

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**E-BURUN KULLANILARAK AYNI VE AYRI HASAT DÖNEMİNDEKİ FARKLI
KALİTELERE SAHİP SİYAH ÇAYLARIN SINIFLANDIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. Elif KAZDAL

**TEMMUZ 2022
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

**E-BURUN KULLANILARAK AYNI VE AYRI HASAT DÖNEMİNDEKİ FARKLI
KALİTELERE SAHİP SİYAH ÇAYLARIN SINIFLANDIRILMASI**

Elektrik-Elektronik Müh. Elif KAZDAL

ORCID : - - -

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"ELEKTRONİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 / 06 / 2022

Tezin Savunma Tarihi : 18 / 07 / 2022

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayten ATASOY
ORCID : - - -

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans programı kapsamında hazırlanan bu tez, aynı ve ayrı hasat dönemindeki farklı kalitelere sahip siyah çayların elektronik burun ile sınıflandırılması amacıyla yapılan deneysel çalışmalarının başarımlarının incelendiği bir çalışmadır.

Bu tez çalışması için danışmanlığımı üstlenerek, lisans ve yüksek lisans öğrenimin boyunca gerek bilimsel faaliyetler de gerekse diğer konular da beni destekleyerek yol gösteren ve her zaman yardımcı olan sayın Prof. Dr. Ayten ATASOY'a teşekkürlerimi en içten, saygı ve minnetle sunarım.

Bu yüksek lisans çalışmasının verilerinin incelenmesi için işlenmiş kuru siyah çay numunelerini bize sağlayan Ofçaysan A.Ş. fabrikasına katkılarından ve ilgilerinden dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca değerli zamanını benimle paylaşan ve bana her zaman destek olan değerli Öğr. Gör. Ümit ÖZSANDIKCIOĞLU'na ve her zaman yanımda olan değerli Arş. Gör. Reyhan SAĞ'a teşekkür ederim. Ayrıca beni her koşulda destekleyen, anlayış gösteren, sevgileriyle, hoş görüleriyle yanımda olarak beni bugünlere getiren canım annem ve babama, her zaman yol göstericim olan abime ve hayata bir sıfır önde başlamamı sağlayan ikizime şükranlarımı sunarım.

Elif KAZDAL

Trabzon 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “E-Burun Kullanılarak Aynı ve Ayrı Hasat Dönemindeki Farklı Kalitelere Sahip Siyah Çayların Sınıflandırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ayten ATASOY’un sorumluluğunda tamamladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 18/07/2022

Elif KAZDAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması	2
1.3. Tezin Amacı	4
1.4. Tezin Kapsamı	5
1.5. Koku Bilgisi	6
1.6. Çay Bitki Bilgisi	6
1.6.1. Çay Türleri	7
1.6.1.1. Siyah Çayın Üretimi	9
1.6.1.1.1. Çay Yapraklarının Toplanması ve Hasat Dönemi	9
1.6.1.1.2. Soldurma.....	10
1.6.1.1.3. Kıvrırma-Kıvrılma	11
1.6.1.1.4. Oksidasyon-Fermantasyon	11
1.6.1.1.5. Kurutma	12
1.6.1.1.6. Tasnif ve Paketleme.....	13
1.6.2. Siyah Çay Kalitesinin Analizi	13
1.6.2.1. Çay Tadımı(Degütasyon)	14
1.7. E-Burun.....	14
1.7.1. İnsan Burnu ve Elektronik Burnun Koku Alma Modeli	15
1.7.1.1. İnsan Burnu ve Elektronik Burnun Karşılaştırılması.....	16
1.7.1.2. Elektronik Burnun Üstünlüğü	17

2.	MATERYAL VE METOD.....	18
2.1.	Kullanılan Veri Seti: Kuru Siyah Çay	18
2.2.	E-Burun Devresi	19
2.2.1.	Algılayıcı Birim	20
2.2.1.1.	Kimyasal Sensör: MOS Gaz Sensörü	20
2.2.2.	Dönüştürücü Birim.....	22
2.2.3.	Elektronik Birim	24
2.2.4.	Örüntü Tanıma Birimi.....	24
2.2.4.1.	Ön İşleme	25
2.2.4.2.	Öznitelik Çıkarımı	25
2.2.4.3.	Sınıflandırma.....	26
2.3.	Sınıflandırma Algoritmaları.....	26
2.3.1.	k-En Yakın Komşu (k-EYK)	28
2.3.2.	Destek Vektör Makinesi (DVM)	30
2.3.3.	Karar Ağaçları.....	31
2.3.3.1.	Topluluk Öğrenme-Torbalama-Bağlı Ağaçlar.....	31
3.	YAPILAN ÇALIŞMA	33
3.1.	E-Burun Deney Düzenegi	33
3.1.1.	Kokunun İletilmesi.....	34
3.1.2.	Kontrol Arayüz Devresi: Röle Kartı	35
3.1.3.	Koku Haznesi ve Isıtıcı	36
3.1.4.	Sensör Haznesi ve Sensör Kartı	37
3.1.4.1.	MOS Gaz Sensörleri ve Sensör Arayüz Kartı.....	38
3.1.5.	Veri Elde Etme Kartı: DAQ Kart.....	39
3.2.	E-Burun Deney Aşaması.....	40
3.3.	İşarete Ön İşlem Uygulanması.....	42
3.4.	İşarete Uygulanan Öznitelik Çıkarımları	51
3.5.	Verilerde Kullanılan Sınıflandırma Algoritmaları	52
4.	DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLAR	53
4.1.	İlk Veri Seti: Mayıs-Haziran(1. Hasat) Dönemi Siyah Çaylar	53
4.2.	İkinci Veri Seti: Temmuz -Ağustos(3. Hasat) Dönemi Siyah Çaylar.....	56
4.3.	Üçüncü Veri Seti: Mayıs-Haziran ve Temmuz -Ağustos(1. ve 3. Hasat) Dönemi Siyah Çaylar.....	59

5.	DEĞERLENDİRME.....	63
6.	KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ		



ÖZET

E-BURUN KULLANILARAK AYNI VE AYRI HASAT DÖNEMİNDEKİ FARKLI
KALİTELERE SAHİP SİYAH ÇAYLARIN SINIFLANDIRILMASI

Elif KAZDAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ayten ATASOY
2022, 70 Sayfa

Dünya genelinde en çok tüketilen içeceklerin bir örneği çaydır ve ülkemiz çay sektörü yönüyle önemli bir yere sahiptir. Bunlardan dolayı çay kalitesi her zaman ön planda olan bir konudur. Çay ürünlerinin sağlıklı yöntemlerle üretilerek iyi bir kalite standardında olması istenilen durumdur. Çay, satış piyasasına sunulmadan önce amaçlanan kalitede doğruluk göstermelidir. Çay kalitesinin standartlarının belirlenmesinde insanların öznel karar vermesi değişken sonuçlara neden olabilir. Çayın kalitesinin nesnel yöntemlerle kontrol edilmesi, çay fabrikalarında daha doğru sonuçlara ulaşılması için gereklidir.

Bu tez çalışmasında, çay kokusu temel alınarak Doğu Karadeniz Bölgesinde üretilen aynı ve ayrı hasat dönemindeki farklı kalitelere sahip siyah çayların kalitesinin elektronik ortamda sınıflandırılması için minimal olarak tasarlanan elektronik burun prototipi kullanılmıştır. Bu e-burun devresinde sistemli bir yol izlenerek siyah çayların kokusunun 8 farklı sensör tarafından algılanması sağlanmıştır. İletkenlik değişimine dayalı olarak çalışan sensörlerin neden olacağı gerilim değişimi veri toplama kartına kaydedilmiş ve bilgisayarda sayısal olarak görüntülenmiştir. E-burun devresiyle elde edilen bu işaretlere ön işleme uygulamış, öznitelik çıkarımı yapılmış ve k-en yakın komşu, destek vektör makineleri ile torbalama öğrenme algoritmaları sınıflandırma amacıyla kullanılmıştır. Sınıflandırma başarılarının incelenmesi için 5-katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmış ve yöntem sonucundaki başarımlar yüzdelere belirlenerek karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektronik Burun, Öznitelik, Sınıflandırma, En Yakın Komşu, Destek Vektör Makinası, Topluluk Öğrenme, MATLAB®.

Master Thesis

SUMMARY

CLASSIFICATION OF DIFFERENT QUALITY BLACK TEA IN THE SAME AND SEPARATE HARVEST PERIOD USING E-NOSE

Elif KAZDAL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ayten ATASOY
2022, 70 Pages

An example of the most consumed beverage in the world is tea and our country has an important place in terms of the tea sector. Therefore, the quality of tea is always a priority issue. It is desired that tea products are produced with healthy methods and have a good quality standard. Before the tea is placed on the market for sale, it must demonstrate accuracy in the intended quality. The subjective decision of people in determining the standards of tea quality can lead to variable results. Controlling the quality of tea with objective methods is necessary to achieve more accurate results in tea factories.

In this thesis, a minimally designed electronic nose prototype was used for the classification of the quality of black teas with different qualities in the same and separate harvest periods produced in the Eastern Black Sea Region, based on the scent of tea. In this e-nose circuit, a systematic way was followed and the smell of black tea was detected by 8 different sensors. The voltage change caused by the sensors operating based on the conductivity change was recorded on the data acquisition card and displayed digitally on the computer. These signals obtained with the e-nose circuit were preprocessed, feature extraction was performed and k-nearest neighbor, support vector machines and bagging learning algorithms were used for classification. The 5-fold cross-validation method was used to examine the classification achievements and the percentages of success in the results of the method were determined and compared.

Keywords: Electronic Nose, Attribute, Classification, Nearest Neighbor, Support Vector Machine, Community Learning, MATLAB®

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Çay türleri: (a) yeşil çay, (b) oolog çay ve (c) siyah çay	8
Şekil 2. Çay yaprağının soldurma aşaması	10
Şekil 3. Çay yaprağının makinelerle kıvrılma aşaması	11
Şekil 4. Çay yaprağının oksidasyon aşaması	12
Şekil 5. Çay yaprağının kurutma aşaması	12
Şekil 6. Çay yaprağının tasnif ve paketlenme aşaması	13
Şekil 7. İnsan burnu ve elektronik burun koku alma sistemi	15
Şekil 8. Elektronik burun işlem adımları	20
Şekil 9. (a) n-tipi MOS sensör (b) p-tipi MOS sensör MOS gaz sensörün tepkisi	22
Şekil 10. Gaz sensörü için gerilim bölücü devre	23
Şekil 11. Gaz sensör dizisinden elde edilen işarete uygulanan temel aşamalar	25
Şekil 12. 3-nn ve 5-nn ile yeni verinin sınıfının tahmini	29
Şekil 13. İki sınıflı bir problem için DVM	30
Şekil 14. Karar ağacının yapısı	31
Şekil 15. E-burun deney düzeneği blok diyagramı	34
Şekil 16. Koku moleküllerinin iletim yönünü belirleyen selenoid valf	35
Şekil 17. Sistemi ve valfleri kontrol eden röle kartı	36
Şekil 18. Sensör Haznesi	38
Şekil 19. Büyük ve küçük boyutlu TGS sensörler	37
Şekil 20. DAQ kart dış ve iç görüntüsü	40
Şekil 21. Elde edilen sensör verisinde e-burun deney aşamaları	41
Şekil 22. 1. hasat 1. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 1. sınıf)	43
Şekil 23. 1. hasat 2. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 2. sınıf)	43
Şekil 24. 1. hasat 3. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 3. sınıf)	44
Şekil 25. 1. hasat 4. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 4. sınıf)	44
Şekil 26. 3. hasat 1. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 5. sınıf)	45
Şekil 27. 3. hasat 2. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 6. sınıf)	45
Şekil 28. 3. hasat 3. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 7. sınıf)	46
Şekil 29. 3. hasat 4. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 8. sınıf)	46
Şekil 30. Ön işlem sonrası 1. hasat 1. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 1. sınıf)	47

Şekil 31. Ön işlem sonrası 1. hasat 2. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 2. sınıf)	47
Şekil 32. Ön işlem sonrası 1. hasat 3. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 3. sınıf)	48
Şekil 33. Ön işlem sonrası 1. hasat 4. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 4. sınıf)	48
Şekil 34. Ön işlem sonrası 3. hasat 1. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 5. sınıf)	49
Şekil 35. Ön işlem sonrası 3. hasat 2. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 6. sınıf)	49
Şekil 36. Ön işlem sonrası 3. hasat 3. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 7. Sınıf)	50
Şekil 37. Ön işlem sonrası 3. hasat 4. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 8. sınıf)	50



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Siyah çayların kalitelerinin sınıflandırma etiketleri.....	18
Tablo 2. n ve p tipi MOS'ların örnek gazlara direnç tepkisi.....	21
Tablo 3. Hata Matrisi	27
Tablo 4. Sitem durumuna göre selenoid valflerin aktif ve pasifliği.....	36
Tablo 5. Kullanılan TGS sensörlerinin özellikleri	39
Tablo 6. Öznitelik grupları ve boyutları.....	52
Tablo 7. Mayıs-Haziran hasat dönemi siyah çay verilerine uygulanan öznitelik gruplarına karşılık sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri	54
Tablo 8. Özniteliklere uygulanan k-EYK, DVM ve torbalama-bağlı ağaçlar algoritmaları sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri.....	55
Tablo 9. En yüksek başarı sınıfı Karesel DVM'nin hata matrisi	56
Tablo 10. Temmuz-Ağustos hasat dönemi siyah çay verilerine uygulanan öznitelik gruplarına karşılık sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri	57
Tablo 11. Özniteliklere uygulanan k-EYK, DVM ve torbalama-bağlı ağaçlar algoritmaları sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri.....	58
Tablo 12. En yüksek başarı sınıfı Torbalama-Bağlı Ağaçlar hata matrisi	59
Tablo 13. Mayıs-Haziran ve Temmuz-Ağustos hasat dönemi siyah çay verilerine uygulanan öznitelik gruplarına karşılık sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri.....	60
Tablo 14. Özniteliklere uygulanan k-EYK, algoritmaları sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri	61
Tablo 15. Özniteliklere uygulanan DVM ve Torbalama-Bağlı ağaçlar algoritmaları sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri	61
Tablo 16. En yüksek başarı sınıfı Doğrusal DVM'nin hata matrisi.....	61

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CART	: Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları
DAQ	: Veri Toplama Ünitesi
DVM	: Destek Vektör Makinesi
G_{SV}	: İletkenliğe Dönüştürülmüş Sensör Verisi
k-EYK	: K En Yakın Komşu
MOS	: Metal Oksit Yarıiletken
R_L	: Sensör Yük Direnci
R_S	: Sensör Direnci
TGS	: Taguchi Gaz Sensörü
V_{CC}	: Devre Gerilimi
V_{RD}	: Referans Düzeltmesi Yapılmış Sensör Gerilimi
V_{RL}	: Yük Direnci Gerilimi
V_S	: Sensör Direnci Gerilimi
V_{SB}	: Sensör Besleme Gerilimi
YSA	: Yapay Sinir Ağı
QCM	: Kuvars Kristal Mikroterazi
QIM	: Kalite İndeksi Yönetimi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsan koku alma sistemi bilim dünyasında her zaman dikkat çeken bir konu olmuştur. Bu nedenle geçmişten günümüze baktığımızda kokunun algılanması ve sonuçlarının değerlendirilmesi üzerine farklı birçok çalışma yapılmıştır. Koku alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde elektronik burun teknolojisi kapsamında hayata geçirilmiş birçok proje olduğu ve yeniliğe açık bir alan olduğu görülmüştür. Elektronik burun, yapısında kimyasal sensör dizisi bulunduran ve insan burnunun algılayamadığı seviyelerdeki kokular üzerinde hassas ölçüm yapabilen cihazdır. Elektronik burun, bir kokuyu algılayıp tanımlayabilmenin yanı sıra ölçüm yapılan madde içinde her bir uçucu organik bileşiğin yoğunluğunu, ne oranda bulunduğunu aynı zamanda hangi sınıflara dahil olduğunu da algılayabilen cihazdır [1]. Günümüzde elektronik burunlar oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptirler; tarım, hava yolu ulaşımı, taşıma, kozmetik, çevresel uygulamalar, yiyecek-içecek sektörü ile tıbbi ve askeri uygulamaların da içinde bulunduğu birçok sektörde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [2].

