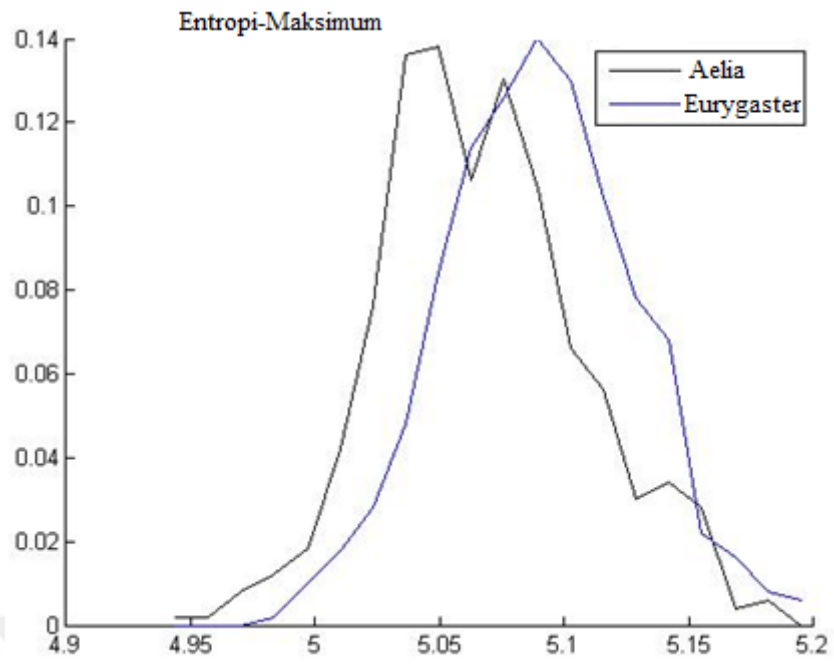
Yapı	İstatistik	Bayes Hatası
Aelia-Eurygaster	Ortalama değerin standart sapması	0.3135
Beş sınıflı yapı	Ortalama değerin standart sapması	0.5917

Entropinin maksimum ve minimum değer istatistiğinden elde edilen histogramlar Şekil 3.4'te görülmektedir. 3.4a iki sınıflı yapının entropisinin minimum değer, 3.4b iki sınıflı yapının entropisinin maksimum değer histogramıdır. 3.4c beş sınıflı yapının entropisinin minimum değer histogramıyken, 3.5d'de beş sınıflı yapının entropisinin maksimum değeri histogramı görülmektedir.

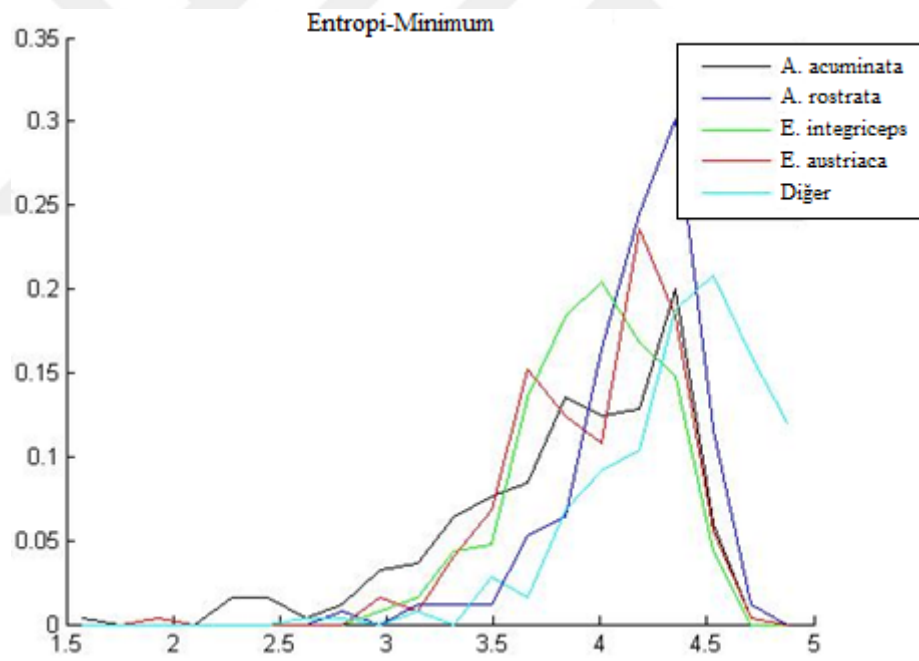
İki sınıflı yapıda entropinin maksimum ve minimum değerlerinin hem süne hem de kımıl sınıfları için benzer şekilde dağıldığı gözlemlenmektedir. Bu durumda, entropinin maksimum ve minimum değer istatistiklerinin süne ve kımıl türlerini ayırmakta tek başına etkin bir tercih olmayacağı söylenebilir. Entropi değeri için bu istatistikler açık bir farklılık taşımamaktadır.



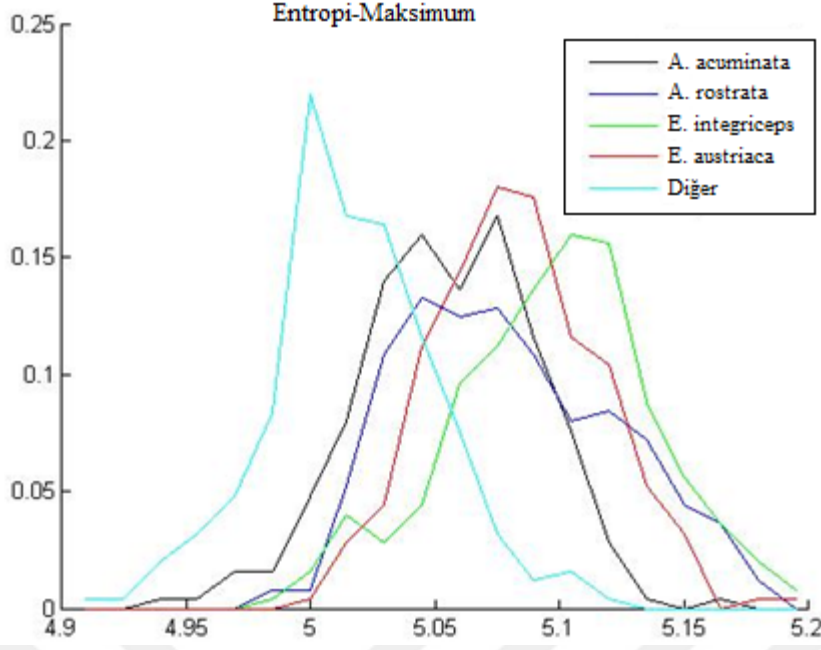
(a)



(b)



(c)



(d)

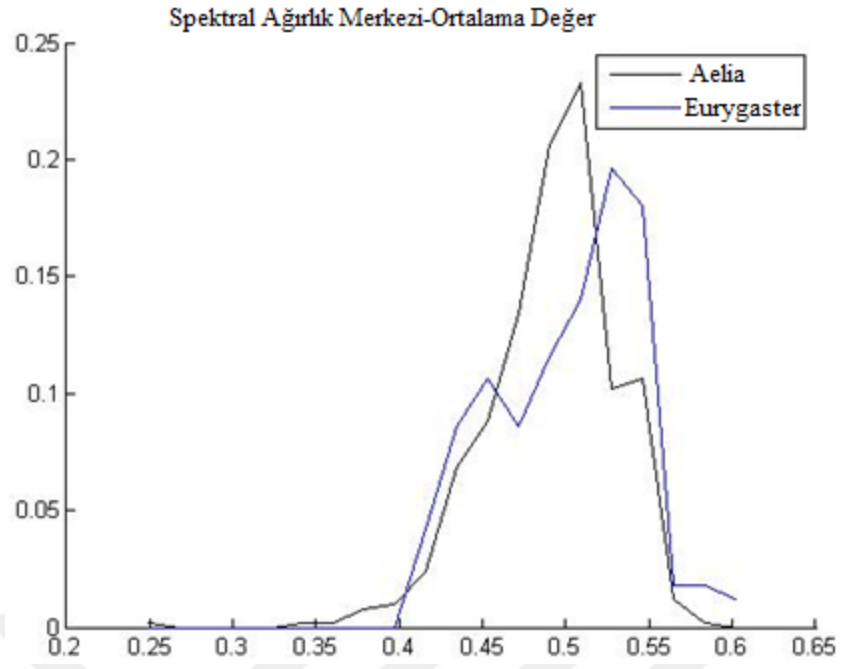
Şekil 3.4: Entropi histogramları: (a) İki sınıflı yapı minimum değer. (b) İki sınıflı yapı maksimum değer. (c) Beş sınıflı yapı minimum değer (d) Beş sınıflı yapı maksimum değer

Beş sınıflı yapıda Diğer sınıfının dağılımı entropinin minimum değeri için bir miktar daha farklıdır. Maksimum değer istatistiğinde ise kanat çırpma seslerine göre Diğer sınıfının daha düşük değerlerde yoğunlaştığı görülmektedir. Sadece kanat çırpma sesleri oluşan bir sınıf düşünüldüğünde işaretteki açık değişimlerin ayırt edici özelliği beklendiği gibi düşüktür. Histogramların Bayes Hata Oranı çizelgesi Çizelge 3.3'de görülmektedir.

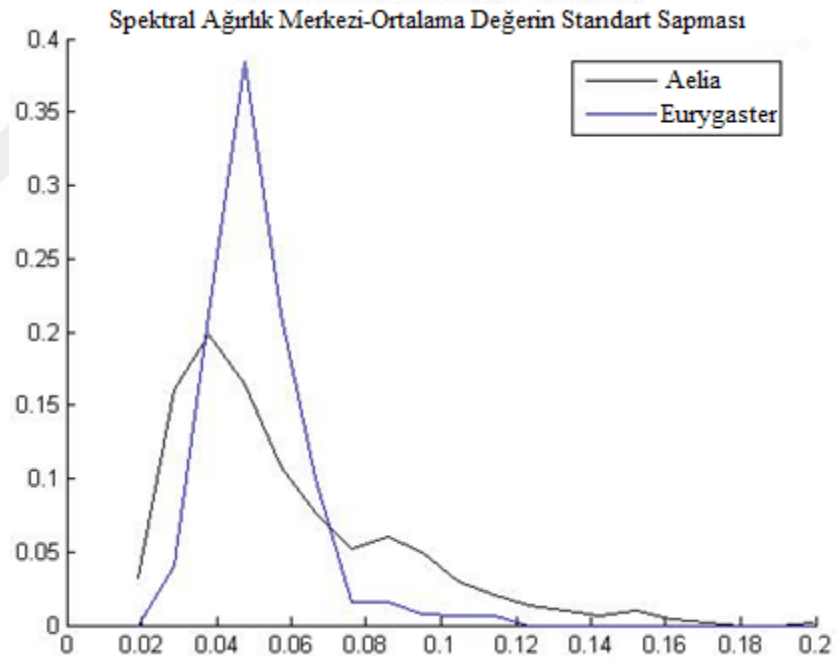
Çizelge 3.3: Entropi histogramlarının Bayes Hata çizelgesi.