Türkiye’de tarım, başta sanayi olmak üzere diğer sektörlerin de gelişmesini sağlayan güç olmuştur. Tarımda yetiştirilen ürünler arasında çay önemli bir yere sahiptir. Çayın ithal ve ihracattaki yeri yadsınamaz. Türkiye’nin iklim koşullarının elverişli olması nedeniyle özellikle Doğu Karadeniz Bölgesinde yapılan çay tarımı da ekonomiye katkı sağlamaktadır. 2019/2020 yılına göre çay üretiminde Türkiye dünya genelinde beşinci sıradadır. Aynı yıla göre yıllık kişi başı çay tüketimi Türkiye’de 14,6 kg’dır [3]. Veriler doğrultusunda ülkemizde çay sektörünün son yıllarda hızla büyüdüğü görülmektedir [4]. Bu büyüme, çay fabrikalarının çayın kalitesine önem vermesi için onları zorunlu hale getirmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında kullanılan maddenin çay olarak belirlenmesinde yukarıda gösterilmiş olan uygulama alanlarındaki bilgiler ve çay konusundaki veriler göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmada gaz sensörleri kullanılarak, çayın özünde bulunan aromatik maddelerin yaydığı koku moleküllerini algılayabilen elektronik burun tasarlanıp prototipi geliştirilmiştir ve deneyler doğrultusunda elde edilen veriler ile demlenmiş siyah çayın kalite kontrolü hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Çayın kalite sınıflandırılmasının e-burun

devresinden elde edilen verilerle, nesnel yöntemler olarak kontrol edilmesi daha doğru sonuçlara ulaşılması için gereklidir.

1.2. Literatür Araştırması

Genel literatür taraması yapıldığında e-burunun gıda sektörü başta olmak üzere sağlıkta hastalıkların tespiti, kozmetikte parfümlerin değerlendirilmesi, endüstride çevreye salınan zararlı gazların tespiti gibi bir çok alanlarda kullanıldığı görülür. Literatür araştırmasında, yapılan bu proje ile ilgili olarak daha önce e-burunda çay üzerine yapılan benzer uygulamalar, deneysel çalışmalar ve gerçekleştirilen projeler üzerinde durulmuş ve aşağıda anlatılmıştır.

Ritaban Dutta ve arkadaşları fırında kurutulan, ateşte kurutulan, iyi, orta ve aşırı fermente edilerek kurutulan birbirinden farklı özelliklere sahip 5 farklı çay örneğini 4 farklı MOS sensörün kullanıldığı e-burun donanımı ile sinir ağları yöntemleri kullanarak sınıflandırmayı amaçlamış ve %100 sınıflandırma başarısı elde etmişlerdir [5].

Nabarun Bhattacharyya ve arkadaşları hazır olarak kullandıkları Alpha MOS 2000 elektronik burunda Ortodoks çaylarının sınıflandırılabilir olup olmadığını araştırmak istemişlerdir. Çalışma için çeşitli klonlardaki; TV-14, T383, BALASUN 913178, BALASUN 7/1A/76, AV 2 ve THURB009 olarak klonlama tanımlaması yapılan 6 adet Ortodoks çayı kullanılmıştır. Temel Bileşen Analizi (TBA) grafiğinde 6 klonal çay çeşidi arasında sınıflandırma işleminin mümkün olduğunu gözlemlemiştir [6].

Bipan Tudu ve arkadaşları e-burunu bu çalışmada çayın sınıflandırılması için değil; bitmiş çayın tadını fermantasyon süresinin etkilediğini önemseyerek, fermantasyon işlemi sırasında siyah çayın gerçek zamanlı koku takibi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Koku verisinin fermantasyon sırasındaki tepe noktası tahmini üzerine çalışmalarını yürütmüş ve böylece 8 adet MOS sensörü içeren e-burundan aldıkları çay koku verileri sayesinde fermantasyon süresini saptamanın mümkün olabileceğini görmüşlerdir [7].

Nabarun Bhattacharyya ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir diğer çalışmada ise, ilk olarak çayın aromasını oluşturan kimyasallarına hassasiyet gösteren uygun sensör seçimini yapmayı, ikinci olarak ise Hindistan'ın farklı yerlerinden toplanmış ve çay tadımcıları tarafından puanlanmış örnek siyah çayların bu puanlar ile ilişkilendirmesini sağlamak için e-burun devresinden koku verisi elde ederek yapay sinir ağı yöntemlerine dayalı hesaplama modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonunda 8 adet MOS sensör belirlemişler ve

e-burunda kullanarak elde ettikleri çay verilerine Matlab ortamında olasılıksal sinir ağı, radyal tabanlı fonksiyon ve geri yayımlı-çok katmanlı algılayıcı yöntemlerini uygulamışlardır. Çalışma sonucunda, yatıkları modeli çay tadımcılarının puanlamaları ile karşılaştırdıklarında %81 ile %94 arasında tahmini doğrulama başarısı elde etmişlerdir ve bu da çayın aroma karakterizasyonu için e-burunun elverişli bir araç olarak kullanılabileceğini göstermiştir [8]. Birkaç ay sonra gerçekleştirmiş oldukları bir diğer çalışmada ise oluşturdıkları modeli kullanarak Hindistan'ın doğu ve kuzeydoğusuna yayılmış çay merkezlerinin dört farklı bahçesinden örnekler toplamış ve bunları ham veri ve normalleştirilmiş veri olarak sınıflandırmayı denemişlerdir. Ham veri de sınıflandırma başarısını %60.25 olarak elde ederlerken normalleştirilmiş veri de %93.80 oranında başarı elde etmişlerdir [9].

Pradip Saha ve arkadaşları yapmış oldukları bir araştırmada Hindistan'ın 4 farklı arazisinde yetiştirilmiş olan siyah çayların sınıflandırma tahmini için 3 farklı türde çok sınıflı destek vektör makinesi kullanarak makine öğrenme algoritmasının çay sınıflandırmasındaki potansiyelini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda %95 ile %97 oranında tahmin başarısı elde etmişlerdir [10].

Runu Banerjee ve arkadaşları da Hindistan'da 4 farklı kalitedeki çaylarının sınıflandırılmasında e-burun ve e-dil verilerine bulanık sinir ağı yöntemini uygulayarak başarısını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada verileri hem e-burun hem de e-dil ile ayrı ayrı elde etmişlerdir. E-burun'da elde ettikleri çay verilerine uyguladıkları yöntem ile %81.49 başarı elde ederlerken e-burun ve e-dil verilerini birlikte kullandıklarında %89.44 oranında başarı elde etmişlerdir [11]. Birkaç yıl sonra gerçekleştirmiş oldukları bir diğer çalışmada 4 farklı araziden toplanan siyah çayların verilerini yine e-burun ve e-dil de elde ederek bayes temelli istatistiksel sınıflandırıcı kullanmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda da sınıflandırma verilerin hata oranına baktıklarında e-burun da %30.91, e-dil de %16.98 ve ikisi birlikte %8.18 değerlerini görmüşlerdir [12]. Ayrıca yaptıkları bu çalışmalar ile koku ve tat duyularının birlikte kullanılması ile yapay algının geliştiği sonucunu da ortaya çıkarmışlardır.

Tharaga Sharmilan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada e-burunu siyah çayın fermantasyon sürecini izlemek için kullanmışlardır. Fermantasyon süresi boyunca aroma seviyesindeki değişim e-burun ile takip edilmiş ve optimum fermantasyon süresinin belirlenmesi için en iyi şartlar olarak kabul edilen fermantasyon sonucundaki koku e-buruna tanıtılmıştır. Elde edilen koku verileri farklı sinir ağı ve istatistiksel yöntemler ile analiz

edilmiş, çalışma sonucunda fermantasyon boyunca elde edilen kokuların sınıflandırılmasının en iyi doğruluk sonucu Matlab yazılımında 3 en yakın komşuluk sınıflandırma algoritması ile %74.19 oranında elde edilmiştir [13].

Bilgehan Tozlu ve arkadaşı çayın fermantasyon süreci ile ilgili olarak yaptıkları çalışma da yüksek, orta ve düşük olarak belirlenen 3 farklı kalitedeki siyah çayların verilerini elde etmek için 12 adet MOS gaz sensörüne sahip e-burun oluşturmuşlardır. Elde ettikleri siyah çay verilerinde gerçekleştirdikleri sınıflandırma çalışmasının sınıflandırma performansını en yakın komşuluk, doğrusal ayırma analizi ve Bayes algoritmaları ile incelemişlerdir. %46.88 ile %75.00 arasında sınıflandırma başarısını elde ettikleri çalışmada en yüksek doğruluk performansını 3 en yakın komşuluk algoritması ile sağlamışlardır [14,15].

Yavuz Kablan'ın gerçekleştirmiş olduğu Yüksek Lisans Tez çalışmasında ise aynı markanın birbirinden farklı 4 adet siyah çayı ile bir diğer markanın birbirinden farklı 2 adet siyah çaylar incelenmiştir. Çayların verileri e-burun ile elde etmiş ve verileri sınıflandırmak için; karar ağaçları, k en yakın komşuluk, doğrusal ayırma analizi, destek vektör makineleri ve sınıflandırıcı toplulukları algoritmalarını kullanmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek sınıflandırma başarısını %70.9 oranında doğrusal ayırma analizi algoritmasında elde etmiştir [16].

1.3. Tezin Amacı

Yapılan literatür araştırmasında, son yıllarda elektronik burunun makine öğrenmesi çalışmalarının temelini oluşturduğu ve elektronik burun ile yapılan çalışmaların gün geçtikçe teknolojiye yerini alarak fizik, kimya, sağlık, gıda, savunma sanayi gibi bir çok alanda da kullanımının arttığı görülür.

Çay sektörünün her geçen gün geliştiği dünyamızda, çayın ülkemizde de yaygın olarak üretilen ve tüketilen bir içecek olması; yapılan bu tez çalışması için büyük bir etken olmuştur. Literatür araştırmasında belirtilen elektronik burun çalışmaları da göz önünde bulundurularak; mamul siyah çayın paketleme aşamasında kalitesinin belirlenmesine dair, hem objektifliği hem de maliyeti en aza indirgeyebilecek bir kontrol sisteminin olmadığı görülür. Çay kalitesi, üretimden sonra kimyasal analiz veya geleneksel olarak 'çay tadımcıları' olarak adlandırılan uzman insanlar tarafından belirlenir. Kimyasal analizin

pahalı olması her üretim sonucundaki siyah çay için kullanılmasını güçleştirmektedir. Bu noktada olaya çay tadımcıları dahil olur. Bu uzman kişiler aldıkları eğitimler neticesinde belli bir özelliklere dayalı olarak bir kalite derecelendirmesi yapsa da kişiye göre sonuç alınan bu durum zamanla nesnelliğini yitirebilir ve uzman kişiler tarafından verilen karar her zaman doğru olmayabilir.

Gerçekleştirilen tez çalışmasındaki ana amaç; yapılan bu kalite sınıflandırılmasındaki değişkenliği, özneliği ortadan kaldırarak; çayların paketlenme aşamasında, demlenmeden kalite sınıflandırmasının sağlanmasıdır.

Ayrıca gerçekleştirilen bu tez çalışmasında,

- ✓ İlk adım olarak en küçük boyutlarda bir e-burun üretilmesi,
- ✓ Elde edilecek verilerin sağlıklı olması için sensörlerin mümkün olan en uygun koşullarda devreye dahil edilmesi,
- ✓ Sensörlerden elde edilen veriler de sınıflandırma başarısını arttıracak en iyi öznelik çıkarımının yapılması,
- ✓ Sınıflandırma başarısını etkileyen bir diğer etmen olan sınıflandırıcı algoritmanın en doğru şekilde belirlenmesi,

amaçlanır.

1.4. Tezin Kapsamı

Bu tez çalışmasında e-burun devresi kullanılarak aynı ve ayrı hasat dönemindeki siyah çayların kalitelerinin sınıflandırılması yapılmıştır. Tezdeki ana ve alt başlık bölümlerindeki anlatımlar aşağıdaki şekildedir:

Birinci bölümde, siyah çayın üretimi ve önemi, insan koku alma sistemi ve elektronik burun ile ilgili olarak genel bilgilere yer verilmiş ve yapılan çalışmalar literatür araştırması başlığında sunularak bu tezin gerçekleştirilmesindeki ana amaç anlatılmıştır.

İkinci bölümde, verilerin elde edilebilmesi, analiz edilmesi, işlenmesi ve sınıflandırılabilmesi için materyal ve metod ile ilgili teorik bilgilere yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, yapılan e-burun devresinde deneyin gerçekleştirilmesi aşama aşama anlatılarak materyal ve metod kısmındaki bilgilerle sensör işaretlerine MATLAB

arayüzünde uygulanan ön işleme, öznitelik çıkarımları ve sınıflandırmalar tablo ve görsellerle anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, 3 farklı veri seti için sınıflandırma doğruluğu başarıları karşılaştırmalı olarak ele alınmış, en iyi başarının sağlandığı sınıflandırıcılara ait hata matrisleri oluşturularak detaylıca yorumlanmıştır.

Beşinci ve son bölümde ise, yapılan çalışma değerlendirilmiştir.

1.5. Koku Bilgisi

Koku, koku alma duyusu ile hissedilen, genelde bir maddenin çok küçük konsantrasyonlar da havaya karışmış veya buharlaşmış olan moleküllerinden oluşur. Buharlaşma ne kadar yoğun olursa, koku da o kadar belirgin olur. Bu nedenle bir maddenin uçucu organik bileşenlerinin tespitinde yoğunluk önemlidir.

Bir kokunun daha önceden hiç koklamamış bir kişiye anlatılması veya tanımlanması oldukça zordur. Bu nedenle tanımsız olan bir koku, genellikle başka bir referans kokuya benzetilerek tanımlanma yoluna gidilir. Örneğin, bir bebek büyüyene kadar mandalina koklamamış ise onun nasıl bir kokuya sahip olduğunu bilemez. Bunun nedeni algılanan yeni kokunun daha önceden beyin tarafından algılanmamış ve tanımlanmamış olmasından kaynaklanır. Kokuya karakteristik niteliğini kazandıran, moleküller arasındaki mikroskobik değişikliklerdir. Örneğin, taze bir meyve ile çürümüş bir meyveyi birbirinden ayıran özellik, çevreye yaydıkları koku taneciklerinin yapılarındaki farklılıktır.

1.6. Çay Bitki Bilgisi

Yaklaşık 4500 yıllık tarihi olan ve Latince *camellia sinensis* olarak isimlendirilen çay, bugün dünyada sudan sonra en fazla içilen ve içme alışkanlığı gittikçe artan bir içecek türüdür. Çay bitkisinin yapraklarında alkaloidler, fenolik bileşikler, uçucu yağlar ve değişik vitaminleri bulundurması önemli bir özelliğidir. Çay, bitkinin taze sürgün yapraklarının işlenmesiyle elde edilir. Çay bitkisi filizlerinin soldurma, kıvrırma, oksidasyon ve kurutma işleminden geçirildikten sonra elde edilen ürün çaydır [17]. Dünyada yeşil ve siyah çay olmak üzere iki çay ürünü elde edilmektedir. Bunların her ikisinin de ham maddesi, çayın taze yaprakları olmasına rağmen bu yaprakların işlenme tarzındaki farklılıklar çayların farklı

olmasına neden olmaktadır. Siyah ay etimi ile yeşil çay etimi arasındaki en önemli ayırım, siyah çay üretiminde fermentasyonun (yükseltgenmenin) uygulanmış olmasıdır. Siyah ayda renk, koku ve lezzet enzimatik oksidasyon sonucu oluşur [18]. ayların işlenme aşaması, aylarda farklılıklar meydana getirdiği gibi bu çayların kalitelerinde de farklılık meydana getirmektedir.

Normal durumlarda çay bitkisinin yüksekliliği yıl boyunca 15-20 cm kadar artmaktadır [19]. Bu büyüme çay hasatının zorlaşmasına neden olmakta ve verimliliği düşürmektedir. Verimliliğin düşmemesi için çay bitkisinin hasat dönemleri göz önünde bulundurularak, çayın belirli aralıklarla budanması gerekmektedir [20]. Verimli bir şekilde büyümesi için uygun hava sıcaklığı 18-30 C iken uygun toprak sıcaklığı 20-25 C'dir. ay yıllık yağış ve nem oranı yüksek, hafif asitli toprakları olan yerlerde daha verimli bir büyüme gösterir [21]. ay üretiminde kullanılması için ise gelişen çay bitkisinin ucundan iki yaprak ve bir tomurcuk (2,5 yaprak) olarak toplanması istenendir. Çünkü kalite açısından önem taşıyan çeşitli bileşenler, bu iki yaprak ve bir tomurcuk kısmında yoğun olarak bulunmaktadır [22, 23].

Bugün, ay ülkemiz için milli bir içecek haline gelmiştir. Ayrıca 2022 Türk ay Sektörü güncel durum raporuna göre ülkemiz kişi başı çay tüketiminde dünya da birinci olarak yer almaktadır [24].

1.6.1. ay Türleri

ay bitkisinin yaprak ve tomurcuklarının zamanla işlenmesiyle demlenebilir çaylar üretilmiştir. Çayın içecek olarak ilk tüketildiği zamanlara bakıldığında parçalama, kurutma, presleme(Tang Hanedanı); kurutma, öğütme, çırparak tüketme(Song Hanedanı); soldurma, kıvrırma, buharla şoklama, kavurma(Ming Hanedanı) gibi teknikler kullanıldığı grlmştir [25]. Bugün, bu tekniklerin neticesinde çay soldurma, kıvrırma, oksidasyon, kurutma ve tasnifleme temel işlemlerinden sonra çay tipleri tüketilmek üzere son ürün olarak elde edilmiştir. Temel işlem aşamalarında yapılan değişiklikler ile farklı özellik gösteren çay ürünleri üretilabilmektedir. ay bitkisinden son ürün olarak elde edilen üç tip çay mevcuttur, bunlar:

1. Fermente olmamış ay (Yeşil ay)
2. Yarı fermente ay (Oolog ay)
3. Fermente ay (Siyah ay)

Üç tip çay; tat, aroma, renk gibi özellikleri bakımından tamamen farklıdır. Bu farklılıklar hammaddeden değil, çayın elde edilmesi sürecindeki oksidasyon işlemindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır [26-28].

Türk Gıda Kodeksi, Çay Tebliği, (Tebliğ No: 2015/30)'ne göre yeşil çayı; “*Camellia sinensis* türünün farklı çeşitlerinin genç sürgünlerinden tepe tomurcuğu ve onu takip eden taze yapraklar ve taze tek yaprak, taze iki yaprak ve taze üç yapraklı sürgünler ile bunları birbirine bağlayan taze sap kısımlarının, enzim inaktivasyonu, kıvrırma, parçalama, kurutma gibi üretim aşamaları ile işlenmesi sonucu elde edilen okside olmamış ürün” şeklinde tanımlarken, siyah çayı; “*Camellia sinensis* türünün farklı çeşitlerinin genç sürgünlerinden tepe tomurcuğu ve onu takip eden taze yapraklar ve taze tek yaprak, taze iki yaprak ve taze üç yapraklı sürgünler ile bunları birbirine bağlayan taze sap kısımlarının soldurma, kıvrırma, parçalama, oksidasyon ve kurutma gibi üretim aşamaları ile işlenmesi sonucu elde edilen ürün” şeklinde tanımlanmaktadır [29]. Buna göre yeşil çay hiç fermente edilmezken siyah çay fermente aşamasının (%91 ve üstü) tamamlanmasıyla elde edilir. Oolog çayın elde edilmesinde ise çay kısmen fermente edilmektedir [30]. Çay türlerinin görselleri Şekil 1’de yeşil çay(a), oolog çay(b) ve siyah çay(c) olarak verilmiştir.



Şekil 1. Çay türleri: (a) yeşil çay, (b) oolog çay ve (c) siyah çay

1.6.1.1. Siyah Çayın Üretimi

Çay üretiminin tarladaki hasatından başlayıp fabrikadan çıkan son ürününe kadar olan her aşaması, çayın kalitesi için çok önemlidir. Çay yaprağı, çay bitkisinden koparıldığı an çok yavaş bir şekilde de olsa oksidasyon başlar. Bu nedenle tarladan fabrikadaki üretime kadar olan sürenin mümkün mertebe kısa tutulması gereklidir. Yani hasat edilen yapraklar en kısa zamanda fabrikaya götürülmeli ve çay yaprakları açıkta uzun süre bekletilmeden bir an önce işleme alınmalıdır. Aksi halde çay yaprakları güneşten zarar görür ve dem kalitesi bozulur. Tüm bu süreç çayın kaliteli bir son ürün olarak üretilmesinde önemli bir rol oynar. Fabrikadaki teknik işlemler sonucunda elde edilecek ürünün kalitesinden ödün vermemek adına tarladan fabrikaya, fabrikadan raflara uzanan sürecin zaman kaybetmeksizin hızlı bir şekilde tamamlanması gerekmektedir.

Çay üretiminde her ülkenin kendine özgü ufak farklılıkları olsa da temelde aynı teknikler doğrultusunda üretim gerçekleşir. Çay yapraklarının tarlalardan belirli hasat dönemlerinde toplanmasından sonra kuru çay olarak üretimindeki temel işlemler; soldurma, kıvırma, oksidasyon, kurutma, tasnif ve paketlenme olarak beş aşamadır.

1.6.1.1.1. Çay Yapraklarının Toplanması ve Hasat Dönemi

Dünyada, çay bitkisinin yaprakları genel olarak üç farklı şekilde toplanmaktadır; elle toplama, makas ile toplama ve makine ile toplama. Çay tarımında önemli ülkelerden olan Çin, Hindistan, Sri Lanka, Kenya ve Japonya’da elle ya da farklı mekanizasyon araçları ile yapılmaktadır. Elle, makasla ya da makineyle toplanan çayların aroma yönünden farklılık gösterdiği araştırmalar ile ortaya koyulmuştur. Bu nedenle toplama şekli üretilen çayın cinsine ve özelliğine göre de değişiklik göstermektedir.

Ülkemizde çay toplama işleminin tamamına yakını çay toplama makası kullanılarak yapılmaktadır. Öncelikle çay bahçesinden nitelikli ve yüksek verimlilikte çay yaprağı elde etmek için çeşitli budama aşamaları, uygun zamanda ve uygun teknikle yapılmalıdır. Ülkemizde çay yaprakları TS 3225’e uygun olarak, çay hasadında genç ve körpe çay yaprağı ile tomurcuğun toplanması şeklinde gerçekleştirilmektedir [31]. Ayrıca kaliteli çay özenli hasat ile elde edilendir. Bu nedenle hasat dönemleri önemlidir. Ülkemizde çay tarımının

yapıldığı Karadeniz Bölgesi’nde kış etkisinden dolayı çay bitkisi büyümezken havaların ısınmasıyla çay bitkisinde de olgunlaşma, büyüme başlar. Ülkemizde çay hasat dönemleri:

1. Sürgün: Mayıs-Haziran
2. Sürgün: Haziran-Temmuz
3. Sürgün: Temmuz-Ağustos

Nadiren de olsa, iklimin elverişli olduğu bazı yıllarda 4. hasat da yapılmaktadır.

Yapılan araştırmalar bu üç farklı sürgün döneminde toplanıp üretilen çayların farklı olduğunu göstermiştir [32]. Ülkemizde ilkbahar aylarında genç tomurcukların ortaya çıktığında 1. Sürgün olarak adlandırılan ilk hasat yapılır ve en kıymetli hasat bu zaman yapılan hasattır.

1.6.1.1.2. Soldurma

Siyah çayın üretim aşamasında birinci sırayı alan ve zorunlu olan soldurma, çayın içeriğinde bulunan su miktarının düşürülmesi işlemidir. Bu işlemde amaç, sıcak hava ile çay yaprağı içindeki suyu buharlaştırarak çayı fiziksel olarak kıvrırma işlemi için uygun hale getirmektir. Taze çay yaprağı %70-83 oranında nem içerir ve bu işlem sonunda nem miktarı %48-62 değerine kadar düşer. Böylece çay yaprağındaki hücre özsuyu daha yoğun hale gelir ve yaprakta elastiki bir yapı oluşur. Oluşan elastiki yapı sayesinde çay yaprakları kırılmadan kıvrılmaya elverişli bir hale gelerek, kıvrırma işlemi için hazır olur [33-36]. Fabrikalarımızdaki soldurma aşaması Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çay yaprağının soldurma aşaması

1.6.1.1.3. Kıvrırma-Kıvrırılma

Solmuş ay yaprağının değişik çay imalat makinelerinde ezilmesi, parçalanması, bükülmesi ile yapraktaki hücre duvarları yıkılır, hücre özsuyunun kıvrırılmış yaprak yüzeyine yayılması başlar ve bu aşama siyah ayı oksidasyon için hazırlamış olur. Kıvrırma işlemi çay yapraklarının eşsiz görünümlerini, lezzet profillerini(tat, aroma) ve kalitesini geliştirmeye aşladığı aşamadır [32-36]. Fabrikalarımızdaki ay yapraklarının makineler ile kıvrırılma işlemi şekil 3'te gösterilmiştir.



şekil 3. ay yaprağının makinelerle kıvrırılma aşaması

1.6.1.1.4. Oksidasyon-Fermantasyon

Oksidasyon ay yaprağının havayla temas ederek, hücre özsuyunda bulunan kimyasalların oksijenle yanması sebebiyle kararmasıdır. Böylelikle aya aromasını veren kimyasal bileşikler ortaya çıkar. Genç ay yaprakları ve tomurcuğunda daha yoğun olan flavanol (kateşin) tipi polifenoller, polifenol oksidaz enzimiyle yükseltgenerek theaflavin (TF), thearubiginler (TR), theaflavik asitler, bisflavoneller gibi bileşiklere dönüşür. Bunlar içinde çay deminin niteliği, parlaklığı rengi ve aroması üzerinde en etkili olan theaflavinler (TF) ile thearubiginlerdir (TR). Sonuç olarak, çay yaprağının yeşil rengi bakırımış kırmızıya, buruk tadı ve otsu kokusu siyah aya özđü hoş bir tada, aromaya dönüşür. Çayın kalitesini belirleyen ana aşama olması nedeniyle oksidasyon işlemi ne kadar iyi geçer ise o kadar

kaliteli çay elde edilir [32-36]. Fabrikalarımızdaki oksidasyon aşaması şekil 4'te gösterilmiştir.



şekil 4. ay yaprağının oksidasyon aşaması

1.6.1.1.5. Kurutma

Kurutma aşamasında kıvrılmış ve fermente olmuş çay yaprağı fırınlanır ve nem oranı %3-4 seviyelerine kadar dışurlr. Bu aşamadaki amaç oksidasyonu durdurarak siyah çayda kazanılan özelliklerin ve oluşan maddelerin yitirilmesine veya bozulmasına engel olacak ortamı oluşturarak, siyah ayı depolanabilir hale getirmektir [32-36]. Fabrikalarımızdaki oksidasyon aşaması şekil 5'te gösterilmiştir.



şekil 5. ay yaprağının kurutma aşaması

1.6.1.1.6. Tasnif ve Paketleme

Tasnif, fırından çıkan kuru çayların önceden belirlenen standart elek tellerinden geçirilmek suretiyle incelik, kalınlık ve kalitelerine göre ayrılma işlemidir. Siyah çaylar boyutlarına ayrılır ve kalite kalite ambalajlanarak paketlenir. Bekletilen ve iyi muhafaza edilemeyen çayların rutubet miktarları arttığından ve elastikiyet kazandıklarından tasnifleri iyi yapılamaz ve kısa zamanda küflenerek sağlığa zararlı hale gelir. Bu nedenle çayın tadını ve kokusunu bozmayacak şekilde depolanarak paketlenmesi kalite açısından önemlidir. Çay tasnifi ne kadar iyiye kalitesi de o kadar iyi olur [32-36]. Fabrikalarımızdaki tasnif ve paketleme aşaması Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Çay yaprağının tasnif ve paketlenme aşaması

1.6.2. Siyah Çay Kalitesinin Analizi

Kalite, herhangi bir maddenin belli bir ihtiyacı karşılama etkinliği olarak tanımlansa da çay kalitesi çayın renk, koku, lezzet gibi zevklere hitap eden özellikleri kapsamaktadır [37]. Çayın kalite testi iki şekilde yapılmaktadır. Bunlardan biri kimyasal analiz, çayın üretim aşamasında da gerçekleşir. Kimyasal analiz laboratuvarlarda belli standart ve uygulama şartlarına göre gerçekleştirilmektedir. Bu analiz hem maliyetli olması hem de daha uzun sürede sonuç vermesi nedeni ile pek tercih edilmez [38,39]. Ayrıca iyi, kaliteli bir yapraktan kalitesiz siyah çay üretimi de yapılabilir. Bu nedenle siyah çayın kalitesinin

demlenme aşamasında da kontrol edilmesi gerektiğinden diğer analiz olan duyuşal kalite analizi yapılır. Duyuşal kalite analizi beş duyu ile algılanabilen renk, tat, dokunma, aroma ve fiziksel özelliklerdir. Bu özelliklerin oluşumunun temeli imalat sürecindeki oksidasyon tepkimelerine dayanır. Bu biyokimyasal değişimler üretilen çaya özgü tat, renk, sertlik, burukluk ve aromanın oluşmasını sağlar [40].

1.6.2.1. Çay Tadımı(Degütasyon)

Üretim esnasında veya herhangi bir kuru çayda kalite değerdendirilmesi tadımla mümkün olabilmektedir. Çay tadımı görsel ve duyuşal test işlemidir. Çay tadımı, ilk olarak üretim esnasında fırından çıkan çaylardan örnekler alınarak sonrasında da tasniften çıkan çayların ambalajlamasından önce tadına bakılarak iki şekilde yapılır. İlk aşamada istenilen kalite elde edilmediğinde üretim bantlarına gerekli müdahaleler yapılırken ikinci aşamada ise çayın hangi kalitede olduğu sonucuna varılarak ve istenilen kaliteye ulaşılması için gerekli harmanlama işlemlerinin yapılması sağlanır.

Çayda duyuşal kalitenin belirlenmesinde bardakta içilen dem ve demlikte kalan posa önemlidir. Bardakta içilmeye hazır çayın renk, aroma ve lezzet özellikleri, posanın ise görünüşü ve rengi incelenir. Posanın incelenmesinde posa beyaz zemin üzerine koyulur ve suyu alınarak görünüşün parlaklığı ile rengine bakılır. Bardaktaki demin aroma ve lezzetinin tadım değerdendirmesini yaparak, üretilen çayın kalite durumunu analiz etmek için eğitim almış “çay tadımcıları” olarak adlandırılan uzman insanlar vardır [41]. Çay tadımı ile kalitenin sınıflandırılmasında, çay tadımcısının kararı çok büyük bir önem arz etmektedir. Bu sınıflandırma çay tadımcısının sağlık ve moral durumuna, yediğıne, içtiğıne ve tadımın yapıldığı ortamın şartlarına bağılı olarak değışebileceğinden nesnel sonuçlar vermeyebilir.