Yapı	İstatistik	Bayes Hatası
Aelia-Eurygaster	Maksimum	0.3724
Aelia-Eurygaster	Minimum	0.4036
Beş sınıflı yapı	Maksimum	0.6144
Beş sınıflı yapı	Minimum	0.6324

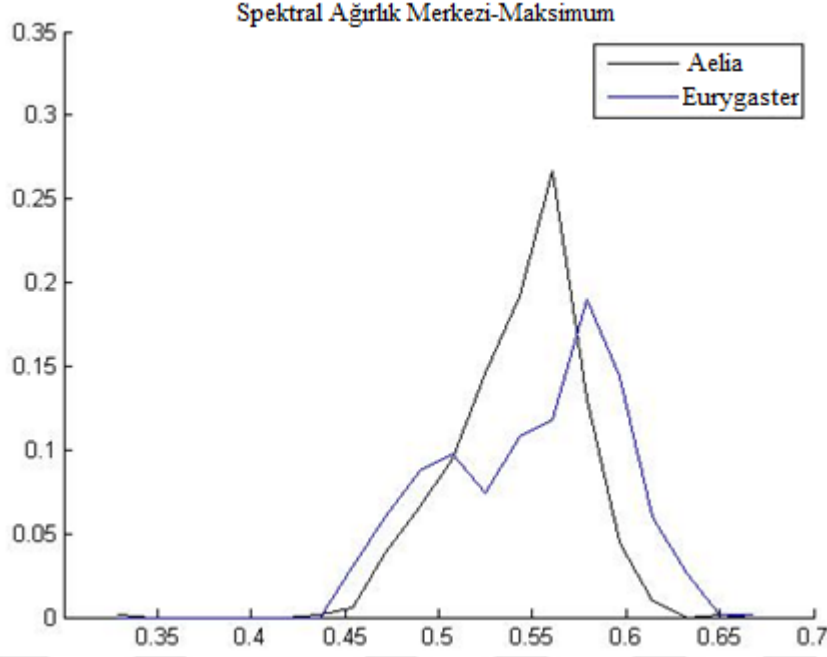
Spektral ağırlık merkezi için iki sınıflı yapıda Şekil 3.5a'daki ortalama değer, Şekil 3.5b'deki ortalama değer in standart sapması ve Şekil 3.5c'deki maksimum değer histogramları hesaplanmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.5: Spektral Ağırlık Merkezi histogramları: (a) İki sınıflı yapı ortalama değer. (b) İki sınıflı yapı ortalama değer standard sapması. (c) İki sınıflı yapı maksimum değer

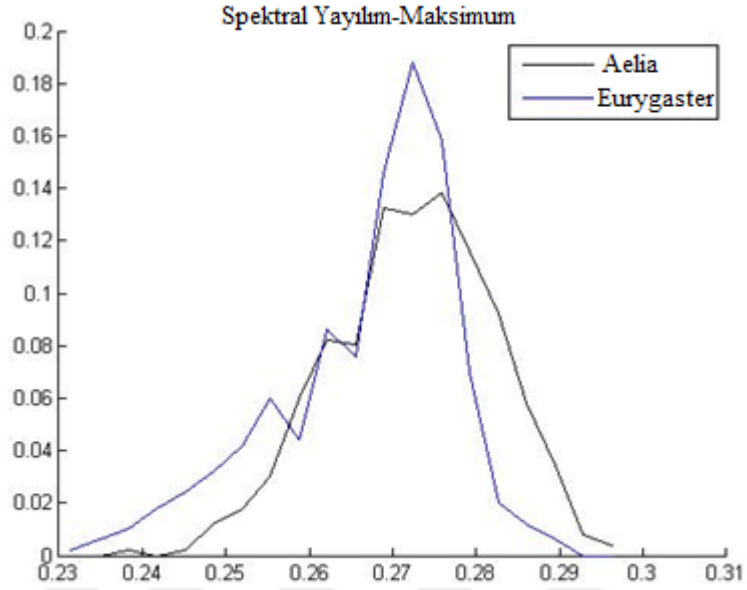
Kanat çırpma sesi kayıtları için spektral ağırlık merkezi ortalama değer istatistiği, süne ve kımıl türleri açısından benzer sonuçlar vermektedir. Ancak maksimum değer ve ortalama değer standard sapması açısından farklılıklar gözlenmektedir. Eğer histogramların dağılım aralığı göz önüne alınırsa *Eurygaster* yani süne türleri için maksimum değer istatistiğinin dağılım aralığı ile *Aelia* yani kımıl türleri için aynı istatistiğin dağılım aralığı benzerdir. Ancak süneler için spektral ağırlık merkezinin maksimum değeri daha yüksektir. Spektral ağırlık merkezinin ortalamasının standart sapması istatistiğinde ise süne ve kımıl türleri açısından bir farklılık gözlemlenebilmektedir. Hata çizelgesi Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4: Spektral ağırlık merkezi histogramlarının Bayes Hata çizelgesi

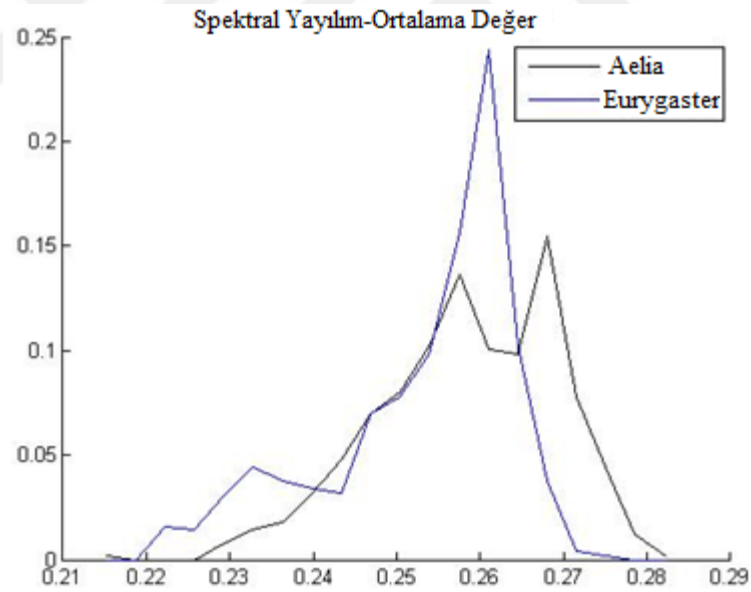
Yapı	İstatistik	Bayes Hatası
Aelia-Eurygaster	Ortalama Değer	0.3724
Aelia-Eurygaster	Ortalama Değerin Standart Sapması	0.3195
Aelia-Eurygaster	Maksimum	0.3454

Çizelgeden de görülebileceği gibi iki sınıflı yapıda Bayes Hata Oranı spektral ağırlık merkezinin ortalama değerinin standart sapması için en düşük değeri almıştır.

Şekil 3.6a ve Şekil 3.6b iki sınıflı yapıda spektral yayılmanın maksimum değer ve ortalama değer istatistikleri için elde edilen histogramları göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.6: Spektral yayılma histogramları: (a) İki sınıflı yapı maksimum değer. (b) İki sınıflı yapı ortalama değer

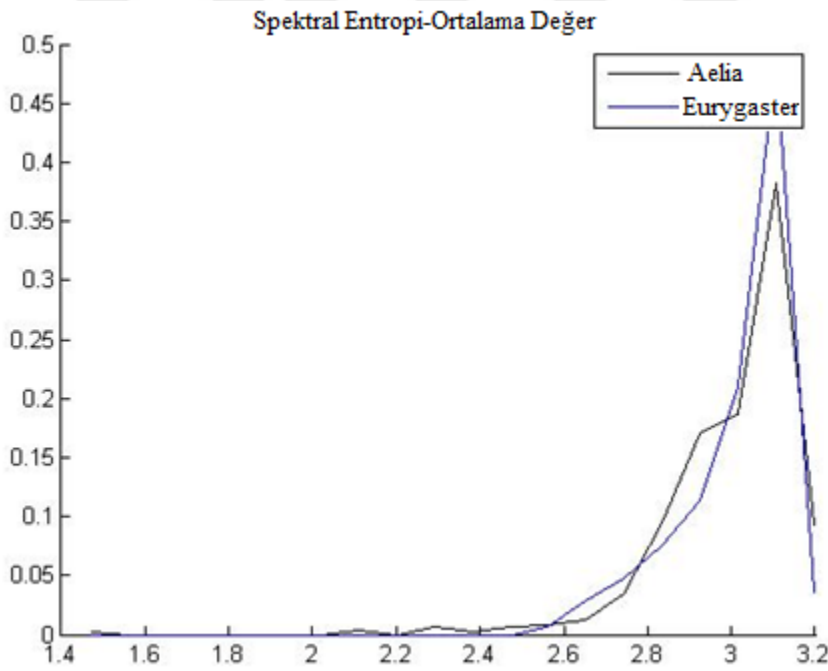
Histogramlar incelendiğinde kimilların kanat çırpma seslerinin spektral açıdan kendi ağırlık merkezleri etrafında daha yayılmış olduğu gözlenmektedir. İki histogram için Bayes Hata Oranları Çizelge 3.5'te görülmektedir.

Çizelge 3.5: Spektral yayılım histogramlarının Bayes Hata çizelgesi.

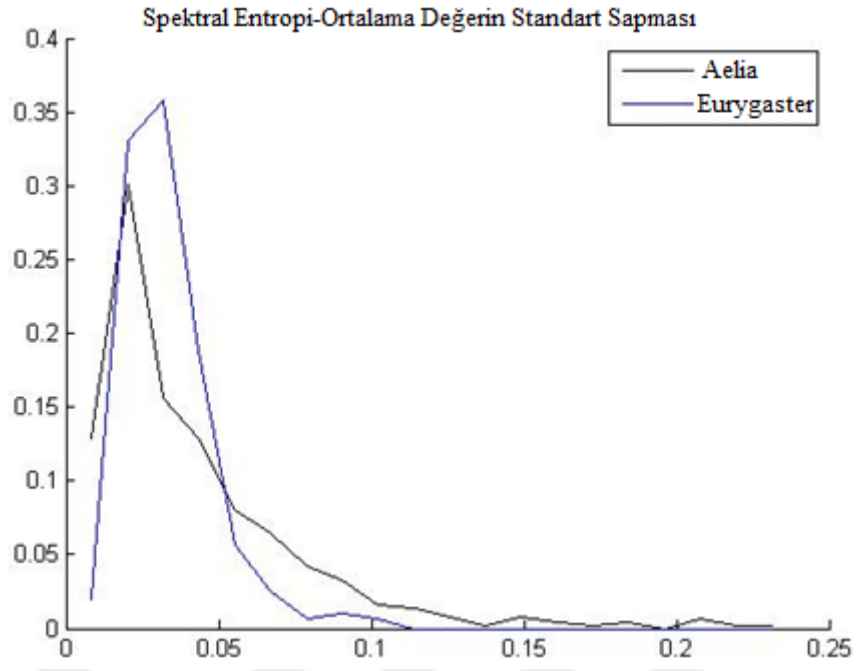
Yapı	İstatistik	Bayes Hatası
Aelia-Eurygaster	Maksimum	0.3875
Aelia-Eurygaster	Ortalama Değer	0.3644

Spektral ağırlık merkezi ve spektral yayılma beş sınıflı yapı için incelenirken anlamlı sonuçlar bulunamamış bu nedenle beş sınıflı yapı için oluşturulan histogramlar dışarıda bırakılmıştır.

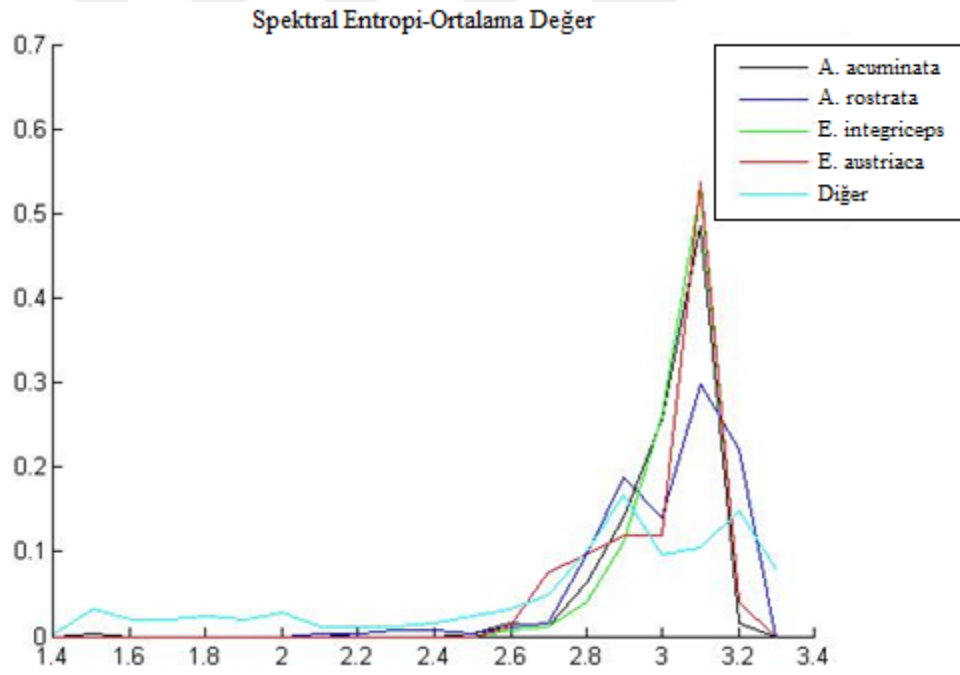
Şekil 3.7a ve Şekil 3.7b’de spektral entropinin ortalama değer ve ortalama değer in standart sapması istatistiklerine ait histogramlar sadece kımıl ve süne sınıflarından oluşan sınıflandırma senaryosu için verilmiştir. Şekil 3.7c ve Şekil 3.7d’de ise beş sınıflı yapı için spektral entropinin ortalama değer ve ortalama değer in standart sapması istatistiklerine ait histogramlar verilmiştir.



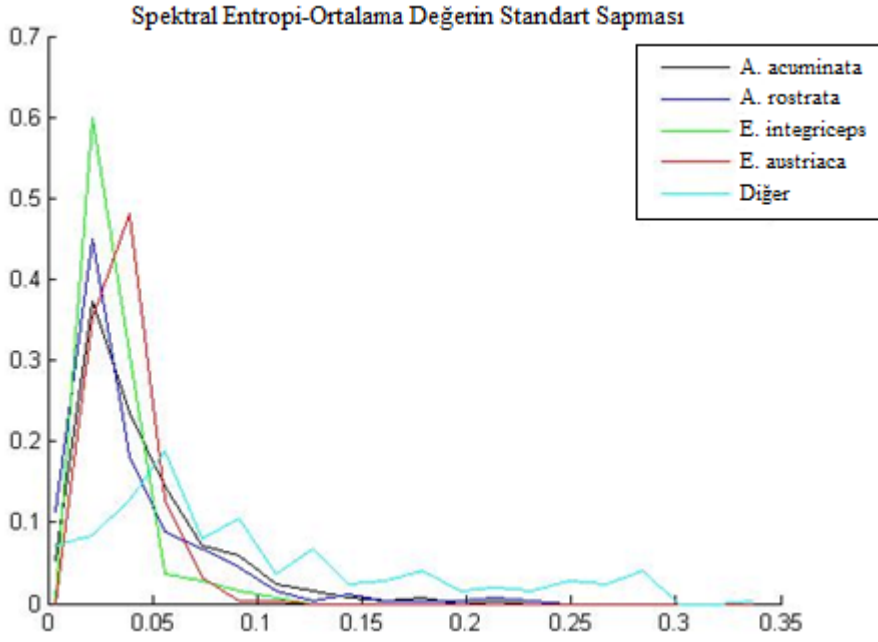
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.7: Spektral entropi histogramları: (a) İki sınıflı yapı ortalama değer. (b) İki sınıflı yapı ortalama değer standart sapması. (c) Beş sınıflı yapı ortalama değer. (d) Beş sınıflı yapı ortalama değer standart sapması

Her iki sınıflandırma senaryosu için ortalama değer istatistiği kımıl ve süne türleri için benzer dağılım gösterirken, ortalama değer standart sapması istatistiği, gözlenebilir bir farklılık sağlamaktadır. Ortalama değer standart sapması Eurygaster türleri için çok az da olsa daha yüksek bir değerde odaklanırken aynı istatistik Aeila türleri için görece bir miktar daha düşük bir değerde odaklanmaktadır. Çizelge 3.6'da Spektral Entropi için elde edilen histogramlardan hesaplanan Bayes Hata Oranları görülebilir.

Çizelge 3.6: Spektral entropi histogramlarının Bayes Hata çizelgesi.

Yapı	İstatistik	Bayes Hatası
Aelia-Eurygaster	Ortalama Değer	0.4226
Aelia-Eurygaster	Ortalama Değerin Standart Sapması	0.3546
Beş sınıflı yapı	Ortalama Değer	0.6565
Beş sınıflı yapı	Ortalama Değerin Standart Sapması	0.6183

Yapılan analizler sonucunda SGO, Enerji, Entropi, Spektral Ağırlık Merkezi ve Spektral Yayılma ve Spektral Entropi incelemeleri üzerinden elde edilen öznitelik vektörlerinin sınıflandırma problemi açısından yetersiz kalacağı düşünülmüştür.

Buna dair incelemede bu altı analiz yönteminin her biri için altı orta süreli istatistik verisiyle oluşturulan öznitelik vektörleriyle k-EYK sınıflandırması yapılmıştır. Çizelge 3.7’de bu inceleme sonucunda elde edilen veriler görülmektedir.

Ses analiz yöntemlerinin sınıflandırma performansının incelenmesi için bu aşamada veri kümesinin %60’ını gelişi güzel bir şekilde öğrenme kümesi olarak ayıracak ve bu incelemede 20 olarak belirlenen iterasyon sayısı ile en yüksek doğruluk oranını belirleyecek bir değerlendirme yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 3.7: Ses analiz yöntemleri için k-EYK sınıflandırma sonuçları.

Ses Analiz Yöntemleri	k	Ortalama Doğruluk	Ortalama Kesinlik:
SGO	15	%36.4	%38.4
Enerji	5	%65.5	%65.5
Entropi	27	%33.0	%31.8
Spektral Entropi	25	%40.5	%40.9
Spektral Ağırlık Merkezi ve Spektral Yayılma	15	%54.2	%54.2

Ses analizi yöntemleri ile yapılan sınıflandırmada beş farklı sınıf için modellerin ortalama doğruluk ve ortalama kesinlik değerleri en fazla %65.5’lik bir başarı göstermiştir. Enerji ve Spektral Ağırlık Merkezi ve Spektral Yayılma analizlerinin uygulandığı modeller dışında %50’nin üstünde bir başarı söz konusu değildir. Bununla birlikte %50’nin üstünde başarı gösteren bu iki analiz yönteminin de iki sınıflı yapıda Bayes Hata Oranı en düşük olanlar olması tutarlı bir sonuçtur.

Sınıflandırma performansındaki yetersizlik DÖKK, ÇSF ve MFKK gibi öznitelik çıkartma yöntemlerinin uygulanması gerektiğini göstermiştir. Bu nedenle Bayes Hata oranları son olarak DÖKK, ÇSF ve MFKK uygulamalarında her bir katsayı için hesaplanmış ve Çizelge 3.8, 3.9 ve 3.10’da tüm orta süreli istatistikler için yöntem katsayılarına göre gösterilmiştir.

Çizelge 3.8: Beş sınıflı yapıda Doğrusal Öngürülü Kepstral Katsayılar yönteminde her bir katsayı için Bayes Hata değerleri.

İstatistikler	Katsayılar												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ortalama Değer	0.6461	0.5926	0.5948	0.6279	0.6117	0.5927	0.7045	0.6750	0.7262	0.6838	0.7108	0.6894	0.6516
Medyan	0.6414	0.5956	0.6012	0.6197	0.6022	0.5910	0.7111	0.6717	0.7224	0.6832	0.7061	0.6778	0.6692
Standart Sapma	0.6333	0.5888	0.6683	0.6572	0.6799	0.6822	0.7109	0.6710	0.6840	0.6559	0.6565	0.6784	0.6950
Standart Sapmanın Ortalama Değeri	0.7960	0.7816	0.7912	0.7672	0.7704	0.7880	0.7888	0.7976	0.7872	0.7888	0.7944	0.7734	0.7952
Maksimum	0.6462	0.6078	0.6164	0.6491	0.6429	0.6444	0.7198	0.7043	0.6909	0.7184	0.6934	0.6477	0.6540
Minimum	0.6030	0.5981	0.6035	0.6278	0.6291	0.5886	0.6837	0.6590	0.7166	0.6741	0.7158	0.7229	0.6967

Çizelge 3.9: Beş sınıflı yapıda Çizgi Spektral Frekansı yönteminde her bir katsayı için Bayes Hata değerleri.