1.7. E-Burun

Günümüzde teknolojik alanda olan gelişme ve yenilikler, özellikle robot endüstrisinde, çok ileri seviyelere ulaşmıştır. Bu kapsamda bilgisayar ile istatistiğı kesiştiren, veri analizi yapıp bir sonucun elde edilmesini ve kümeleme veya sınıflamanın yapılmasına olanak sağlamasıyla tanımlanan makine öğrenmesi, çalışmaların temelini oluşturmuştur [42]. Makine öğrenmesinde amaç, insan gücüne olan ihtiyacın en aza indirilerek sonuca insandan daha hızlı, daha kısa bir sürede objektif olarak ulaşılmasıdır.

Makine öğrenmesinin birçok alanda olduğu gibi sensörlerde de kullanılması elektronik burun fikrini oluşturmuştur. Elektronik burun, yapısında kimyasal sensör dizisi bulunduran ve insan burnunun algılayamadığı kokuları da algılayarak üzerinde hassas ölçüm yapabilen cihazlardır. Elektronik burunda elektronik algılama söz konusudur. Elektronik algılama, elektronik burun yapısında kullanılan gaz sensörleri dizisinin koku verisini sayısal veriye elektronik kart aracılığıyla dönüştürülmesi ile sağlanmaktadır [43]. Sayısal verinin örüntü tanıma sistemleri ile işlenmesiyle de kokunun tanımlanması gerçekleşir.

Elektronik burun sistemleri kokuyu tanımlama da, diğer kokularla karşılaştırma da ve kokunun yoğunluğunu belirleme de biyolojik koku algılama yapılarının yapay taklidi olarak kullanılır.

1.7.1. İnsan Burnu ve Elektronik Burnun Koku Alma Modeli

Elektronik burunlarda kokunun tanıma mantığı insanlardaki biyolojik koku algılama sistemine benzerlik göstermekte ve bu sisteme benzer bir yöntem kullanılarak tasarlanmaktadır.

İnsanlarda buruna giren koku molekülleri sinir hücrelerinden oluşan koku algılayıcılarla, yani reseptörlerle tutulmaktadır. Tutulan bu koku sinyali beyinde koklama soğanına iletilmektedir. Beyne gelen bu koku daha önce karşılaşılmamış bir koku ise beyin koku merkezinde bu koku öğrenilerek beyne kaydedilir. Daha sonra koku ile tekrar karşılaşılması durumunda beyin kokuyu tanır. Elektronik burunda ise koku molekülleri çeşitli yöntemlerle kimyasal sensör dizisine gönderilir. Kimyasal sensör dizisindeki her bir sensör değişik kokuları algılama işlevini yerine getirecek şekilde seçilir. Sensörler aracılığı ile alınan sinyaller, elektronik sistemlerle bilgisayara aktarılır ve aktarılan bu elektrik sinyaller örüntü tanıma yöntemleriyle işlenerek koku tanısı gerçekleşir. Şekil 7'deki gibi elektronik burunda koku algılayıcılarına karşılık kimyasal sensörler, koklama soğanına karşılık elektronik birim ve beyne karşılık örüntü tanıma birimi kullanılmaktadır.



Şekil 7. İnsan burnu ve elektronik burun koku alma sistemi

İnsan koku alma sistemi kokular ile karşılaştıkça onu tanır. Örneğin, bir bebek büyüyene kadar mandalina koklamamış ise onun nasıl bir kokuya sahip olduğunu bilemez. Bunun nedeni algılanan yeni kokunun daha önceden beyin tarafından algılanmamış ve tanımlanmamış olmasından kaynaklanır. Zaman içinde kokuya maruz kalınmasıyla kokunun mandalina kokusu olduğu öğrenilir ve artık bu koku ile karşılaşıldığında hangi maddeye ait olduğu bilinir. Elektronik burunda da kokuyu tanıma insanın kokuyu algılayıp tanımasındaki gibidir; yani bir eğitim gerektirir. Elektronik buruna koku ilk defa verilmiş ise sinyal tepkileri bu kokunun adı altında kaydedilir, kaydedilmeden sonra tekrar aynı kokunun elektronik buruna iletilmesi sonucunda sistem kokuyu tanır, bilir.

1.7.1.1. İnsan Burnu ve Elektronik Burnun Karşılaştırılması

Elektronik burun ile insan burnu şu şekilde karşılaştırılabilir;

- Elektronik burun sınırlı sayıda kokuyu algılayabilirken insan burnu binlerce kokuyu algılayabilmektedir [44].
- Elektronik burunlar kontrol ve bakım altında çalışan, insan burnuna göre oldukça büyük hassas cihazlardır. İnsan burnu ise herhangi bir bakıma gerek duymadan hayat boyu işlevini sürdürebilmektedir [45].
- Elektronik burnun üretim maliyeti ve sensörlerin kısa ömürlü olması nedeniyle bakım maliyeti oldukça yüksek olabilmektedir.
- İnsanlardaki koku alma işlemi saniyelerde gerçekleşirken elektronik burunda dakikalar gerektirebilmektedir [46].
- Elektronik burnun dikkatli biçimde programlanması da gerekmektedir. Aksi takdirde bazı kokular cihazın yanlış veya kararsız sonuçlar vermesine neden olabilmektedir [45].
- İnsan burnunda kokunun tanınması öğrenilebilen bir davranışken bu elektronik burunlarda sınıflandırma algoritmaları ile yapılabilmektedir.

Elektronik burun, insan burnunu tam olarak karşılamasa da yardımcı olarak düşünülebilir. Elektronik burunda duyular ile bağlantı olmadığından elektronik buruna kokusu hoş olmayan ya da kokusu zararlı olan maddeler koklatılabilir. Kamera ve fotoğraf makinası nasıl gözün yerini tutmuyor ama yardımcı oluyorsa, yapay burun ile burun arasındaki ilişki de bu şekildedir.

1.7.1.2. Elektronik Burnun Üstünlüğü

Günümüz elektronik ve bilgisayar teknolojisi alanlarında çok hızlı ve önemli gelişmeler meydana gelirken insan hayatında ve endüstride büyük avantaj sağlayan sistemlerden biri olan elektronik burun teknolojisi, insan burnu gibi koku ve aroma analizi yaparak insan burnuna göre daha objektif sonuçlar verir.

İnsan burnu elektronik burun ile kıyaslandığında özellikleri bakımından üstün olmasına rağmen yetersiz kalmaktadır. Ayrıca insan burnu üst solunum yolu hastalıklarında (nezle, grip vb.) kokuları sağlıklı olduklarındaki hassasiyetleriyle algılayamaz. Elektronik burunda ise böyle bir durum söz konusu olamaz. İnsan burnu karbon monoksit, karbondioksit gibi gazları algılamamakta ya da bir süre sonra yorgunluk durumu (fatigue) oluşması nedeniyle ortamdaki gazları algılayamamaktadır. Elektronik burun insan burnunun algılayamadığı gazları kullanılan sensörlere bağlı olarak daha hassas olarak algılayabilmektedir [47]. Bunun dışında insan burnu öznel sonuçlar verdiği için kişiye göre değişiklik gösterirken elektronik burunlar tekrarlanabilir sonuçlar vermesiyle objektiftirler. Bu nedenle zaman sorunu olmaksızın aynı görevi sürekli olarak görebilmektedirler.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Kullanılan Veri Seti: Kuru Siyah Çay

Ülkemizin Doğu Karadeniz Bölgesinde çay hasadı 3 farklı hasat döneminde gerçekleşir; Mayıs-Haziran, Haziran-Temmuz ve Temmuz-Ağustos aylarında olmak üzere gerçekleştirilen bu hasatlar çay fabrikalarında işlenmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında da Mayıs-Haziran ve Temmuz-Ağustos olmak üzere 1. ve 3 hasat dönemlerinde toplanıp Ofçaysan A.Ş. fabrikasında işlenen siyah çaylar kullanılır. Kullanılan çaylar fabrikadaki çay tadımcıları tarafından kalitelerine göre; A0, A1, A3 ve A4 olarak 4 farklı kalitede derecelendirilir. Hasat dönemindeki en kaliteli çayı A0 ifade ederken indeks değeri arttıkça kalite azalmaktadır. Kullanılan siyah çayların fabrikadaki sınıflandırma etiketleri ve yapılan bu çalışma kapsamındaki sınıflandırma etiketleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Siyah çayların kalitelerinin sınıflandırma etiketleri

<i>Hasat Dönemi</i>	<i>Kalite Derecesi</i>	<i>Sınıflandırma Etiketleri</i>	
		<i>Fabrikada</i>	<i>Bu Çalışmada</i>
<i>Mayıs-Haziran (1.Hasat Dönemi)</i>	1	A0	1
	2	A1	2
	3	A3	3
	4	A4	4
<i>Temmuz-Ağustos (3.Hasat Dönemi)</i>	1	A0	5
	2	A1	6
	3	A3	7
	4	A4	8

Tablo 1 incelendiğinde görülür ki siyah çaylar aynı hasat döneminde 4 farklı kalite altında sınıflandırılır. Aynı hasat dönemi olarak değerlendirdiğimiz de ise karşımıza 8 sınıflı bir sınıflandırma problemi çıkar. Yapılan bu tez çalışmasında;

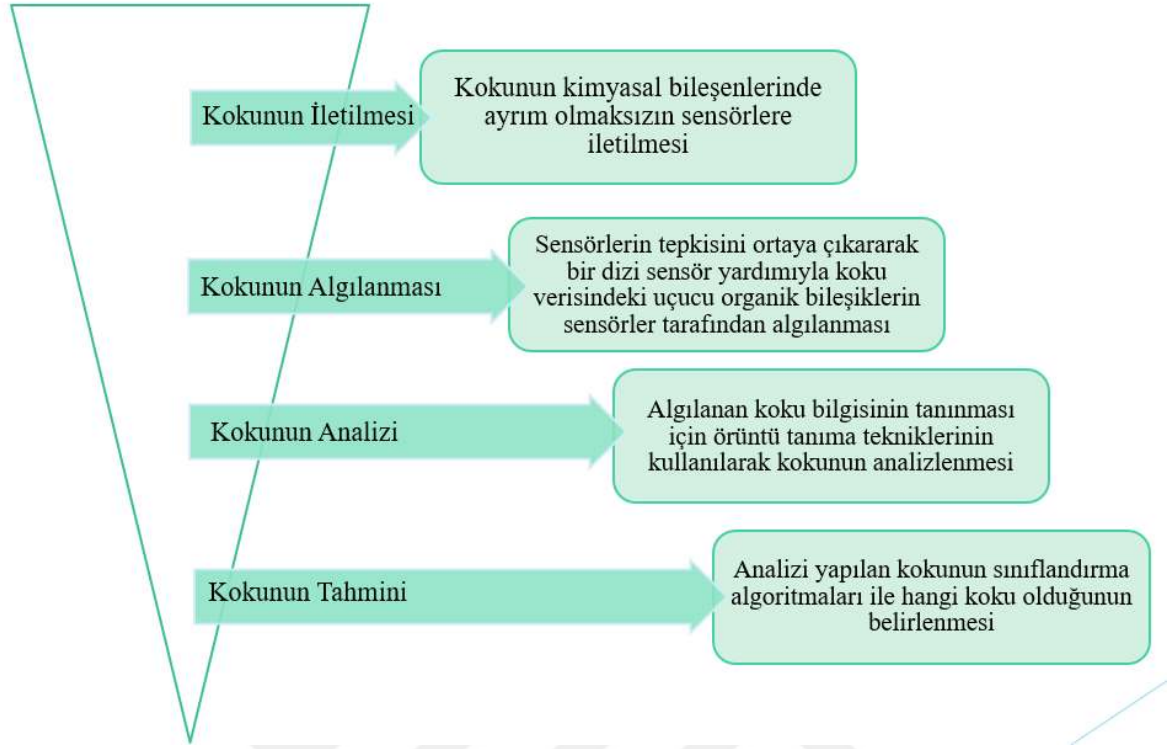
- İlk önce 1. hasat siyah çayları 4 farklı kalite sınıfına göre kendi aralarında sınıflandırılır,
- Daha sonra 3. hasat siyah çayları 4 farklı kalite sınıfına göre kendi aralarında sınıflandırılır,
- En son olarak ise 1 ve 3. hasatlar, yani farklı dönem hasatları, bir arada 8 sınıf olarak sınıflandırılır.

Sınıflandırma sonucunda, her bir hasatın kendi içinde aynı hasat dönemi olarak sınıflandırma başarısı incelenirken ayrı hasat dönemindeki çayların sınıflandırılması sekiz sınıflı olarak incelenir. Bu inceleme sonucunda 1. hasat ile 3. hasat döneminde aynı kalite derecesine sahip çayların sınıflandırma başarıları yüzdeleri de karşılaştırılmalı olarak ayrıca incelenir.

E-burunda çay verileri Tablo 1’de 4. sütundaki etiketlere göre elde edilir ve bilgisayar ortamında kayıt altına alınır.

2.2. E-Burun Devresi

Biyolojik koku algılama yapılarının yapay taklidi olan elektronik burun, günümüzde sağlıktan kozmetiğe, savunma sanayiden gıdaya birçok alanda aktif olarak kullanılmaktadır. İlerleyen teknoloji ile yapılan çalışmaların bir parçası olan E-Burun devresi; esasen algılayıcı birim, dönüştürücü birim, elektronik birim ve örüntü tanıma birimi olarak alt kısımlardan oluşur [48]. Algılama biriminde tanınmak istenen kokunun içerdiği kimyasal bileşenlere göre sensör tepkileri elde edilir. Dönüştürücü birimde algılama biriminin niteliklerine göre dönüştürücü devrelerinden uygun olan seçilip uygulanır. Elektronik birimde osilatör devreleri, besleme devreleri, yükselteç devreleri gibi dönüştürücüler ile elektriksel işaretlerinin üretilmesi sağlanır. Örüntü tanıma biriminde ise bilgisayar aracılığı ile kokunun tanımı ve sınıflandırılması yapılır [49]. Şekil 8’de elektronik burundaki temel işlem adımları gösterilmiştir.



Şekil 8. Elektronik burun işlem adımları

2.2.1. Algılayıcı Birim

Algılayıcılar giriş sinyaline, çıkış sinyaline veya besleme sinyaline göre farklılık gösteren birimdir. E-burun devresinin algılayıcı biriminde, giriş sinyaline göre genel olarak algılayıcı kimyasal sensörler kullanılır. Bu kimyasal sensörler, kimyasal olan koku bilgisini elektrik bilgisine dönüştüren elamanlardır. Elektrik bilgisi, koku bilgisinin sensörleri aktifleştirerek sensörün bir tepki vermesini sağlaması ile elde edilir.

Elektronik burunlarda genellikle gerilim değerindeki değişime göre ölçüm yapan sensör türleri kullanılmaktadır [16]. Yapılan bu tez çalışmasında da kimyasal bilgiyi elektrik bilgisine dönüştürmek adına elektrokimyasal sensörlerden Metal Oksit Yarı İletken(MOS) gaz sensörleri kullanılır.

2.2.1.1. Kimyasal Sensör: MOS Gaz Sensörü

Kimyasal gaz sensörleri; yapısındaki iletken elementlerinin koku moleküllerindeki bileşenlerle aktifleşmesi sonucu iletkenliklerinde değişim meydana gelme prensibine göre çalışır. Elektronik burunda en önemli kısım algılayıcı birimde kullanılacak olan kimyasal

sensörün seçimidir. Çünkü bu kimyasal sensörlerin tepki vermeleri kendine özgü, algıladıkları kokuya göre gerçekleşmektedir. Örneğin amonyaka duyarlı sensör karbon monoksit gazı kokusuna tepki vermede yetersiz kalacaktır.

Kimyasal sensörlerden, 1968 yılında Taguchi tarafından meydana getirilmiş olan MOS tipi sensörler elektronik burun devrelerinde sıkça kullanılmaktadır. Sık kullanılmasının temel nedenleri; düşük maliyetli, sağlam yapılı, uzun ömürlü, yüksek hassasiyetli ve tepkilerinin hızlı olmasıdır [50]. Sıklıkla tercih edilen bu gaz sensörünün dezavantajı; duyarlılıklarının kimyasal kompozisyon, mikroyapı, sıcaklık ve nem gibi dış etmenlerden etkilenmesidir. [51, 52].