İstatistikler	Katsayılar												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ortalama Değer	0.5398	0.6135	0.5901	0.6381	0.6516	0.6255	0.6479	0.6254	0.6759	0.6573	0.6334	0.6646	0.5872
Medyan	0.5439	0.6239	0.6022	0.6437	0.6493	0.6256	0.6470	0.6328	0.6870	0.6679	0.6421	0.6646	0.5799
Standart Sapma	0.6366	0.6536	0.6672	0.6774	0.6840	0.6591	0.6615	0.6460	0.6620	0.6438	0.6317	0.6550	0.6461
Standart Sapmanın Ortalama Değeri	0.6048	0.6336	0.6664	0.6814	0.6816	0.6566	0.6638	0.6518	0.6614	0.6317	0.6244	0.6486	0.6366
Maksimum	0.5936	0.5990	0.6022	0.6621	0.6356	0.6141	0.6240	0.6112	0.6296	0.6320	0.6102	0.6247	0.6343
Minimum	0.5358	0.6094	0.6262	0.6533	0.6589	0.6590	0.6718	0.6766	0.6806	0.6822	0.6564	0.6349	0.6111

Çizelge 3.10: Beş sınıflı yapıda Mel Frekans Kepstral Katsayılar yönteminde her bir katsayı için Bayes Hata değerleri.

İstatistikler	Katsayılar												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ortalama Değer	0.4825	0.4764	0.6123	0.5384	0.6318	0.6568	0.7022	0.6232	0.6629	0.6133	0.6406	0.6886	0.6796
Medyan	0.4753	0.4716	0.6102	0.5320	0.6526	0.6558	0.6984	0.6376	0.6613	0.6189	0.6512	0.6879	0.6868
Standart Sapma	0.6693	0.6792	0.7421	0.6784	0.6848	0.6720	0.6902	0.6928	0.7181	0.7333	0.7407	0.7382	0.7200
Standart Sapmanın Ortalama Değeri	0.6664	0.6912	0.7255	0.7872	0.6471	0.6878	0.6708	0.6560	0.7654	0.7872	0.6957	0.7256	0.7206
Maksimum	0.5044	0.5163	0.6397	0.5568	0.6855	0.6472	0.7326	0.6664	0.6949	0.6453	0.7054	0.7125	0.7253
Minimum	0.5034	0.5204	0.6085	0.6255	0.6526	0.7072	0.6974	0.6999	0.6717	0.6845	0.6765	0.7045	0.6980

DÖKK, ÇSF ve MFKK yöntemlerinin Bayes hata oranı incelenmesi kımıl ve süne böcek türleri ve diğer seslere ait beş sınıftan oluşan performans değerlendirme kurulumunda incelenmiştir.

Çizelge 3.8’de DÖKK için yapılan incelemede ortalama değer ve medyan istatistikleri ilk altı katsayı için elde edilen hata oranlarının diğer katsayılar için elde edilen hata oranlarına göre daha küçük olduğu görölmektedir.

Çizelge 3.9’da ÇSF katsayıları için yapılan incelemede hata oranları kendi içlerinde daha tutarlı değerlerde gözökmekte ve keskin farklılıklara rastlanmamaktadır. ÇSF sonucu elde edilen hata oranları maksimum hata oranı değer en küçük olandır. Burada istatistiksel olarak incelenen maksimum değer ile hata oranlarının maksimum değer karıştırılmamalıdır.

Çizelge 3.10’da MFKK için yapılan incelemede hata oranları ÇSF’ye benzer şekilde kendi içerisinde keskin farklılıklar göstermemektedir. Bununla birlikte ortalama değer, medyan, maksimum ve minimum değer incelendiğinde özellikle ilk iki katsayı beş sınıflı yapıda görölen en düşük Bayes hata oranlarıdır. MFKK için hesaplanan hata oranlarının minimum değer diğer yöntemlere göre çok daha küçüktür.

DÖKK, ÇSF ve MFKK katsayıları için gerçekleştirilen Bayes hata oranı analizinden sonra bu yöntemlerin sınıflandırma işleminde kullanılmasına karar verilmiştir. k-EYK sınıflandırıcısının performansını analiz etmek amacıyla karmaşıklık matrisleri elde edilmiştir.

Karmaşıklık matrisi, sınıflandırma çalışmalarında performans değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan ve yöntemin başarısını incelemek açısından büyük kolaylık sağlayan bir yöntemdir. Bu matris kurulan modelde hata türleri, doğruluk, kesinlik ve anımsa değerlerinin elde edilmesi amacıyla kullanılmasının yanı sıra incelenen sınıfların birbirleriyle ilişkileri açısından da oldukça açıklayıcı bilgiler verir.

Karmaşıklık matrisi bir kare matristir. Bu matrisin satır ve sütunları gerçekte olan ve tahmin edilen sınıflara dair bilgiler içermektedir. Matrisin elemanları genelde yüzdeler bir sayı olarak sunulur. İdeal bir sınıflandırmada karmaşıklık matrisi köşegeni %100 değerine sahip ve diğer elemanları sıfır olan bir matristir.

Karmaşıklık matrisinden elde edilen bilgilerden birisi doğruluktur. Doğruluk ölçüsü doğru sınıflandırılan örnek kümesi elemanlarının tüm örnek kümesi elemanlarına

oranıdır. Sınıf anımsaması ise belirli bir sınıfa ait verinin o sınıfa ait olarak atanan üyelerinin oranıdır. Kesinlik ise bir sınıfa doğru olarak atanan verilerin, o sınıfa atanan tüm verilere oranıdır.

k-EYK modelinin başarısı ortalama doğruluk değeri üzerinden değerlendirilmiştir. Bu nedenle DÖKK, ÇSF ve MFKK yöntemlerinin tüm kombinasyonları incelenmiştir. Çizelge 3.11’de en yüksek ortalama doğruluğa ait kombinasyon için karmaşıklık matrisi verilmektedir.

Çizelge 3.11: MFKK ve ÇSF öznitelik vektörü kombinasyonu için karmaşıklık matrisi.

k=5	A. acuminata	A. rostrata	E. integriceps	E. austriaca	Diğer
A. acuminata	%90	%8.1	%0.7	%0.0	%1.1
A. rostrata	%10.4	%89.1	%0.1	%0.0	%0.3
E. integriceps	%2.0	%3.6	%93.6	%0.8	%0.0
E. austriaca	%0.2	%0.5	%0.4	%98.7	%0.1
Diğer	%1.1	%0.3	%1.2	%0.6	%96.8

Sınıflandırma modellerinin incelenmesinin bu aşamada da veri kümesinin %60’ını gelişi güzel bir şekilde öğrenme kümesi olarak ayıracak ve bu incelemede 20 olarak belirlenen iterasyon sayısı ile en yüksek doğruluk oranını belirleyecek değerlendirme yöntemi kullanılmıştır.

Bu inceleme sonucunda en yüksek ortalama doğruluk MFKK ve ÇSF yöntemlerinin birlikte uygulandığı yöntemle elde edilmiştir. Bu yöntemde elde edilen öznelik vektörü her bir yöntemde elde edilen katsayıların orta süreli istatistikler haline getirilerek bir ses dosyası için üretilmektedir. En başarılı yöntemde öznelik vektörü, MFKK ile ÇSF yöntemlerinden elde edilmiş her bir katsayı için hesaplanan altı istatistik sonucundan oluşan toplamda 156 elemanlı bir vektördür.

MFKK ve ÇSF kombinasyonu ile oluşturulan modelde elde edilen ortalama doğruluk % 93.6'dır.

En yüksek doğruluk elde edilen yöntemde her bir sınıf için ayrı ayrı hesaplanan kesinlik ve anımsama değerleri Çizelge 3.12'de görülmektedir.

Çizelge 3.12: MFKK ve ÇSF öznelik vektörü kombinasyonu için kesinlik ve anımsama değerleri

	A. acuminata	A. rostrata	E. integriceps	E. austriaca	Other
Kesinlik	%86.8	%87.7	%97.4	%98.6	%98.4
Anımsama	%90.0	%89.1	%93.6	%98.7	%96.8

Çizelge 3.12 incelendiğinde bir tespit problemi için sınıflandırma sonuçlarının umut vadettiği görülmektedir.

Farklı öznelik vektörü çıkarma yöntemlerinin kombinasyonları sonucu elde edilen ortalama doğruluk ve ortalama kesinlik sonuçları Çizelge 3.13'de verilmiştir. Burada da değerlendirme yöntemi olarak %60'lık verinin öğrenme kümesi olarak ayrıldığı not edilmelidir. Her iterasyon sonucunda farklı sonuç değerleri elde etmek mümkünse de 10 iterasyon sonucunda elde edilen en yüksek ortalama doğruluk değerleri ve ortalama kesinlik değerleri hangi öznelik çıkartma yönteminin ya da yöntem kombinasyonlarının daha başarılı sonuçlar verdiği konusunda açıklayıcı olacaktır.

Çizelge 3.13: DÖKK, ÇSF, ve MFKK kombinasyonları için sonuçlar

Öznitelik Çıkartma Yöntem Kombinasyonları	k	Ortalama Doğruluk	Ortalama Kesinlik:
MFKK-ÇSF	5	%93.6	%93.8
MFKK-DÖKK	13	%93.3	%93.5
MFKK-ÇSF-DÖKK	13	%93.1	%93.3
MFKK	5	%89.2	%89.5
ÇSF	5	%84.5	%84.8
DÖKK-ÇSF	11	%84.3	%84.9
DÖKK	5	%79.4	%79.8

Daha önce belirtildiği gibi en başarılı sonuç MFKK ve ÇSF kombinasyonunun uygulanmasıyla elde edilmiştir. DÖKK yönteminin tek başına uygulanması sonucu elde edilen ortalama doğruluk ve ortalama kesinlik değerleri %80'in altında kalan yegâne sonuç çiftidir.

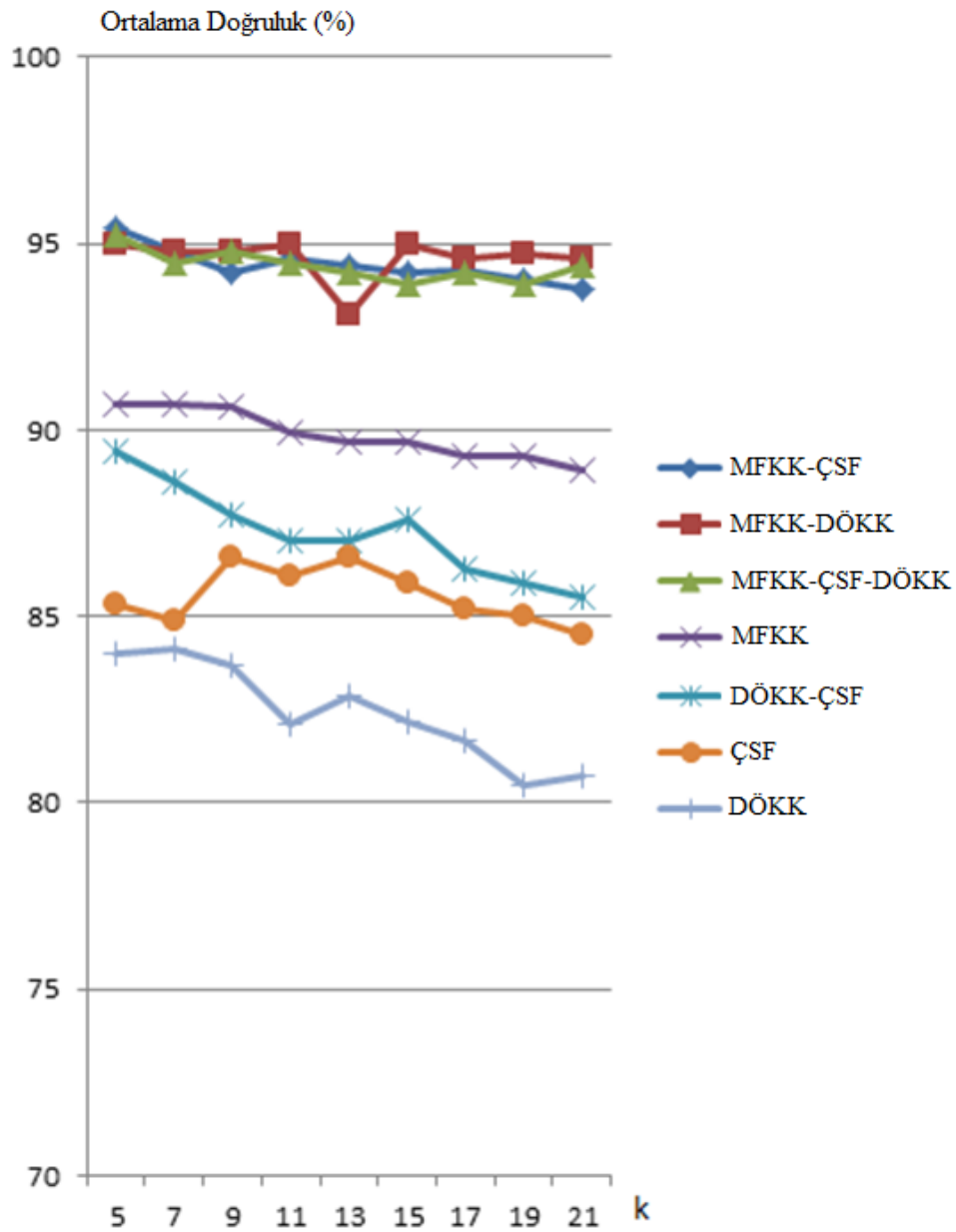
Bununla birlikte sonuçlar Çizelge 3.7 ile karşılaştırıldığında Çizelge 3.13'te en kötü sonucu veren DÖKK uygulamasının bile Çizelge 3.7'de en iyi sonucu veren Enerji incelemesinden çok daha başarılı olduğu görülmektedir.

DÖKK ve ÇSF yöntemlerinin birlikte uygulandığı durumun ÇSF yönteminin tek başına uygulandığı yöntemden bir miktar daha düşük ortalama doğruluk değerine sahip olması k – EYK uygulamalarında öznitelik vektörünün boyutuna ilişkin bir sonuçtur. Zaten pek başarılı sonuç vermeyen DÖKK ile birlik öznitelik vektörünün boyutu büyümüş bu durum hem daha büyük komşuluk değerini hem de daha düşük başarımlı sonucu doğurmuştur.

Bir başka inceleme de komşuluk değerinin etkisi üzerine gerçekleştirilmiştir. Bu inceleme sırasında sonuçların tutarlılığını garanti altına almak amacıyla “birini dışarıda bırak” değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde her bir veri için bu veri dışında kalan tüm veriler öğrenme kümesi olarak değerlendirilir. Her veri için

sınıflandırma kararı bu her veri için yeniden oluşturulan öğrenme kümesi üzerinden verilir. İşlem yükü çok yoğun olan bu yöntem açıktır ki veri kümesinin temsiliyeti açısından daha tutarlı sonuçlar verecektir. Kısacası sınıflandırma sonucunun öğrenme kümesi seçimine bağlılığı ortadan kalkmaktadır. Sadece k komşuluk parametresi incelendiğinden bu yöntem tercih edilmiştir.

Sınıflandırma modellerinin performansı k=5'ten k=21'e kadar test edilmiştir. Her komşuluk değeri için ortalama doğruluk değerleri öznitelik çıkartma yöntemi kombinasyonu kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.8'de görülmektedir.



Şekil 3.8: Farklı k değerleri ve yöntem kombinasyonları için ortalama doğruluk.

Bu sonuçlar Çizelge 3.13'teki sonuçların doğruluğunu teyit etmektedir. MFKK yönteminin dahil olduğu kombinasyonlar başarı sıralamasında ilk üç sıradadır. Farklı k değerleri için yerleşimlerinde değişimler olsa da bu sonuçlar k'ye göre daha az değişim göstermekte ve doğruluk değerlerinin yüksekliği ile diğer yöntemlerden ayrılmaktadır. Her bir öznitelik çıkartma yönteminin kendi başına uygulanması ise bu değerlendirme yönteminde en düşük sonuçları vermiştir. Ancak burada da MFKK yöntemi, DÖKK ve ÇSF yöntemlerinin birlikte uygulandığı sonuca göre daha yüksek ortalama doğruluk değerine sahiptir.



4. GÖMÜLÜ SİSTEM GERÇEKLEMESİ

Bu noktaya kadar önerilen modellerin, *Eurygaster integriceps*, *Eurygaster austriaca*, *Aelia acuminata* ve *Aelia rostrata* böceklerinin kanat seslerinin başarıyla sınıflandırabildiği ortaya konulmuştur. Sistem modelinin gerçek hayatta karşılık bulabilmesi için sahada uygulanabilir bir yöntem olduğunu göstermek gerekmektedir. Buna ilişkin değerlendirme, sistemin bir mikrobilgisayar olan gömülü sistem üzerinde gerçekleşmesine dayanmaktadır. Gömülü sistem uygulamasından elde edilen sınıflandırma sonuçları değerlendirildiğinde bu sistemin uygulanabilirliği konusunda bir sonuca varmak amaçlanmıştır.

4.1 Gömülü Sistem

Gömülü sistemler havacılık, savunma, otomotiv, tıp, bankacılık, haberleşme ve tarım gibi birçok alanda kullanılan donanımlardır. Bu donanımlar o kadar yaygındır ki mikroişlemci gibi gömülü sistemlere ilişkin terimler günlük dilde dahi kullanılır hale gelmiştir. Gömülü sistemlerin tek ve bütün bir tanımını yapmak bu donanımların çeşitliliği ve uygulama alanı ile yetkinliklerinin gelişmesi nedeniyle oldukça güçtür. Ancak basitçe gömülü sistemler belli bir uygulama ya da ürün için tasarlanmış bilgisayar tabanlı sistemler olarak tanımlanabilir [29]. Belirli bir amaca göre üretilen bu sistemler belirli performans metriklerini sağlamak amacı ve yeterliliğine uygun donanımlara sahip olurlar. Çevre koşullarıyla uyumlu olmak, gerektiğinde gerçek zaman ihtiyacını karşılamak ve çevresel birimlerle yüksek etkileşimli çalışmak gömülü sistemlerin özelliklerindedir.

Modern gömülü sistemlerin temelinde uygulamaya yönelik üretilen tümleşik devreler, mikroişlemciler ya da bu amaçla tasarlanan ve donanımın tekrar tasarlanmasına olanak tanıyan sahada programlanabilir kapı dizileri yer almaktadır. Mikroişlemcilerin gelişmesi ve birimlerin çevresel birimler ve hafıza birimlerini de içerir hale gelmesi mikrodenetleyicilerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Mikrodenetleyiciler aritmetik ve mantık işlemleri, giriş çıkış işlemleri gibi işlemleri sağlayabilen yapılardır. Bu cihazların gelişmesi ve çevresel elemanlarla birlikte

tasarlanan devre kartlarına dahil edilmesi ile ortaya çıkan donanımlar mikrobilgisayar tabirini hak etmiştir. Mikrobilgisayarlar basitçe pek yetenekli ve hemen hemen bir bilgisayardan beklenecek pek çok şeyi gerçekleştirebilen gömülü sistem donanımlarıdır.

4.2 Gerçekleme

Sistem modelinin gömülü sistem gerçeklemesi bir mikrobilgisayar örneği olan UDOO QUAD devresi üzerinde yapılmıştır. UDOO QUAD devresi üzerinde iki farklı mikroişlemci barındırmaktadır. Bu mikroişlemcilerden birisi 1GHz'lik dört çekirdekli ARM Freescale Cortex-A9 i.MX 6 merkezi işlem birimidir. Bu işlemci sağladığı yüksek performans ile Android ve Linux tabanlı işletim sistemlerinin kurulumu ve kullanımına olanak tanımaktadır. Devre üzerinde bulunan bir diğer merkezi işlem birimi ise ARM Atmel SAM3X8E'dir. Bu merkezi işlem birimi Arduino DUO gibi cihazlarla uyumluluk sağlayarak geniş yelpazedeki Arduino tabanlı çevresel donanımlar ve eklentilerin UDOO QUAD tarafından kolayca kullanılabilir olmasına olanak tanır [30]. UDOO Quad devresi üzerinde hafıza elemanı olarak sistem performansını oldukça arttıran 1 GB'lık DDR3 RAM taşımaktadır. Devre üzerinde hazır olarak bulunan Wi-Fi ve USB modülleri yazılım kütüphanelerinin internet üzerinden yüklenmesi, fare ve klavye gibi giriş çıkış çevresel elemanlarının devreye bağlanabilmesi olanağını tanımaktadır. Böcek ses kayıtları devreye bir harici veri depolama aracı ile USB üzerinden aktarılmıştır. Sistemin modelinin programlaması ve sonuçların incelenmesi amacıyla bir ekran UDOO QUAD devresinde bulunan HDMI girişi üzerinden bağlanmıştır.