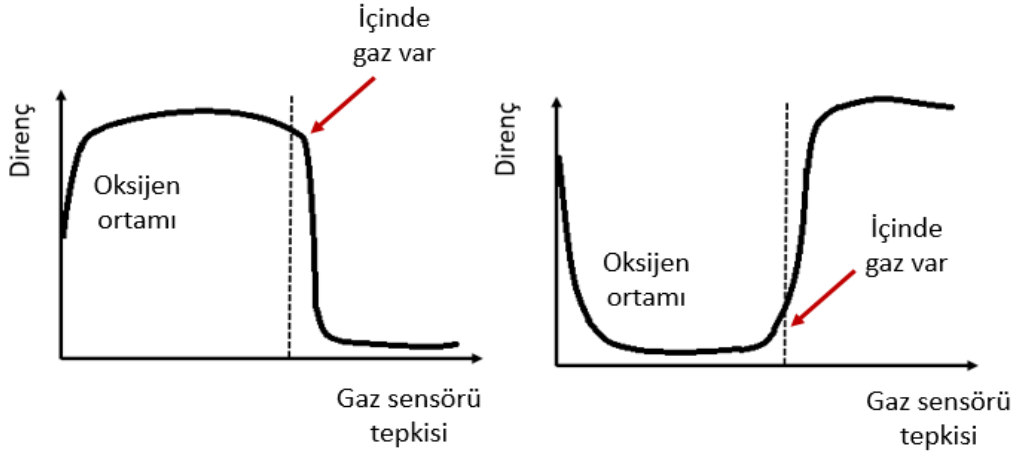
MOS yapıdaki sensörler, yapının indirgeme ve oksidasyona uğrayabileceği bir gaz ile tepkime verecek olmasına dayanarak tasarlanırlar. Bu tasarım sayesinde MOS sensörler belirli bir hızda, algılanması istenen hedef gaz ile elektronun değişimde bulunmasıyla sensör direncinde etkileşim meydana gelir ve neticesinde sinyal üretimi gerçekleşir [53]. Yani, iletkenlik değişimi ile algılama sağlanır [54].

MOS tabanlı gaz sensörleri algılama tipi olarak kullanılan oksite göre n ve p tip olmak üzere iki çeşittir. Algılama tipi malzemesinde kullanılan oksitin SnO_2 , ZnO , CaO , Al_2O_3 gibi yarı iletken olması n-tipi çeşidini oluştururken kullanılan metal oksitin Ag_2O , NiO , Mn_2O_3 gibi olması p-tipi yarı iletken çeşidini oluşturmaktadır [55]. Örnek uygulama olarak, farklı gaza n ve p tipi MOS'ların verdiği direnç tepkileri Tablo 2'de incelenir [56].

Tablo 2. n ve p tipi MOS'ların örnek gazlara direnç tepkisi [56]

<i>Sensör tepki davranışı</i>	<i>N tipi malzemeler</i>	<i>P tipi malzemeler</i>	<i>Örnek gazlar</i>
<i>Oksitleyici gazlar</i>	Direnç artar.	Direnç azalır.	O ₂ , O ₃ , NO _x , CO ₂ , SO ₂

Tablo 2'deki MOS sensörlerin oksitleyici gaza olan tepkisi sonucu dirençlerdeki değişim grafiksel olarak Şekil 9'da gösterilir.



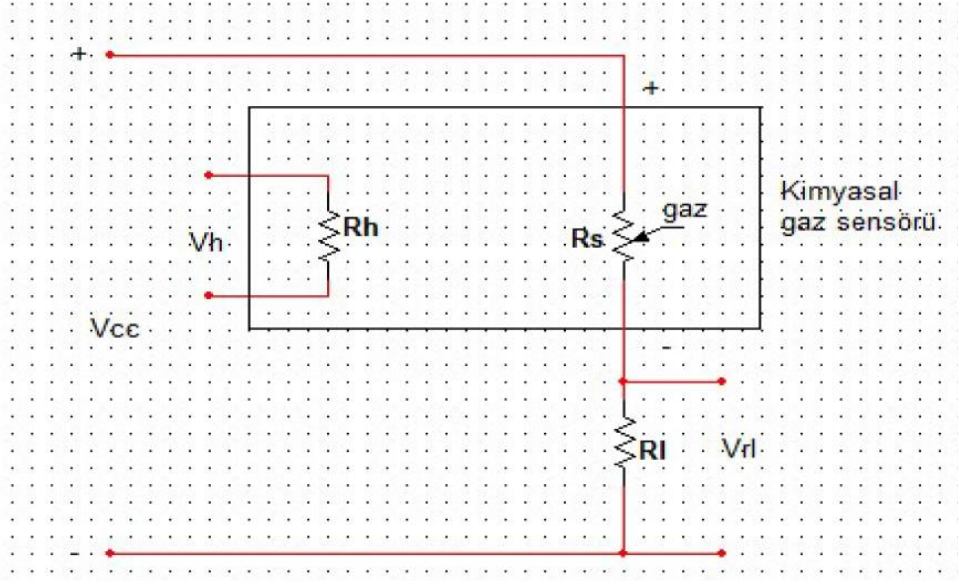
Şekil 9. (a) n-tipi MOS sensör (b) p-tipi MOS sensör
MOS tipi sensörlerin oksitleyici gaza olan tepkileri

Her iki tipte de sensörün hedef gaz ile karşılaşması sensörün direncinde değişimi meydana getirir. Yapılan bu çalışmada gaz sensör verilerinin verdiği tepkiler grafiksel olarak MATLAB ortamında elde edilir.

2.2.2. Dönüştürücü Birim

Gaz sensörlerinden elde edilen bilgilerin işlenmesi, analiz edilebilmesi için bilginin elektriksel işarete dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm işleminin gerçekleşmesini sağlayan devreler dönüştürücü birimi olarak adlanır. Kullanılan sensör çeşidine göre direnç değişimi, gerilim değişimi gibi değişiklikleri elde edebilmek için dönüştürücü birimi farklılık gösterse de en çok kullanılanlar doğru akım veya alternatif akım köprüleri ile gerilim bölücü devrelerdir [57]. Gerilim bölücü devrelerin kullanımının basit ve elverişli olması, bu dönüştürücü birimin elektronik burun devrelerinde sıkça kullanılmasına sebep olmuştur.

Yapılan bu tez çalışmasında, elektronik burnun çalışmasının ana fikrinin kokuya maruz kalan gaz sensörlerindeki direnç değişimi olduğu göz önünde bulundurularak, sensörlerdeki dönüştürücü birim Şekil 10'da verilen gerilim bölücü devredir.



Şekil 10. Gaz sensörü için gerilim bölücü devre

Şekil 10’da verilen sensör devresine V_H gerilimi uygulandığında sensör ısınır ve çalışması için eşik sıcaklığına ulaşır. Devrenin girişine V_{CC} gerilimi uygulanır. Sensörün hassasiyet gösterdiği kimyasal bileşenin yoğunluğuna, sensör ne kadar maruz kalır ise sensörün iletkenliği de buna bağlı olarak artar ve buna bağlı olarak R_S direnci de azalır. Böylece seri bağlı R_L direnci üzerindeki gerilim olan V_{RL} değişir. R_L direncinden alınan gerilim değeri sensöre uygulanan kokunun yoğunluğu hakkında bilgi verir. Yani V_{RL} gerilimi değerindeki artış sensörün daha yoğun bir koku ile karşılaştığını gösterir. Gaz sensörlerinde ısınma gerilim değeri maksimum 5 volt iken devre gerilimi maksimum 5 volt ya da 24 voltur. Devreye ait R_L direnci üzerindeki gerilim (V_{RL}) ile iletkenlik (ρ) hesabı eşitlik 1 ve 2’de verilir:

$$V_{CC} = 5 \text{ V veya } 24 \text{ V}$$

$$V_{RL} = \frac{(V_{CC} - V_{RL})}{V_{RL}} * R_L \quad (1)$$

$$\rho = \frac{1}{R_S} = \frac{I_S}{V_S} = \frac{\frac{V_{RL}}{R_L}}{5 - V_{RL}} \quad (2)$$

2.2.3. Elektronik Birim

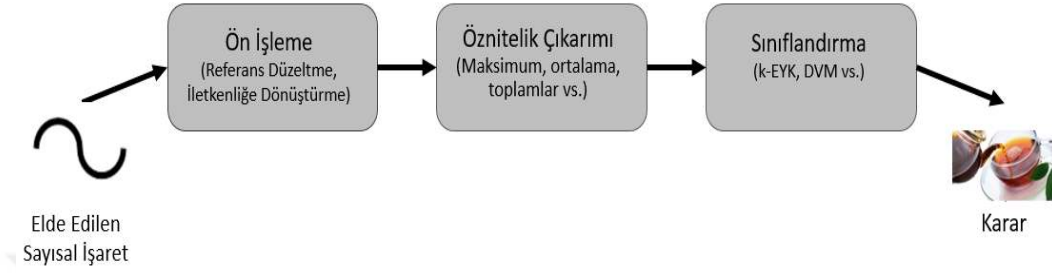
Elektronik burun donanımında sensörlerden alınan bilginin bilgisayarda incelenip analiz edilebilmesi için elektriksel işarete dönüştürülen bilgilerin bazı düzenlemelerden geçmesi gerekir. Elektronik birim kısmında bu düzenlemeler gerçekleşir. İşarete gerek duyulan düzenlemeye göre, iyileştirici devreler kullanılır ve işaret bilgisayar da işlenebilir hale getirilir. Bu düzenleme aşamasında sensörden alınan bilgi içerisine, bilgide değişikliğe neden olabilecek herhangi bir düzenleme müdahalesi yapılmaz. Elektronik birimde bilgi olarak alınan işarete yapılan düzenlemedeki amaç; işaretin yapısını, içeriğini bozmadan işaretin istenilen kısmının daha nesnel sonuçlar elde edebilmek amacıyla daha işlenebilir hale getirmektir.

Elektronik birimde yapılan düzenlemeler için genellikle tampon, yükselteç ve filtreleme devreleri kullanılmaktadır. Ara işlem devresi olan tampon devrede amaç, bilginin bilgisayara aktarımında oluşan yük uyumsuzluğunu ve devrelerin giriş çıkış dirençleri arasındaki empedans uyumsuzluğunu yok etmektir. Böylece istenen bilgi geçebilirken istenmeyen bilgi diğer devreye aktarılmamaktadır. Yükselteç devresindeki temel amaç, bilginin analog dijital dönüştürücüdeki kullanımına bağlı olarak, genliğini istenilen dönüştürme aralığına yükseltmektir. Filtre devrelerindeki amaç ise bilgideki istenmeyen kısımların, gürültüye sebebiyet veren parazitlerin istenen ana bilgiden ayrıştırılmasını sağlamaktır. Filtre devreleri de alçak, yüksek veya bant geçiren, bant durduran gibi farklı özelliklere sahip olabilirler. Elektronik burunda kullanılan filtreleme devreleri sonucunda gaz sensörleri tarafından algılanan kokudaki gürültü bileşenleri işareten ayrıştırılarak sağlıklı bir işaret elde edilmiş olur.

2.2.4. Örüntü Tanıma Birimi

Koku tanımının yapılarak kokunun ne olduğuna karar verildiği örüntü tanıma birimi, elektronik burun donanımında en önemli birimlerden biridir. E-burundaki gaz sensörü dizisi aracılığıyla elde edilen elektriksel işaretin sayısal işarete dönüştürülmesi sonucu, işaretin bilgisayarda işlenmeye başladığı birimdir. Örüntü tanıma biriminde amaç, kokunun tanınması için kokuların farklılık gösterdiği özelliklerinin sisteme eğitilerek öğretilmesidir. Eğitim, sensörlerin tekrar tekrar yapılan denemeler ile aynı kokuya maruz kalması sonucu oluşan tepkinin sisteme tanınması olayıdır. Sensörler farklı kokular ile karşılaştıkça farklı

tepki vermekte ve buna bağı olarak kokuya öz bir işaret sınıfı oluşturulmaktadır. İşaretin kendine öz özelliklerinin ortaya çıkarılması, tanımlanması ve daha sonrasında tanınabilir olması için işaretin bazı aşamalardan geçmesi gerekir. Bunun için işarete sırasıyla uygulanan aşamalar Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Gaz sensör dizisinden elde edilen işarete uygulanan temel aşamalar

Özetle, örüntü tanıma biriminde öznitelik çıkarımı yapılarak kokunun tanımlanıp sınıflandırılması sonucunda çıktı olarak kokunun ne olduğu bilgisi verilir.

Gaz sensör dizisinden elde edilen işarete uygulanan temel aşamalarının tanımları, tez kapsamında kısa ve öz olarak alt başlıklar halinde anlatılmıştır.

2.2.4.1. Ön İşleme

Gaz sensör dizisinden elde edilen işarete sensörlerden kaynaklı gürültü, elektriksel devreden kaynaklı gürültü, analog dijital dönüşüm esnasındaki gürültü ve sayısal işaret işleme sırasında oluşan gürültü gibi istenmeyen gürültüler görülebilir. Bu gürültüler sistemin objektifliğini etkileyebileceği için arındırılmalı, işarete kaymaya sebebiyet verebileceği için düzeltilmelidir. Ön işleme aşamasında bu gibi durumlar göz önünde bulundurularak filtreleme, referans düzeltme, boyut indirgeme ve normalizasyon gibi işlemler gerçekleştirilebilir. Böylece daha temiz bir sayısal işareti elde edilir.

2.2.4.2. Öznitelik Çıkarımı

Öznitelik çıkarımı işaretin analiz edilmesidir ve kokunun sınıflandırılması, yani tanınırlığının oluşturulması açısından oldukça önemlidir. Ön işlemden geçirilen koku işaretleri üzerinde öznitelik çıkarımı yapılır. Her kokusun kendine özgü bir özelliği vardır

ve öznitelik çıkarımı ne kadar iyi olursa farklı kokuların ayrıştırılmasındaki başarı da o kadar iyi olur. Yani öznitelik çıkarımında, farklılık gösteren kokuların işaretlerini birbirinden ayırt etmeye olanak verecek en iyi seçim yapılmalıdır. Öznitelik çıkarımında işaretin maksimumu, minimumu, ortalaması, varyansı, alanları farkı, alanları toplamı gibi çok fazla sayı da matematiksel çıkarım özelliği kullanılabilir. Bu kadar fazla sayıda öznitelik çıkarımı yapılabilecek matematiksel çıkarım özelliği varken bunların hepsini kullanmak da doğru değildir. Bir öznitelik çıkarımında herhangi bir yöntem, birkaç koku için iyi bir çıkarımken diğer bir başka koku ya da kokular için iyi bir çıkarım olmayabilir. Bu nedenle dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de, en uygun sayıdaki öznitelik çıkarımı ile kokunun hangi sınıfa ait olduğunu en doğru şekilde tahmin edebilmek olmalıdır.

2.2.4.3. Sınıflandırma

Öznitelik çıkarımı yapılan kokuların sistemde tanınmasını kendilerine ait bir bölgeyi sahiplenmesi olarak düşünebiliriz. Böylece ne olduğu bilinmeyen kokunun sensörlere koklatılması neticesinde, koku verilerinin hangi bölgeye yakın olduğuna bakılarak o sınıfa ait olduğu söylenebilir. Bu durum dikkate alındığında sınıflandırma başarısının doğrudan öznitelik seçimiyle ilgili olduğunu görebiliriz. Kokunun öznitelikler ile kendine edindiği bölge; diğer kokuların bölgesinden ne kadar net ve keskin olarak ayrılmış olur ise, sınıflandırılmak istenen kokunun hangi bölgeye ait olduğu da o kadar net ve doğru şekilde belirlenir. Kısaca; sınıflandırma aşaması sınıfı bilinmeyen verinin, sınıflandırma algoritmaları ile kendisine en yakın sınıfa mümkün olan en az hata ile eşleştirilerek sınıfa karar verilmesidir.