Piyasada görece yeni olan bir mikrobilgisayar devresi olan UDOO QUAD öznitelik çıkarma ve makine öğrenmesi gibi işlem yükü fazla olan uygulamalarda tatminkar sonuçlar vermektedir. Gömülü sistem tasarım geliştirme devreleri günümüzde genelde açık kaynak kodlu olan işletim sistemleri ile birlikte geliştiricilere sunulmaktadır. Çalışmada UDOObuntu adı verilen ve Linux tabanlı Ubuntu işletim sisteminin bir türevi kullanılmıştır. Bu işletim sistemin kurmak ve çalışmasına olanak sağlamak için ise bir harici hafıza kartı devreye eklenmiştir. 16 GB depolama alanına sahip SanDisk Ultra microSDHC UHS-I hafıza kartı işletim sisteminin bulunduğu depolama alanıdır. Bu hafıza kartı saniye 48 GB'a kadar okuma hızına sahip

olduğundan sistem performansına ve başarısına olumlu katkı sağlamaktadır. Şekil 4.1’de sistem modelinin gerçekleştirildiği gömülü sistem devresi görülmektedir.



Şekil 4.1: Gömülü sistem.

Önerilen sistem modelini uygulamak için UDOObuntu işletim sistemi üzerinde Python programlama dilinden yararlanılmıştır. Python programlama dili nesne tabanlı ve C programla dili gibi dillere göre yüksek seviyeli bir dildir. Yüksek seviyeli diller optimizasyondan ödün verseler de program prototiplerinin geliştirilmesinde yazım kolaylığı sağladıkları için tercih edilirler.

Python programlama dili sayısal yöntem uygulamalarında fayda ve kolaylık sağlayan ve ücretsiz ulaşılabilen yazılım kütüphanelerine ve bu kütüphaneleri paylaşan yaygın ve aktif bir topluluğa sahiptir. Gerçekleme sırasında Python 2.7 olarak isimlendirilen sürüm kullanılmıştır. Python programlama dilinde metot olarak adlandırılan fonksiyonlardan yararlanır. Bu dil parantez kullanımı yerine girinti kullanımını önererek geliştiricilere tasarım sırasında hız avantajı sağlamaktadır.

Matematiksel yöntemlerin kullanımında Python programlama dili yazılmış Scipy ve Numpy kütüphanelerinden yararlanılmıştır. Bu kütüphaneler çeşitli matematiksel işlemlerin gerçekleştirilmesine olanak tanıyan metotları içermekte ve yüksek seviye işlemlere olanak tanıyacak sayı dizisi kullanımını kolaylaştırmaktadır [31]. Ses dosyasının okunması, bu dosyanın içeriğinin sayı dizisine dönüştürülmesi ve MFKK

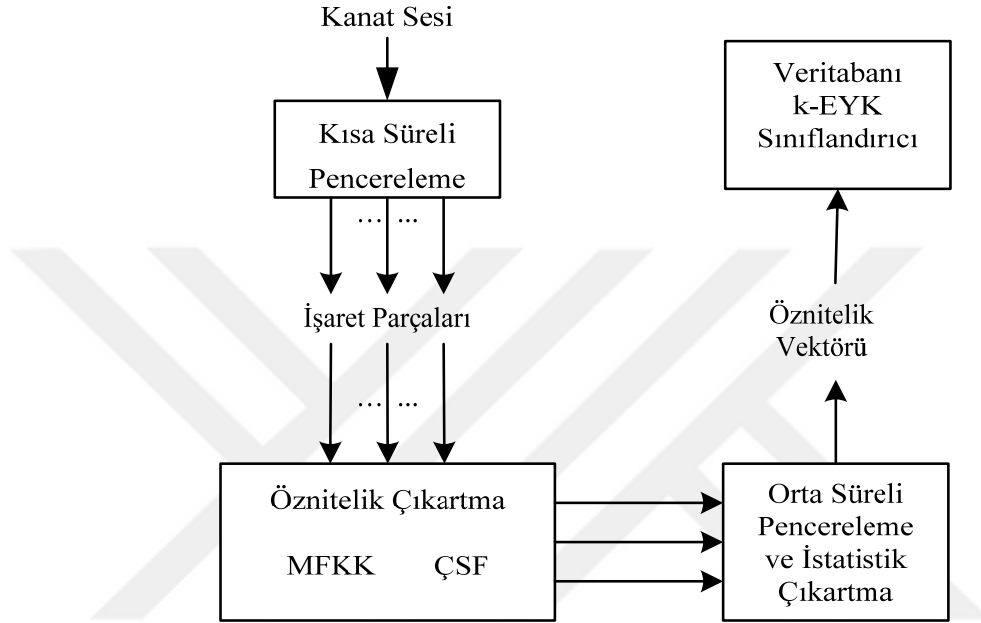
ile ÇSF yöntemlerinin programla dili ile yazılması bu kütüphanelerin sağladığı olanaklarla gerçekleşmiştir.

Makine öğrenmesi bölümünün uygulanması için yine bir Python programlama dili kütüphanesi olan Scikit-learn kütüphanesinden faydalanılmıştır. Bu kütüphane makine öğrenmesi yöntemleri ve bu yöntemlere ilişkin uygulamaları barındıran bir kütüphanedir [32]. k-EYK yönteminin uygulanması için bu kütüphane kullanılmıştır. Ayrıca bu kütüphane makine öğrenmesi modelinin bir dosyaya kaydedilerek bu dosya vasıtasıyla başka programlarda öğrenme kümesinin tekrar kullanılabilmesine olanak sağlamıştır.

Python programlama dili Linux, Windows ve Mac gibi farklı işletim sistemi platformlarında kullanılabilen bir yazılım dilidir. Bu hali yazılım kütüphanelerine internet üzerinden erişimi kolaylaştırmaktadır. Bu işlem Linux üzerinde basit terminal komutlarıyla gerçekleşmektedir. Ancak çok yüksek işlem yükü gerektiren kimi kütüphanelerin yüklenmesinde hafıza yetersizliği nedeniyle problemlerle karşılaşabilmektedir. Bu problem hafıza takası denen bir yöntemle aşılabilir. Basitçe hafıza takası sabit bellek hafızasının bir bölümünün oku yaz bellek alanı olarak geçici bir süre için tahsis edilmesidir. Kütüphanelerin donanıma indirilmesi bu şekilde sağlanmıştır.

Ara sonuçların incelenmesi sonucunda, bu bölümde en başarılı sonucu veren Mel Frekans Kepstral Katsayıları ve Çizgi Spektral Frekansı katsayılarının birlikte uygulanmasına dayanan sistem UDOO QUAD üzerinde gerçekleştirilmiştir. MFKK ve ÇSF uygulaması için ayrı ayrı metotlar yazılmıştır. Bu metotlar giriş bilgisi olarak birer vektör kullanmaktadır. Bu vektörler sayısal işlem kolaylığı sağlayan Numpy dizisi olarak tabir edilen vektörlerdir. Bunun için böcek sesi kayıtlarının okunması ve okunan verilerin Numpy dizisine dönüştürülmesi gerekmektedir. MFKK ve ÇSF metotları birlikte bir öznitelik çıkartma metodunun içerisinde çalışmaktadır. Öznitelik çıkartma metodu örnekleme frekansı, kısa süreli pencere boyutu, kısa süreli pencere kaydırma mesafesi, orta süreli pencere boyutu, orta süreli pencere kaydırma mesafesi, pencereleme türü, Hızla Fourier Dönüşümü için örnekleme sayısı gibi parametreler almaktadır. MFKK ve ÇSF için kendilerine dair parametreler ayrı ayrıdır. Sistemde örnekleme frekansı 150 kHz olarak kayıtlara bağlı bir şekilde belirlenmiştir. Kısa süreli pencere boyutu 10 ms, kısa süreli pencere kaydırma mesafesi 2.5 ms, orta süreli pencere boyutu 100 ms ve orta süreli pencere kaydırma

mesafesi 25 ms olarak belirlenmiştir. Pencereleme türü olarak Hamming penceresi kullanılmıştır. Öznitelik çıkartma metodunun çıkışı her bir ses dosyasının MFKK ve ÇSF yöntemleriyle elde edilen bir öznitelik vektörü olarak temsil edilmiş halidir. Bu öznitelik vektörleri kendi sınıflarıyla isimlendirilerek k-EYK işlemine temel oluşturacak öğrenme kümesi haline getirilirler. Bu işlem Şekil 4.2'deki diyagramda gösterilmiştir.



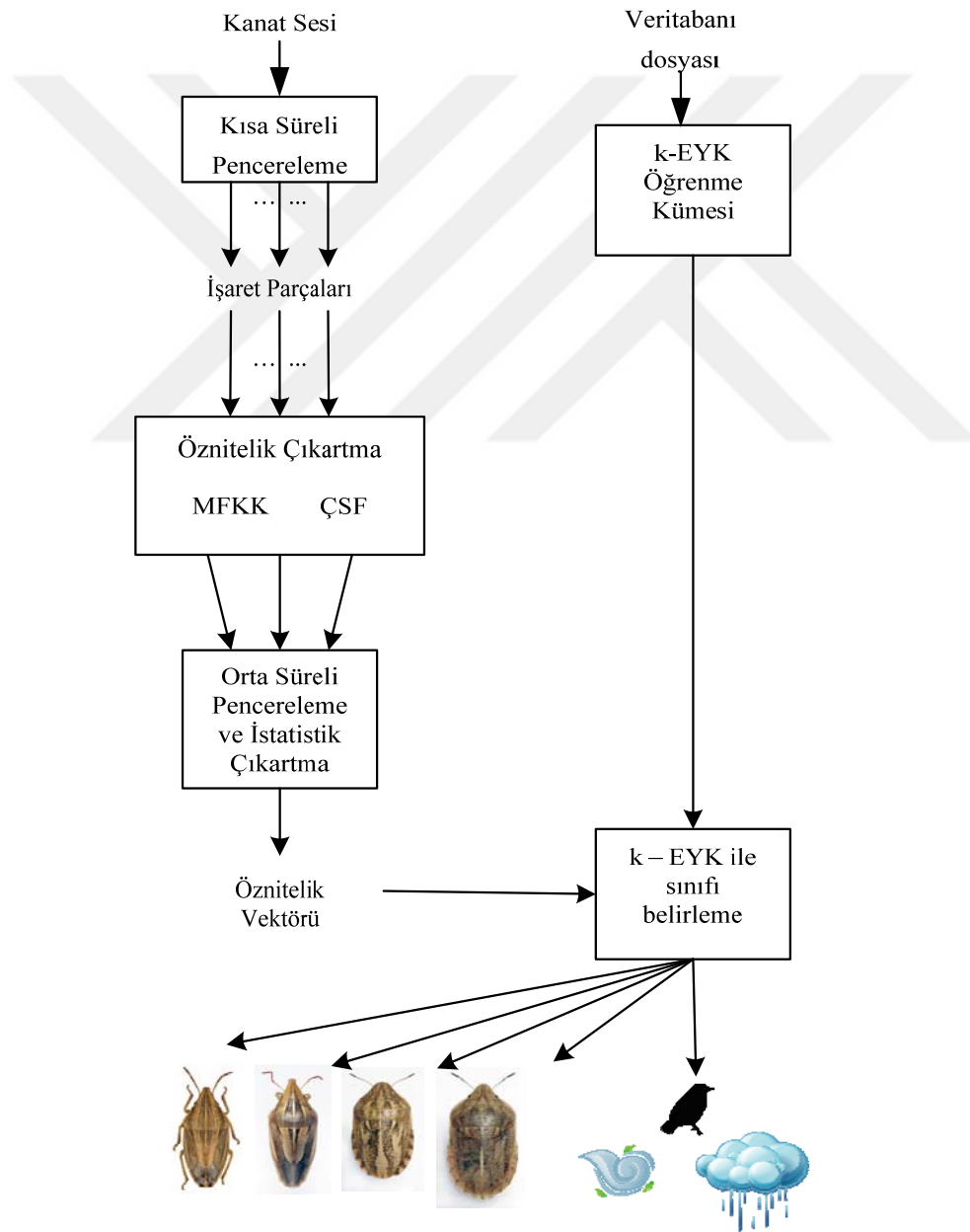
Şekil 4.2: Öğrenme kümesinin (veritabanı) oluşturulması.

Bu işlem gelişigüzel bir şekilde seçilmiş ve toplam süne ve kımıl kanat sesleri kayıtlarının %60'ını oluşturacak sayıda ses dosyası için gerçekleştirilir. Bu aşamada işlem gören ses dosyası sayısı 750'dir. Öznitelik vektörleri için orta süreli istatistik olarak sadece ortalama değer kullanılmıştır. Bu seçimin nedeni ÇSF ve özellikle de MFKK için Bayes hata oranı incelemesinde ortalama değer istatistiği için düşük hata oranlarının elde edilmesidir. İstatistik sayısının azalması, sistem başarısını aşağı çekecektir ancak bu sayede öznitelik vektörünün boyutu 26 elemana düşürülmüştür. Yani sistem için bir ses dosyası 26 katsayı ile temsil edilir hale gelmiştir.

Yazılan ikinci program, bir dosyaya kaydedilmiş veritabanı yani k – EYK bilgisini bu dosyadan okumaktadır. k – EYK bilgisinin ayrı bir dosyaya kaydedilmesi ve gömülü sistem için yazılan programın ikiye bölünmesinin nedeni öncelikle farklı donanımlara taşınabilecek bir örnek kümesi verisinin sağlanmasıdır. İkinci olarak da sistem sınıflandırma işlemini yaparken örnek kümesine üye ses dosyalarından tekrar

ve tekrar öznitelik vektörü çıkartmaya çalışırsa, işlem süresinin kabul edilemez büyüklüklere çıkacağına beklenmesidir. k – EYK için veritabanı bir sıkıştırma dosya formatı olan PK şeklinde kaydedilmiştir.

İkinci program PK dosyasındaki veritabanını okur ve k – EYK uygulaması için öğrenme kümesi halinde hazır hale getirir. Bu aşamadan sonra her bir test kümesi elemanı için öznitelik bilgisi çıkarılır ve sınıf olasılıkları belirlenir ve en yüksek olasılık sınıfı seçilerek karar verilir. Sistem için test kümesi tüm ses dosyalarının kalan %40'ı olan 500 adet böcek kanat çırpma sesi kaydıdır. Şekil 4.3'te görülen diyagramda test aşaması görülmektedir.



Şekil 4.3: Ses dosyasının hangi sınıfa ait olduğuna karar verme.

UDOO QUAD devresi üzerinde kurulan sistemde süne, kımıl ve ortam sesleri kayıtlarını işlemek için bu verilerin okunması sırasında bir dosya uyumsuzluğu problemi yaşanmıştır. Ses kayıtları birer 16 bitlik WAV dosyasıdır. Bu dosya tipi ses verileri için önerilmiş sıkıştırma işlemi içermeyen bir dosya tipidir. Yaygın kullanılan bu dosya tipiyle ilgi yaşanan problem ses kaydı için kullanılan Avisoft Recorder yazılımın her WAV dosyasına etiketleme amacıyla ek bit eklemesidir. Python üzerinde yazılan program bu ek bitler nedeniyle ses dosyasını tanımlayamamış ve açamamıştır. Bu sorunun çözümü için bir ses işleme yazılımı olan Sound Exchange yazılımından faydalanılmıştır. Bu yazılım ücretsizdir. Çözüm için her bir ses dosyası UDOObuntu terminal yazılımı üstünde WAV tipli bir dosyadan yine WAV tipli bir dosyaya dönüştürülecek şekilde toplu işleme tabi tutulmuştur. Bu dönüştürme işleminden sonra herhangi bir probleme rastlanmamıştır. Tasarlanan sınıflandırma sistemi UDOO QUAD mikrobilgisayarı üzerinde gerçekleştirilmiş ve zaman parametreleri ile sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir.



5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, yaygın kullanılan ses işleme ve ses öznitelik çıkartma yöntemleri kullanılarak tahıl üretimine zararları ülkemizde ve dünyada iyi bilinen süne ve kımlı zararlısı türlerinden dört tanesi olan *Eurygaster integriceps*, *Eurygaster austriaca*, *Aelia acuminata* ve *Aelia rostrata* böceklerinin kanat çırpma sesleri kaydedilmiş, incelenmiş ve bir gömülü sistem uygulaması olarak sunulmuştur.

Sistem k-EYK makine öğrenmesi yöntemini kullanan bir sınıflandırma sistemidir. Sistem modelinin kurulumu sırasında ortaya konan ara sonuçlar yaygın kullanılan ses öznitelik çıkartma yöntemlerinin bu probleme başarıyla uygulanabileceğini ortaya koymuştur. Ara sonuçlarda elde edilen sınıflandırma performansı sonuçlarına göre, MFKK yönteminin performansının süne ve kımlı zararlılarının tespiti aşamasında diğer öznitelik çıkarma yöntemi performanslarına göre baskın olduğu söylenebilir.

MFKK yönteminde mel ölçeğine göre dağılım gösteren filtre gruplarından yararlanılmaktadır. Görülmektedir ki ölçekli bir inceleme yöntemi sistemin başarı oranını arttırmaktadır.

Ses kayıtlarının ses ötesi sensörlerle yapılması duyulabilir ortam gürültüsünü bir filtre gibi davranarak azaltmış ve böylelikle sistem performansını olumlu etkilemiştir.

Gömülü sistem gerçekleştirilmesi başarılıdır. Bu sayede sahada kullanılacak, bilimsel ve ticari uygulamalara uyarlanabilecek tasarımların önü açılmıştır. Gömülü sistem uygulamasının sonucunda ortaya çıkan sistem modelinin başarısına ilişkin karmaşıklık matrisi Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Gömülü sistem gerçekleştirilmesi sonucu elde edilen karmaşıklık matrisinden ortalama doğruluk değeri hesaplandığında %77,6 ile oldukça kabul edilebilir bir değer bulunmuştur.

Çizelge 5.1: Gömülü sistem uygulaması sonucu elde edilen karmaşıklık matrisi

k=5	A. acuminata	A. rostrata	E. integriceps	E. austriaca	Diğer
A. acuminata	%72	%27	%0	%0	%1
A. rostrata	%15	%80	%3	%2	%0
E. integriceps	%1	%0	68%	%31	%0
E. austriaca	%0	%0	%19	%81	%0
Diğer	%3	%10	%0	%0	%0

Ortalama doğruluk değeri MATLAB ortamındaki %93,6'lık orana göre düşüktür ancak gömülü sistem kısıtları göz önüne alındığında oldukça başarılıdır.

Karmaşıklık matrisi incelendiğinde 1. tür ve 2. tür hatalara daha çok aynı cinse ait böcekler arasında rastlandığı görülmektedir. 1. tür hata doğru bir hipotezi yanlış olarak değerlendirmek 2. Tür hata da yanlış bir hipotezi doğru olarak değerlendirmek olarak tanımlanır. Bu durum sistemin kımıl ve süne cinslerini birbirinden ayırmakta oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.2'de gömülü sistem gerçekleştirilmesinin zamana bağlı performans metrikleri görülmektedir. Bu performans metrikleri iki farklı program üzerinden çıkarılmıştır. Sistemin çalışma hızı üstünde yapılabilecek geliştirmeler ile bu sistemin sahada ne şartlar altında uygulanabileceğine dair öngörülebilir bir yaklaşım oluşmasını sağlayacaktır.

Çizelge 5.2: Gömülü sistem uygulaması sonucu elde edilen zamana bağlı performans metrikleri

Ölçüm	Süre (s)
Öğrenim kümesi oluşturulurken tek dosyadan öznitelik çıkarma	1.74
Tüm öğrenim kümesi için öznitelik çıkarma	1433.75
Tüm öğrenim kümesi için öznitelik çıkarma ve veri tabanı oluşturma	1433.79
Veritabanını yükleme	0.18
Tek bir test verisinden sonuç alma	1.24
Veri tabanını yükleme ve tek bir veriden sonuç alma	1.42
Tüm bir sınıf için sonuç alma	176.33
Veri tabanını ekleme ve tüm test kümesi için sonuç alma	954.38

750 ses dosyasının okunduğu sistemde, bir ses dosyasını okumak ve öznitelik çıkartmak için geçen en kısa süre 1.74 s olarak bulunmuştur. Bu sistemde, bir ses dosyasını okumak ve öznitelik çıkartmak için geçen ortalama süre ise 1.91 s'dir. Veritabanını oluşturmak için geçen toplam süre ise 24 dakikaya yakındır. Bu oldukça uzun süre, aynı anda hem sınıflandırma sistemini oluşturan hem de karar veren bir yapının uygulanabilir olmadığını göstermiş ve iki aşamayı ayırmayı haklı kılmıştır. Öte yandan veri tabanını yüklemek ve bir test verisi için sonuç almak 1,5 s'den kısa sürmektedir. Ham ses kayıtları incelendiğinde bile sistemin bu haliyle uygulanabilir olduğu yargısına varılabilir. Burada ortalama değer 1.9 s civarındadır. Test işlemi sırasında tüm bir sınıfın üyeleri için karar verme süresi 176.33 saniyedir. 500 elemanlı test kümesinin tamamı için karar verme süresi ise 16 dakika civarındadır.

Burada çıkan sonuç, tek bir ses olayından sonuç çıkartmak için önerilen modelin yeterli ve uygulanabilir olduğudur.