2.3. Sınıflandırma Algoritmaları

Sınıflandırma, sınıfı belli aynı ya da benzer özellik gösteren verilerin bilinen alt kümelere ayrılmasıyla sınıfı bilinmeyen verinin hangi alt kümeye ait olduğunu tahmin etmedir [58]. Verilerin benzer özelliklerini saptayabilmek için öznitelik çıkarımları gerçekleştirilir. Bu öznitelikler ile sınıflandırma aşamasında girdi kümesine karşılık çıktı kümesini hesaplamaya yönelik bir fonksiyon elde edilir. Elde edilen bu fonksiyon aracılığı ile de veri kümesinde bulunan çeşitli sınıflar arasında veri dağıtılır. Böylece hangi sınıfta olduğu bilinmeyen örnek verinin öznitelikleri çıkarılarak hangi sınıfa ait olduğu tahmin

edilebilir [59]. Kısaca sınıflandırma aşamasını sistem için bir karar verme aşaması olarak düşünebiliriz. Literatür de çok sayıda ve farklı yöntemlere sahip sınıflandırma algoritmaları bulunmaktadır. Karar ağaçları, bayes, destek vektör makinesi, k-en yakın komşu, yapay sinir ağları gibi algoritmalar bunlardan bazılarıdır [60, 61].

Sınıflandırmada verileri eğitim ve test kümesi olarak ayırabiliriz. Eğitim kümesi, sınıfları bilinen verilerken test kümesi sınıfları bilinmeyen verilerdir. Sınıflandırma aşamasında dağılım ilk önce eğitim kümesinde yapılır. Çünkü eğitim kümesi ile veriler eğitilerek sınıfların bölgeleri belirlenmiş olur. Sonraki aşamada ise öğrenilen dağılım sayesinde sınıfı bilinmeyen test kümesi sınıflandırılmaya başlanır [62]. Bu test kümesinde yapılan sınıflandırma işlemi sonucunda iki tane sonuç vardır; verinin sınıfı ya doğru tahmin edilir ya da yanlış tahmin edilir. Sınıflandırma işleminin sonucundaki gerçek ve tahmini değerlerin durumunun tablo olarak gösterimi hata matrisi olarak adlandırılır. Hata matrisinin büyüklükleri sınıf sayısına göre farklılık gösterir. Genel olarak, hata matrisinde durumların gösterimi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Hata Matrisi

<i>Hata matrisi</i>		<i>Gerçek Sınıf</i>	
		<i>1.Sınıf</i>	<i>2.Sınıf</i>
<i>Tahmini Sınıf</i>	<i>1.Sınıf</i>	D1	Y2
	<i>2.Sınıf</i>	Y1	D2

D1 : 1. sınıfların 1. sınıf olarak sınıflandırılması

D2 : 2. sınıfların 2. sınıf olarak sınıflandırılması

Y1 : 2. sınıfların 1. sınıf olarak sınıflandırılması

Y2 : 1. sınıfların 2. sınıf olarak sınıflandırılması

Test kümesinin tahmin durumlarının doğru ya da yanlış olması bize sınıflandırma algoritmasının başarısı hakkında bilgi verir. Sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdesi oranı hesabı Denklem 3 ile hesaplanır.

$$Sınıflandırma\ Doğruluğu = \frac{D1 + D2}{D1 + Y1 + D2 + Y2} \times 100 \quad (3)$$

Yapılan bu tez çalışmasında iki farklı hasat dönemindeki kaliteleri farklı siyah çayların e-burun ile elde edilen verileri sınıflandırılır. Önce aynı hasat dönemindeki farklı kaliteye sahip çaylar dört sınıflı olarak sınıflandırılırken çalışma devamında ayrı hasat dönemindeki tüm çaylar sekiz sınıflı olarak, bazı sınıflandırma algoritmaları ile sınıflandırılır ve sınıflandırma doğrulukları ayrı ayrı elde edilir. Tez çalışması kapsamında kullanılan sınıflandırma algoritmaları aşağıda açıklanmıştır.

2.3.1. k-En Yakın Komşu (k-EYK)

En yakın k-komşu algoritması parametrik olmayan sınıflandırma algoritmalarından biridir [63] ve makine öğrenme algoritmaları arasından en çok tercih edilen ve bilinen algoritmalarındandır [64]. Bu sınıflandırma algoritması en az iki sınıflı verileri sınıflandırmak için kullanılır. Sınıfları belli olan verilerin gözlem değerinden faydalanılarak sınıfı bilinmeyen verinin hangi sınıfa ait olduğu uzaklık parametresinin incelenmesi ile belirlenir. k-EYK algoritmasının başarısı uzaklık parametresi ve seçilen k değerine bağlıdır. ‘k’ değeri sınıfı bilinmeyen yeni verinin sınıfı belirlenirken en yakın kaç komşusuna olan mesafeye bakılacağını belirleyen parametredir ve bu parametrenin değerinin seçimine dikkat edilmesi gerekir. Algoritmanın çalışmasında öncelikle ‘k’ değerine bakılır. Bu değer küçük değerli olarak belirlenmesi sınıflandırmanın yanlışlığına sebebiyet verebileceği gibi büyük değerli olarak belirlenmesi de işlem yükünün ve sürenin artmasına sebebiyet verecektir. En kısa uzaklığa sahip k sayıda verinin seçilmesi ve bunların hangi sınıfta olmasının bilinmesi ile yeni verinin hangi sınıfa ait olduğu kararı, en yakın k adet komşunun çoğunluğuna göre verilmektedir. Yakınlığın sınıflara olan uzaklıklarının belirlenmesinde eşitlik istenen bir durum değildir ve bu nedenle k değeri genellikle tek sayı olarak seçilir. Yeni verinin, sınıfları bilinen k adet komşuya olan uzaklıklarına bakılırken uzaklık ölçümü olarak çeşitli yöntemler kullanılır. Öklid, şehir uzaklık, Minkowski, Manhattan gibi uzaklık hesaplamaları bunlardan bazılarıdır.

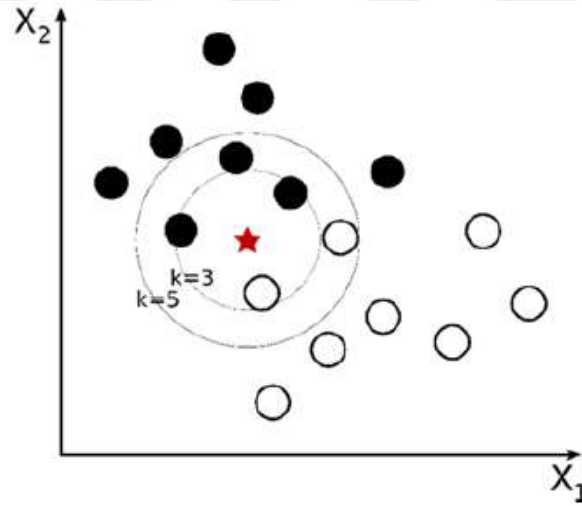
Özetle, k-EYK algoritmasının çalışma adımları sırası;

1. Yeni veri setinin tüm verilere olan uzaklığının hesaplanması,
2. Hesaplanan uzaklıkların sıralanması,
3. k değeri kadar en yakın mesafeli verilerin hangi sınıftan olduğunun belirlenmesi,
4. k değeri kadar olan verilerden, çoğunluğun sağladığı sınıf sayısı yeni veri setinin sınıf tahmini olarak belirlenmesi.

Yapılan bu çalışma da her iki nokta arasındaki en kısa mesafeyi doğrusal olarak hesaplayan Öklid uzaklık mesafe ölçümü kullanılmıştır. Denklem 4'te n öznitelik sayısını ifade etmekte ve n tane x ve y noktaları için uzaklık olan d, Öklid uzaklığı ile hesaplanmaktadır.

$$d(x, y) = \left(\sqrt{\sum_{k=1}^n (m_{xk} - m_{yk})^2} \right) \quad (4)$$

Şekil 12 k-EYK için örnek olacak iki sınıflı bir problemdeki yeni verinin en yakın k komşusuna bakılarak sınıfının nasıl tahmin edildiği gösterilmiştir [65]. Bakılacak en yakın komşu değeri için k değeri olarak 3 ve 5 kullanılmıştır.



Şekil 12. 3-nn ve 5-nn ile yeni verinin sınıfının tahmini [65]

Şekil 12 incelendiğinde yıldız işareti olarak gösterilen yeni verinin k=3 için daire yalnızca üç veri noktasını içine alacak büyüklükte olacaktır ve görüldüğü gibi iki siyah ve 1 beyaz veri daire içinde kalmaktadır. Algoritmaya göre bu durum yorumlandığında ise, siyah sınıfa ait veri sayısının daha fazla olması nedeni ile yıldızın sınıfı da siyah olarak tahmin edilecektir. k=5 için sınıflandırma yapıldığında ise daire yalnızca yakın olan 5 veri noktasını içine alacak büyüklükte olacaktır ve görüldüğü gibi 3 siyah ve 2 beyaz veri daire içinde kalacaktır. Algoritmaya göre k=5 için de yorum yapıldığında ise, siyah sınıfa ait veri

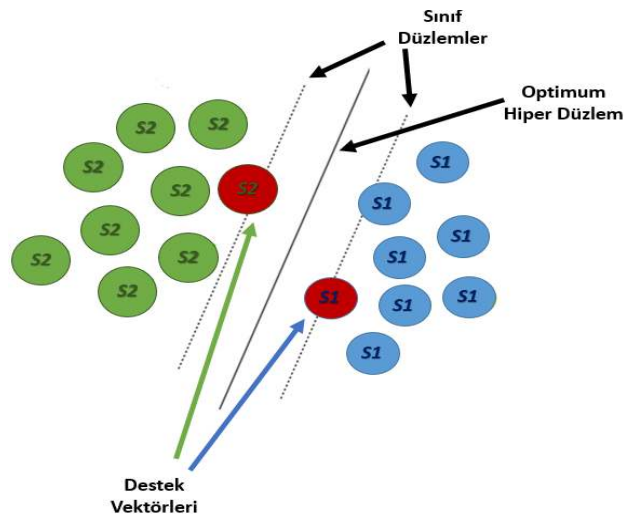
sayısının fazla olması nedeniyle yıldız verisinin yine siyah sınıftan olduğu tahmin edilecektir.

En yakın k-komşu algoritması basit bir sınıflandırma modeli olarak görülse de bazı problemler için çok yüksek doğruluk başarısı veren bir algoritmadır [66].

2.3.2. Destek Vektör Makinesi (DVM)

Makine öğrenme yöntemlerinden biri olan destek vektör makinesi(DVM), literatürde hem regresyon analizi hem de sınıflandırmada kullanılsa da, çoğunlukla sınıflandırma problemlerinde tercih edilmektedir. Kullanılan alanlardan bir kaçına örnek verirsek; yüz algılama, görüntü sınıflandırma, el yazısı tanıma, protein çaprazlama, metin ve köprü sınıflandırma gibi alanlardır [67].

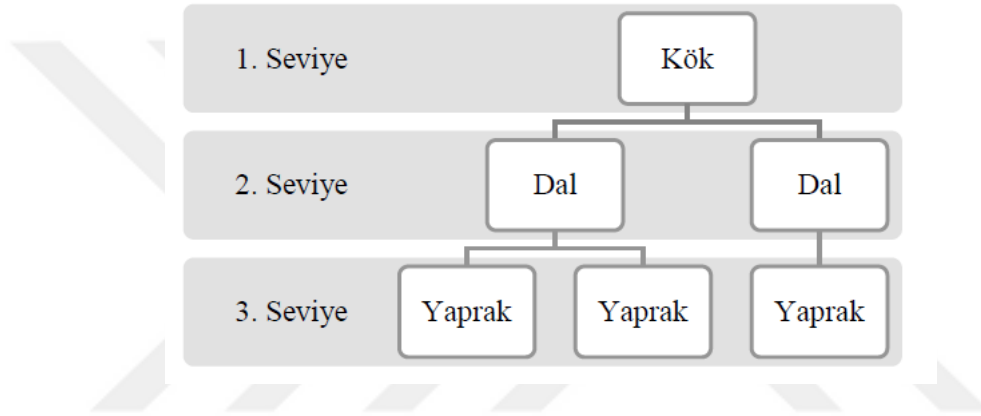
DVM sınıflandırmayı gerçekleştirirken bir fonksiyon tahmin eder, bu fonksiyon doğrusal veya doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Bu sayede hem doğrusal hem de doğrusal olmayan veri kümelerini sınıflandırabilir [68]. Sınıflandırma, tahmin edilen fonksiyona uygun olan hiper düzlem belirlenmesi ile gerçekleşir. Hiper düzlem belirlenirken sınıflar arasındaki en büyük boşluğa göre belirlenir. En büyük boşluğun belirlenmesi hiper düzlemde her iki sınıfa yakın olan veri aracılığı ile olur. Bu veriler destek vektörleridir ve oluşturduğu düzlemler sınır düzlemleridir. Sınır düzlemler birbirine paralel ve sınır düzlemlerinin tam ortasından geçen doğru da optimum hiper düzlemdir. Örnek olarak iki sınıflı bir problem için DVM yönteminin gösterimi Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. İki sınıflı için DVM

2.3.3. Karar Ağaçları

Karar ağaçları son zamanlarda kullanılan yaygın yöntemlerden biridir; karakter tanıma, radar sinyallerinin ve uydu görüntülerinin sınıflandırılması gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır [69]. Karar ağaçlarının yapısında kök, dal ve yaprak bulunmaktadır. Bu yapılar 3 temel seviyeyi belirlemektedir [70] ve karar ağacı yapısında kurallar kökten dallara doğru yani en alt seviyeden en üst seviyeye doğru ilerlemektedir. Şekil 14’te bir karar ağacı yapısı verilmiştir [71].



Şekil 14. Karar ağacının yapısı [71]

Karar ağaçları yönteminin literatürde sıkça tercih edilmesinin nedeni, başarılı sonuç vermesinin yanında kolay yorumlanabilir ve sade olmasıdır [72].

2.3.3.1. Topluluk Öğrenme-Torbalama-Bağlı Ağaçlar

1994 yılında Breiman tarafından oluşturulan ve geliştirilen torbalama yöntemi, istatistiksel sınıflandırma yöntemlerinin doğruluğunu arttıran makine öğrenmesi temelli bir topluluk algoritmasıdır [73]. Bu algoritma da eğitim verisinin farklı kombinasyonları üretilerek birden fazla eğitim örneğinin oluşturulması amaçlanır. Eğitim verisi içerisinde yerine koyulacak şekilde tekrar tekrar veriler çekilerek yeni ağaçlar oluşturulur ve bu ağaçlardan bir topluluk ortaya çıkar. Bu nedenle ağaç topluluk öğrenme olarak adlandırılır [74]. Eğitim verisi kadar örneğe sahip bir eğitim verisi, rastgele seçimlerle yerine koymalı olarak üretilirken eğitim verisindeki bazı örnekler burada hiç yer almazken bazıları da birden

fazla kez yer alır. Ortaya çıkan ağaçların hepsi modelleme için kullanılır ve her birinin tahmini sonucu karar çoğunluk oylaması ile belirlenir [48]. CART algoritmasının torbalanması(bag) ile torbalama öğrenme algoritması ortaya çıkar [74]. CART(sınıflandırma ve regresyon ağaçları) algoritmasına kısaca değinecek olursak; karar ağaçları temelli bir yöntemdir. Algoritmanın en önemli ve diğer karar ağacı sınıflandırma yöntemlerinden ayıran özelliği ise yalnızca ikili dallanmalar şeklinde ilerliyor olmasıdır [69].