Bu tez çalışmasında süne ve kımlı zararlılarının kanat seslerinden tespit edilebilir ve sınıflandırılabilir olduğu gösterilmiştir. Elde edilen doğruluk ve zaman sonuçları bu böceklerin ses ile tespiti konusunda bir ilk araştırma için umut vericidir.

Ancak bu ilk çalışma gelecek çalışmalar için bir temel işlevi gördüğünde gerçek anlamını bulabilir. Örneğin zaman metrikleri incelendiğinde belli hedef uygulamalar için kabul edilebilir sonuçlar alındığı doğrudur, buna karşın gerçek zamanlı çalışma

için bu sonuçların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu birkaç yolla gerçekleştirilebilir. Bunlar yazılımsal ve donanımsal yollardır. Çalışmada belli kütüphanelerinden faydalanılan görece yüksek seviye bir dil kullanılmıştır buna karşın düşük seviye dil kullanımıyla daha etkin çalışan bir program hayata geçirilebilir. Bununla birlikte yöntemlerin uygulamasının da tekrar ele alınması performansı arttırabilir. Buna ek olarak kullanılan öznitelik çıkartma yöntemleri yerine başka yöntemlerin kullanılmasının da başarılı sonuçlar vermesi muhtemeldir. Bu başarı, doğruluk değerleri konusunda da beklenebilir. Bu noktada kullanılan makine öğrenmesi yönteminin yerine önerilebilecek daha karmaşık ve gelişmiş yöntemler de mevcuttur.

Sistemin uygulanacağı donanımın kendisinin de amaca yönelik olarak yeniden tasarlanması mümkündür. Sahada programlanabilir kapı dizileri (FPGA) gibi olanaklar ile donanımın kendisini tasarlamak ya da başka mikrodenetleyiciler ile çalışmak mümkündür.

Son olarak uygulamada kullanılan sensörlerin de yeniden tasarlanması düşünülmelidir. Bu noktada literatürde benzer şekilde uygulaması görülen farklı sensörlerden de yararlanılabilir. Uygulamaya yönelik yazılım ve donanımın bir bütün olarak ele alınması ile sistem başarısı, kesinliği ve etkinliğinin artması ve fiyatın düşmesi beklenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Pekcan, G., & Karaagaoglu, N.** (2000). State of nutrition in Turkey. *Nutrition and Health* (Berkhamsted, Hertfordshire). <http://doi.org/10.1177/026010600001400105>
- [2] **Braun, H. J., Altay, F., Kronstadt, W. E., Beniwal, S. P. S., & McNab, A. (Eds.)**. (1997). *Wheat: Prospects for Global Improvement* (1st ed.). Springer Science+Business Media Dordrecht. <http://doi.org/10.1007/978-94-011-4896-2>
- [3] **Kinaci, E., Kinaci, G., Yildirim, A. F., & Atli, A.** (1998). Sunn pest problems in Central Anatolia and the role of wheat varieties in integrated control. *Euphytica*, 100, 63–67.
- [4] **Critchley, B. R.** (1998). Literature review of sunn pest *Eurygaster integriceps* Put. (Hemiptera, Scutelleridae). *Crop Protection*, 17(4), 271–287. [http://doi.org/10.1016/S0261-2194\(98\)00022-2](http://doi.org/10.1016/S0261-2194(98)00022-2)
- [5] **Yüksel, M.** (1969). Research on Comparison of *Eurygaster integriceps* Put. and *Aelia rostrata* Boh. damage. Ankara: Yeni Desen Printing Press.
- [6] **Gökdoğan, A.** (2015). Historical development of the struggle against sunn pest in Turkey. *Dört Öge*, 7.
- [7] **Reynolds, D. R., & Riley, J. R.** (2002). Remote-sensing, telemetric and computer-based technologies for investigating insect movement: A survey of existing and potential techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 35(2-3), 271–307. [http://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00023-6](http://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00023-6)
- [8] **Drosopoulos, S., & Claridge, M. F.** (2006). Insect sounds and communication: physiology, behaviour, ecology and evolution. *Insects sounds and communication: physiology, behaviour, ecology and evolution*. <http://doi.org/10.1603/008.102.0420>
- [9] **Hyatt, C. J., & Maughan, D. W.** (1994). Fourier Analysis of Wing Beat Signals : Assessing the Effects of Genetic Alterations of Flight Muscle Structure in Diptera Founer anays The *Drosophila* flight SyStem *Drosophila* wing movement is powered indirectly by two, 67, 1149–1154.
- [10] **Mankin, R. W., Weaver, D. K., Grieshop, M., Larson, B., & Morrill, W. L.** (2004). Acoustic system for insect detection in plant stems: Comparisons of *Cephus cinctus* in wheat and *Metamasius callizona* in bromeliads. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 21(4), 239–248.

- [11] **Bennet-Clark, H. C.** (1998). Size and scale effects as constraints in insect sound communication. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 353, 407–419. <http://doi.org/10.1098/rstb.1998.0219>
- [12] **Fleurat-Lessard, F., Tomasini, B., Kostine, L., & Fuzeau, B.** (2006). Acoustic detection and automatic identification of insect stages activity in grain bulks by noise spectra processing through classification algorithms. *Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored-Product Protection, ABRAPROS, Passo Fundo, RS, Brazil, 15-18 October 2006*, 476–486. Retrieved from <Go to ISI>://CABI:20093357582
- [13] **Gutierrez, A., Ruiz, V., Molto, E., Tapia, G., & del Mar Tellez, M.** (2010). Development of a bioacoustic sensor for the early detection of Red Palm Weevil (*Rhynchophorus ferrugineus* Olivier). *Crop Protection*, 29(7), 671–676. <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.02.001>
- [14] **Raman, D. R., Gerhardt, R. R., Wilkerson, J. B., Raman, D. R., Gerhardt, R. R., & Wilkerson, J. B.** (2007). Detecting Insect Flight Sounds in the Field: Implications for Acoustical Counting of Mosquitoes. *Transactions of the ASABE*, 50(4), 1481–1485. <http://doi.org/10.13031/2013.23606>
- [15] **Chen, Y., Why, A., Batista, G., Mafra-Neto, A., & Keogh, E.** (2014). Flying Insect Classification with Inexpensive Sensors. *Journal of Insect Behavior*, 27(5), 657–677. <http://doi.org/10.1007/s10905-014-9454-4>
- [16] **Batista, G. E. A. P. A., Hao, Y., Keogh, E., & Mafra-Neto, A.** (2011). Towards automatic classification on flying insects using inexpensive sensors. *Proceedings - 10th International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA 2011*, 1, 364–369. <http://doi.org/10.1109/ICMLA.2011.145>
- [17] **Silva, D. F., De Souza, V. M. A., Batista, G. E. A. P. A., Keogh, E., & Ellis, D. P. W.** (2013). Applying machine learning and audio analysis techniques to insect recognition in intelligent traps. *Proceedings - 2013 12th International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA 2013*, 1, 99–104. <http://doi.org/10.1109/ICMLA.2013.24>
- [18] **İslamoğlu, M., Kornoşor, S., & Tarla, Ş.** (2011). Türkiye ' de Süne , *Eurygaster spp . (Hemiptera : Scutelleridae) m ücadelesindeki gelişmeler (1928 – 2010)*, 2(1), 63–78.
- [19] **Kivan, M., & Konukçu, S.** (2011). Project report on aelia species. Tekirdag.
- [20] **Parker, B. L., Skinner, M., El Bouhssini, M., & Kumari, S. G. (Eds.)**. (2007). *Sunn Pest Management: A Decade of Progress 1994-2004*. Beirut: Arab Society for Plant Protection.
- [21] **Mohl, B., & Miller, L.** (1976). Ultrasonic clicks produced by the peacock butterfly: a possible bat-repellant mechanism. *J. Exp. Biol.*, 64, 639–644.

- [22] **Spangler, H. G., Greenfield, M. D., & Takessian, A.** (1984). Ultrasonic mate calling in the lesser wax moth. *Physiological Entomology*, 9(1), 87–95. <http://doi.org/10.1111/j.1365-3032.1984.tb00684.x>
- [23] **Brizio, C., & Buzzetti, F. M.** (2013). Ultrasound recordings of some Orthoptera from Sardinia (Italy). *Biodiversity Journal*, 5(1), 25–38.
- [24] **Brizio, C.** (2015). High frequency components of the songs of two Cicadas (Hemiptera Cicadidae) from Sardinia (Italy) investigated by a low-cost USB microphone, 6(1), 41–52.
- [25] **Giannakopoulos, T., & Pikrakis, A.** (2014). Introduction to A MATLAB Approach AUDIO ANALYSIS : (1st ed.). Academic Press.
- [26] **Benesty, J., Sondhi, M. M., & Huang, Y.** (Eds.). (2009). Springer handbook of speech processing. *Journal of the Acoustical Society of America* (Vol. 126). <http://doi.org/10.1121/1.3203918>
- [27] **Rabiner, L. R., & Schafer, R. W.** (1978). Digital Processing of Speech Signals. Retrieved from <http://digital-library.theiet.org/deliver/fulltext/ep/25/4/19790175.pdf?itemId=/content/journals/10.1049/ep.1979.0175&mimeType=pdf>
- [28] **Kowalski, B. R., & Bender, C. F.** (1972). The K-Nearest Neighbor Classification Rule (pattern recognition) applied to nuclear magnetic resonance spectral interpretation. *Analytical Chemistry*, 44(8), 1405–1411. <http://doi.org/10.1021/ac60316a008>
- [29] **Kamal, R.** (2008). *Embedded Sysytems: Architecture, Programming and Design* (Second Edi). New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- [30] **UDOO Datasheet. (n.d.)**. Retrieved November 1, 2016, from http://cdn.udoo.org/wp-content/uploads/2013/03/UDOO_datasheet.pdf
- [31] **Bressert, E.** (2012). *SciPy and NumPy: an overview for developers*. O'Reilly Media, Inc.
- [32] **Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... Duchesnay, É.** (2012). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Bilgi Görkem Yazgaç
Doğum Tarihi ve Yeri : 24/05/1990 İstanbul
E-posta : yazgacb@itu.edu.tr
gorkemyazgac@gmail.com



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Elektronik Mühendisliği, 2014

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ocak 2014'ten beri İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma görevlisi.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

- Yazgaç, B. G., Kırcı, M., & Kıvan, M. (2016, July). Detection of sunn pests using sound signal processing methods. In Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics), 2016 Fifth International Conference on (pp. 1-6). IEEE

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Aygün, S., Yazgaç, B. G., Kırcı, M., & Güneş, E. O. (2016, July). Design of an embedded system for automatically determination of the varieties of wheat seeds grown in Turkey based on image analysis. In Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics), 2016 Fifth International Conference on (pp. 1-6). IEEE.