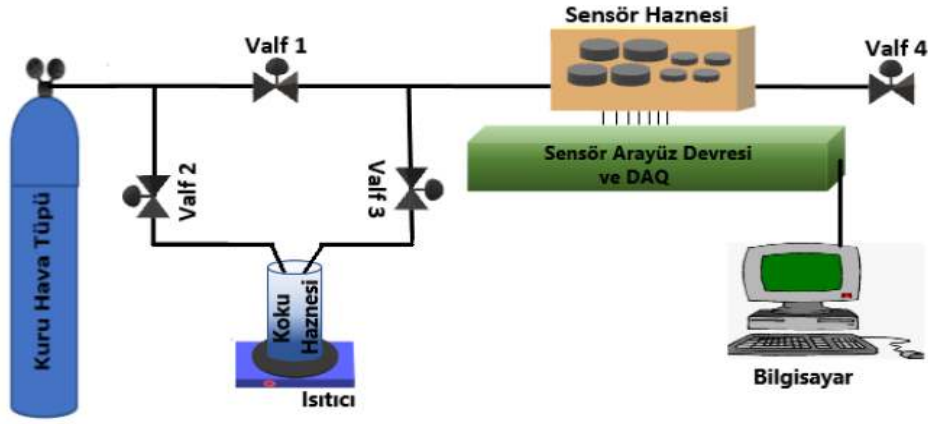
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan bu tez çalışmasında Doğu Karadeniz Bölgesinde aynı yılın hasadı olan Mayıs-Haziran ve Temmuz-Ağustos hasat dönemlerinde toplanıp Ofçaysan A.Ş. fabrikasında işlenerek kalitelere göre ayrılan siyah çaylar kullanıldı. Aynı hasat dönemlerinde farklı kalitelere sahip siyah çayların kalite sınıflandırılması elektronik burun düzeneği ile gerçekleştirildi. Veri seti bu çalışma için oluşturulmuş olan 8 sensörlü e-burun devresi ile elde edilmiş ve elde edilen veriler belli alt bölgelere ayrılarak her bir alt bölgede öznitelik çıkarımı yapıldı. Farklı kalitelere sahip siyah çayların sınıflandırması için k-En Yakın Komşu(k-EYK), Destek Vektör Makinesi(DVM) ve Torbalama-Topluluk Öğrenme-Bağlı Ağaçlar sınıflandırma algoritmaları kullanılırken sınıflandırma başarısını değerlendirmek için de 5-katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanıldı. Sonuçlar, karşılaştırılmalı olarak değerlendirilerek en yüksek sınıflandırma başarısının sağlandığı öznitelikler ve sınıflandırmalar belirlenmiştir.

Yapılan çalışma için genel bilgiler aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1. E-Burun Deney Düzeneği

Yapılan bu tez çalışmasında, siyah çay içerisindeki uçucu bileşenleri algılayabilecek 8 adet MOS gaz algılayıcı sensör kullanılarak bir elektronik burun düzeneği geliştirildi. Elektronik burun düzeneği literatürdeki e-burun deney düzenekleri incelenerek istenilen ihtiyacı karşılayabilecek en küçük boyutlar da ve en az maliyet de olacak şekilde tasarlanıp yapıldı. Yapılan e-burun donanımında kuru hava tüpü, valfler, koku haznesi, ısıtıcı, sensörler, sensör arayüz devresi ve veri toplama kartı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen e-burun deney düzeneğinin çalışma mantığının daha iyi anlaşılabilmesi için, elektronik burunun detaylı blok diyagramı Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. E-burun deney düzeneği blok diyagramı

E-burun deney düzeneğinin tasarım aşamasında sistemli bir yol izlenir. Çay örnekleri demlenmeyerek, saf kuru siyah çay halinde kullanılır. Bu kuru siyah çayın kokusunun sensörler tarafından algılanması sağlanır. Sensörlerin çalışması iletkenlik değişimine bağlıdır ve iletkenlik değişiminin neden olacağı gerilim ölçümü veri toplama kartına kaydedilir. Veri toplama kartı bilgisayara bağlı durumdadır ve karta kaydedilen veri bilgisayarda görüntülenir. Sınıflandırılmak istenen siyah çayların kokusunun tanıtılması ve sınıfı belirlenmek istenen yeni kokunun tanıtılan koku ile karşılaştırılması sınıflandırma algoritmaları ile sağlanır. Oluşturulan e-burun donanımında amaçlanan asıl düşünce farklı kalitelere sahip siyah çayların kalitelerine göre ait olduğu sınıfının belirlenmesidir ve yapılan çalışma sonucunda bu amaç gerçekleşir.

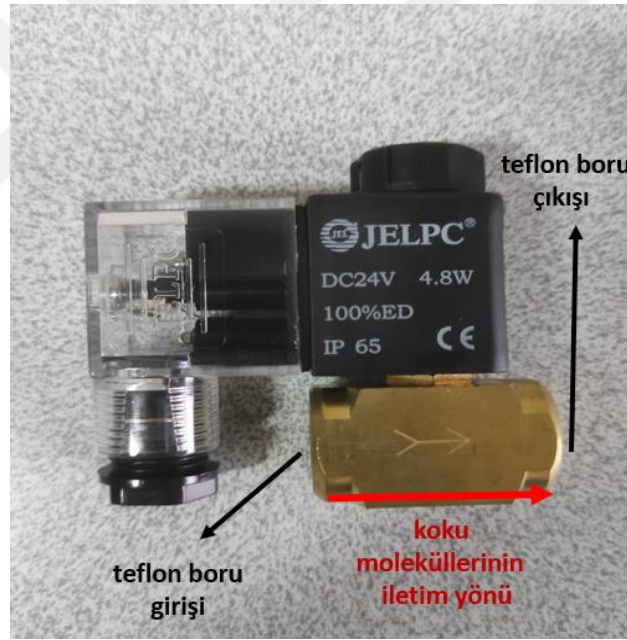
3.1.1. Kokunun İletilmesi

E-burun deney düzeneğinde kokunun iletim yolu teflon borular ile belirlenmektedir. Teflon borular koku moleküllerinin koku haznesinden sensör haznesine doğru yol almalarını sağlar. Deney düzeneğinde kokunun iletimi için teflon boruların kullanılmasındaki ana neden teflon borularının herhangi bir kimyasal ile reaksiyona girmemesidir. Böylece sıcak hava kütlesi olarak iletilen çay kokusundaki koku molekülleri boru ile tepkimeye girmez ve saf çay kokusu bozulmamış olur. Ayrıca, teflon boruların herhangi bir kokuyu tutmaması da bir diğer önemli özelliğidir. Çünkü deney düzeneğinde kokunun iletilmesi kadar teflon

boruların temizlenmesi de önemlidir. Teflon borunun koku tutmama özelliği sayesinde de örnek çay kokusuna maruz kalan borular kuru hava iletimiyle temizlenmektedir.

Teflon borularda kokunun iletimi kokusuz kuru hava tüpü ile sağlanmaktadır. Tüpteki manometreli vana ile kontrol edilen gaz, belirli bir basınç ile borularda kokunun akışını sağlar.

Deney düzeneğinde, teflon borular aracılığı ile ilerleyen kokunun iletim yönünün kontrolü selenoid valfler ile sağlanmaktadır. Selenoid valfleri devrelerdeki anahtarlar gibi düşünebiliriz. Selenoid valf enerjilendirildiği zaman aktifleşmekte ve içinden koku moleküllerinin geçmesine izin vermektedir. Enerjisinin olmadığı durumda ise pasif kalmakta ve içinden koku moleküllerinin geçip bir diğer teflon borudan devam etmesine engel olmaktadır. Deney düzeneğinde selenoid valf Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16. Koku moleküllerinin iletim yönünü belirleyen selenoid valf

3.1.2. Kontrol Arayüz Devresi: Röle Kartı

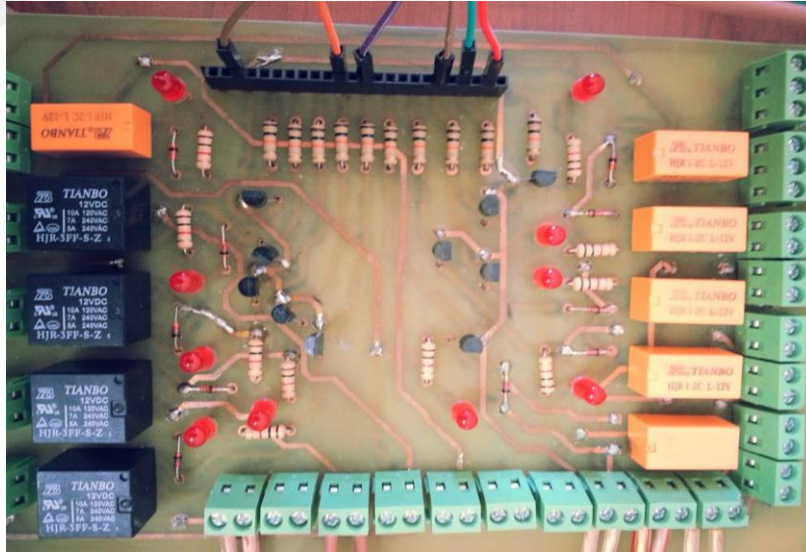
Kontrol arayüz devresi selenoid valfleri kontrol etmek için kullanılan, 12V DC gerilim ile çalışan rölelerden oluşur. Devrede toplam 4 adet selenoid valf bulunmakta ve sistemde koku iletiliyor mu, hapsediliyor mu, tahliye mi ediliyor durumları bu valflerin kontrol arayüz devresi ile sağlanmaktadır. Devrenin programlanması bilgisayar ortamında MATLAB ile

gerçeklenir. Sistem durumuna göre valflerin aktif pasifliği Tablo 4’te verilmiştir. Tabloda verilen valf numaraları Şekil 16’dan alınmadır.

Tablo 4. Sitem durumuna göre selenoid valflerin aktif ve pasifliği (✓ : aktif X: pasif)

<i>Valfler</i> <i>Sistem Durumu</i>	Valf 1	Valf 2	Valf 3	Valf 4
Ön Temizleme	✓	X	X	✓
Kokunun İletilmesi	X	✓	✓	X
Kokunun Hapsedilmesi	X	X	X	X
Son Temizleme	✓	X	X	✓

Sistemin ve valflerin kontrolü için baskı devre olarak yapılan röle kartı Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 17. Sistemi ve valfleri kontrol eden röle kartı

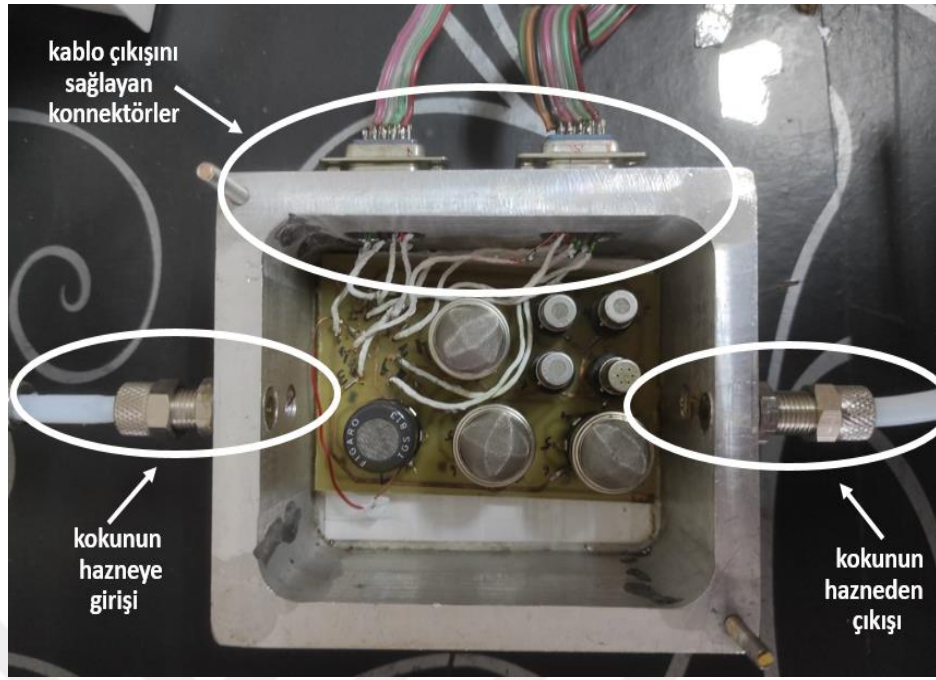
3.1.3. Koku Haznesi ve Isıtıcı

Koku haznesi, kokusu analiz edilmek istenen örnek kuru siyah çayın koyulduğu yerdir. Koku haznesi 500 ml cam kavanozdan oluşur ve kavanozun metal kısmında iki delik

bulunur. Bu delikler teflon borunun giriş ve çıkışı içindir. Borular metal kapağa takılırken hava kaçağına sebebiyet verilmeyecek şekilde teflon bant ile sarılır ve kapak giriş çıkışlarına kokusuz yapıştırıcı ile yapıştırılır. Cam hazneye koyulan kuru siyah çay, alt kısmında bulunan elektrikli ocak ile ısıtılır. Isıtma işlemindeki amaç koku moleküllerinin daha yoğun olarak ortaya çıkmasıdır. Isıtma işlemi sonucu çayın sıcaklığı dijital termometre ile kontrol edilir. Çayın sıcaklığının iyi ayarlanması gerekmektedir, fazla ısıma olması durumunda çayda yanma meydana gelir ve çay kokusuna karışan yanık kokusu, analiz için sağlıklı bir koku verisi olmaz.

3.1.4. Sensör Haznesi ve Sensör Kartı

Kokunun sensörler tarafından algılanması için bir sensör haznesi oluşturulur. Oluşturulan sensör haznesi kapaklı, dikdörtgen bir prizma kutu şeklindedir. Haznenin içinde 4 küçük 4 büyük olmak üzere 8 adet gaz sensörünün bulunduğu sensör kartı vardır. Haznenin kapalı olmasıyla içerisine yerleştirilen gaz sensörlerinin dış ortam ile temasları engellenir. Amaç, sensörlerin yalnızca siyah çaydan gelecek olan koku moleküllerine maruz kalarak ortamda oluşabilecek herhangi bir kokudan etkilenmemesidir. Hazne, alüminyumun kolay şekillenmesi ve iyi bir ısı iletkeni olması nedeniyle alüminyum malzemeden yapılmaz. Böylece ısınan koku moleküllerinin hazne içine gelip hapsedilmesi aşamasında kutu içinde oluşan sıcaklık içeride homojen olarak dağılır. Kutunun dar karşılıklı birer kenarlarında kokunun hazne içine geçmesini sağlayan teflon boru giriş ve çıkış delikleri vardır. Teflon borunun kutuya giriş ve çıkışı sağlanırken boşluk kalmayacak şekilde, konnektörler aracılığıyla gerçekleştirilir. Ayrıca sensörlerden kablo çıkışını sağlayan kutunun geniş kenarlarından birinde yüzeye sabit, erkek konnektörler vardır. Deney düzeneğinde kullanılan koku haznesi Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Sensör Haznesi

3.1.4.1. MOS Gaz Sensörleri ve Sensör Arayüz Kartı

Yapılan bu tez çalışmasında deney düzeneğinde MOS gaz sensörleri kullanılmış olup sensör genel bilgileri teorik bilgi kısmında anlatılmıştır. Kullanılan MOS gaz sensörleri Figero markadır ve kullanılan gaz sensörlerinin katalogları ayrı ayrı incelendi. [75, 76]. Sensör haznesi içinde 4 büyük ve 4 küçük olmak üzere 8 adet sensör vardır ve bu sensörler; TGS813, TGS826, TGS832, TGS880, TGS 2602, TGS2610, TGS 2612 ve TGS 2620 sensörleridir. Sensörlerin boyutunun anlaşılabilmesi için büyük ve küçük sensörlerin görseli 50 mm ölçek ile birlikte Şekil 19’da verilmiştir.



Şekil 19. Büyük ve küçük boyutlu TGS sensörler

Kullanılan sensörlerin devre gerilim değerleri, aktifleşmeleri için gereken ısıtıcı gerilim değerleri, gerilimin elde edilmesi için kullanılan yük direnç değerleri ile hassas oldukları başlıca gaz çeşitleri Tablo 5’te verilmiştir.

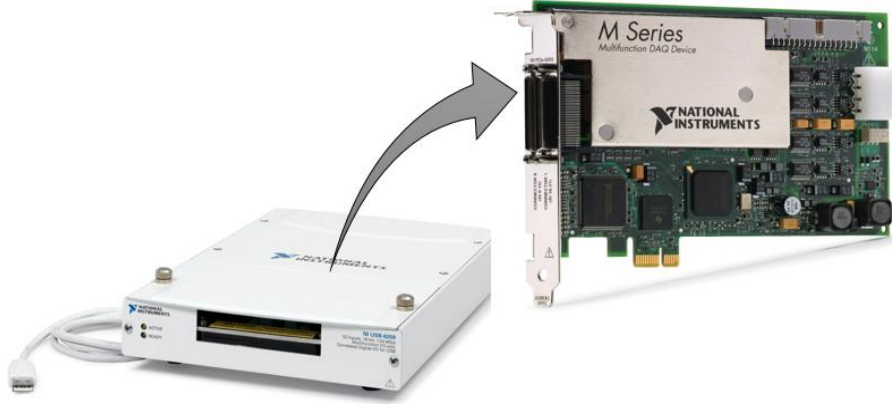
Tablo 5. Kullanılan TGS sensörlerinin özellikleri

Sensörler r	TGS 813	TGS 826	TGS 832	TGS 880	TGS 2602	TGS 2610	TGS 2612	TGS 2620
Özellikler								
Devre Gerilimi (V _{CC})	5 V				24 V			
Isıtıcı Gerilim (V _H)	5 V							
Yük Direnci (R _L) (k Ω)	2	1	3	6	4,7	1	2	2
Hassas Olduğu Gaz	Yanıcı Gazlar	Amonyak	Halokarbon Gazları	Hidrojen, Amonyak	Uçucu ve Kokulu Gazlar	Propan, Butan	Metan, Propan	Alkoller, Organik Buharlar, Çözeltiler

Deney düzeneğinde sensörlere ait dirençler koku haznesinin dışında, sensör arayüz devresi diye adlandırdığımız kart üzerindedir. Sensörlere ait bu direnç değerleri belirlenirken kullanılan sensörlerin katalogları incelenmiş [75, 76] maksimum yük dirençlerine bakılmış ve kullanılan direnç değeri deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir.

3.1.5. Veri Elde Etme Kartı: DAQ Kart

Yapılan u tez çalışmasında veri elde etme kartı olarak National Instrument markalı DAQ 6259 veri elde etme kartı kullanıldı. Kart üzerinde analog giriş, analog ve sayısal çıkış portları yer almaktadır. Sensörlerden analog olarak elde edilen verinin dijitale çevrilmesi bu kart ile gerçekleşir ve bu sayede veriler bilgisayar ortamında MATLAB arayüzünde işlenmek üzere görüntülenir. Şekil 20’de DAQ 6259 veri işleme kartı iç ve dış görseli verilir.



Şekil 20 DAQ kart dış ve iç görüntüsü

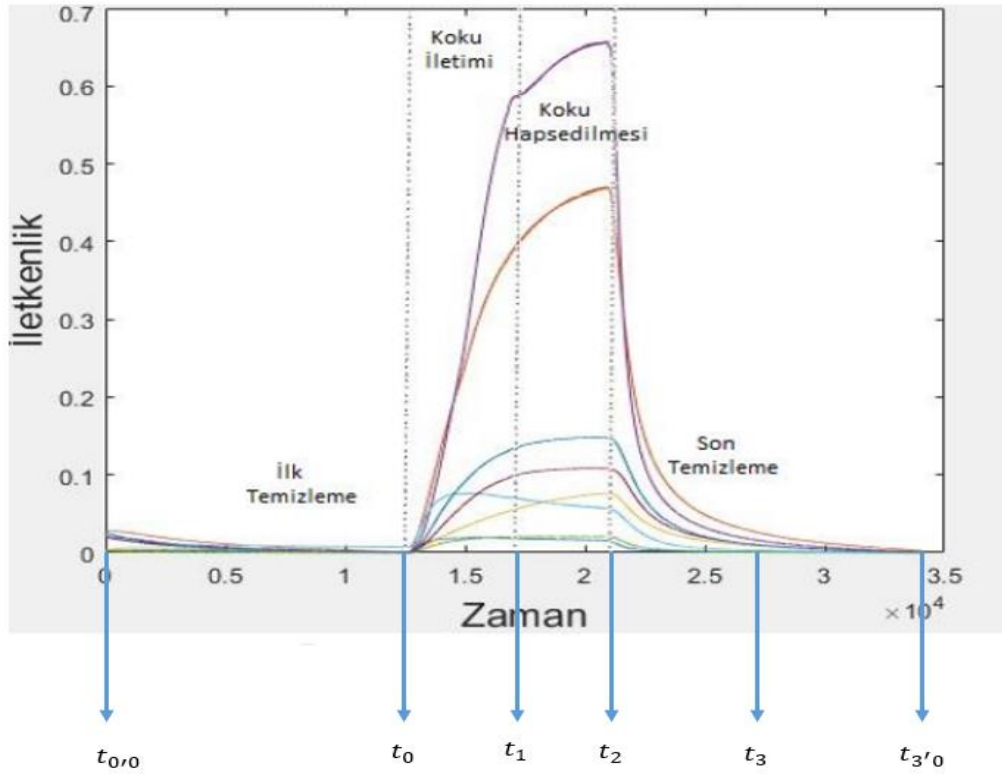
3.2. E-Burun Deney Aşaması

Yapılan bu tez çalışmasında, siyah çay içerisindeki uçucu bileşenleri algılayabilecek 8 adet gaz algılayıcı sensör kullanıldı. Deneyde, farklı kalitelere sahip siyah çaylar koku haznesine 50'şer gram olarak koyulur. Çay kokusunun yoğunluğunu arttırmak için çay sıcaklığının $80 (\pm 3) ^\circ\text{C}$ olması sağlanır. Çayın bu sıcaklığı çay koku haznesinin sıcak su içine koyulması ile sağlanır ve su sıcaklığının zamanla korunması için ısıtıcı olarak elektrikli ocak kullanılır.

Çay veri setlerinin elde edilmesi için deney düzeneğinde 4 aşama gerçekleşir:

1. aşama ilk temizlemedir. Sistemin oluşabilecek herhangi bir kokudan temizlenmesi için 130 sn boyunca uygulanır.
2. aşama koku iletimidir. Sensör haznesine 40 sn boyunca kuru çay kokusu iletilir.
3. aşama koku hapsedmedir. Sensörlerin kararlı bir tepki verebilmeleri için 40 sn boyunca kuru çay kokusu iletilir.
4. aşama son temizlemedir. Sistemin oluşan çay kokusundan temizlenmesi için 130 sn boyunca uygulanır.

Bu aşamalar kokusuz gaz içeren kuru hava tüpü ile gerçekleştirildi. Şekil 21'de aşamalar sensörden elde edilen grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 21: Elde edilen sensör verisinde e-burun deney aşamaları

Şekil 22’de verilen ifadeler:

$t_{0/0}$	:	Deney başlangıcı
$t_{0/0} - t_0$	:	1. aşama – ilk temizleme
$t_0 - t_1$	:	2. aşama – koku iletimi
$t_1 - t_2$	:	3. aşama – koku hapsetme
$t_2 - t_{3/0}$	:	4. aşama – ilk son temizleme
$t_{3/0}$	:	Deney sonu
$t_1 - t_3$	:	İşlenen veri aralığı

Deney sonucunda, kullanılan veri elde etme kartı ile örnekleme frekansı 100 Hz olan veri seti oluşturularak bilgisayar ortamında görüntülenir. Bir deney ortalama olarak 5 ile 6 dk arasında sürer. Her bir kuru çay örneği için 10 deney olmak üzere, 8 farklı kalitedeki çay için toplamda 80 deney gerçekleştirilir. Sistemin çalışması, oluşan verilerin görüntülenmesi ve sınıflandırılması için gereken işlemler MATLAB yazılımı üzerinden yapılır.

3.3. İşarete Ön İşlem Uygulanması

E-burun ile belli aşamalar sonucunda elde edilen siyah çay verileri, sınıflandırılmak amacıyla MATLAB yazılımı üzerinde işlendi. Daha sağlıklı bir veri elde etmek ve sınıflandırma başarısını arttırmak için elde edilen işaretlere referans düzeltmesi ve iletkenlik dönüşümü ön işlemleri uygulandı. Referans düzeltmesi Denklem 5’te verilen matematiksel eşitlik ile gerçekleştirildi.

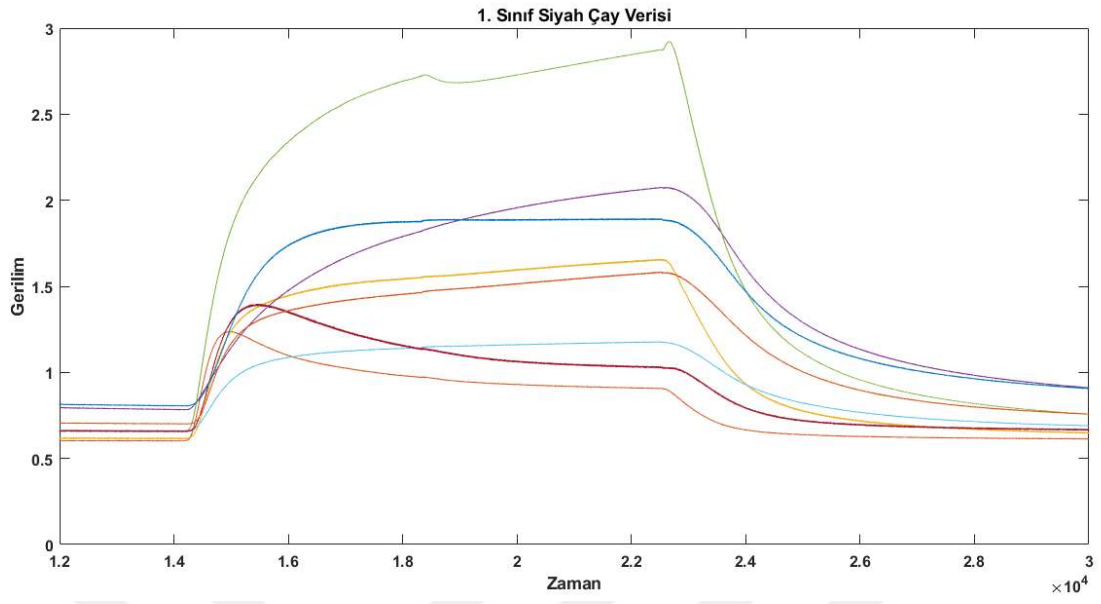
$$V_{RD}(t) = V_{SV}(t) - \min(V_{SV}) \quad (5)$$

Bu ön işleme adımı ile sensör ölçümlerinde meydana gelebilecek sapma etkileri azaltılmıştır.

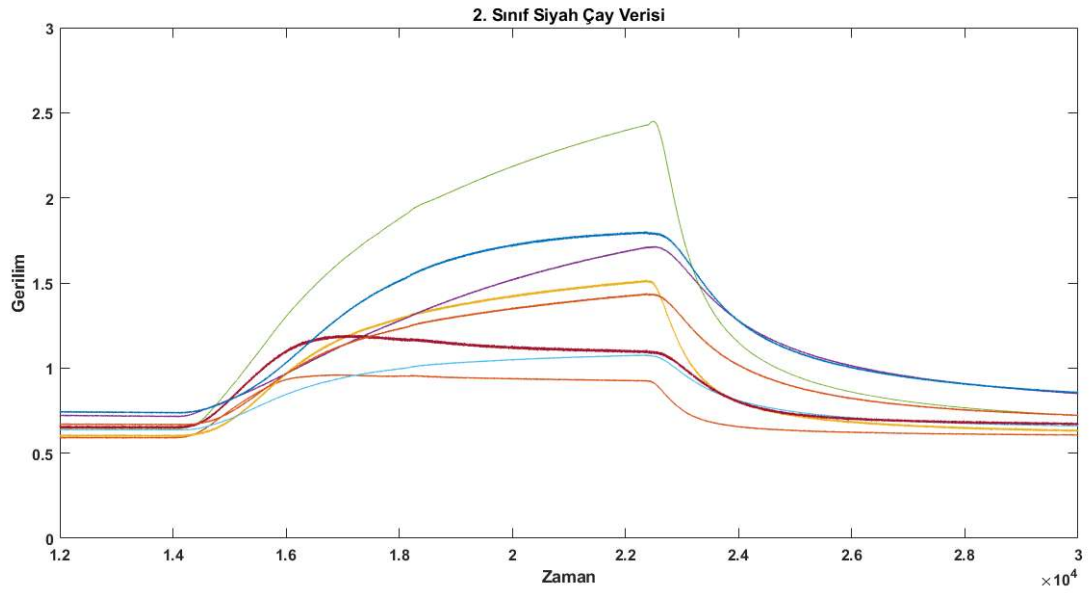
Literatürde gerçekleştirilen e-burun çalışmalarında çoğunlukla sensör direnci ya da iletkenliği kullanılır. Bu dikkate alınarak çalışmada da ikinci bir ön işleme olarak Denklem 6’daki iletkenliğe dönüştürme eşitliği kullanıldı.

$$G_{SV}(t) = \frac{V_{RD}(t)}{(V_{SB} - V_{RD}(t)) \cdot R_L} \quad (6)$$

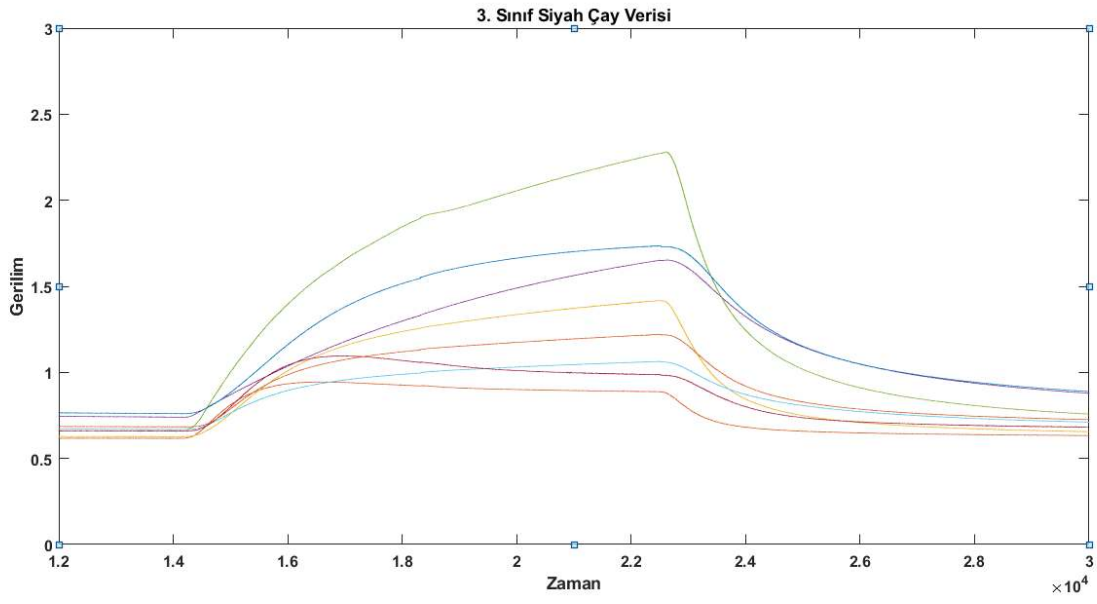
Ön işlem öncesi sekiz sensörden alınan 1. hasat siyah çay verileri Şekil 22, Şekil 23, Şekil 24, Şekil 25’te; 3. hasat siyah çay verileri Şekil 26, Şekil 27, Şekil 28 ve Şekil 29’da sunulmuştur.



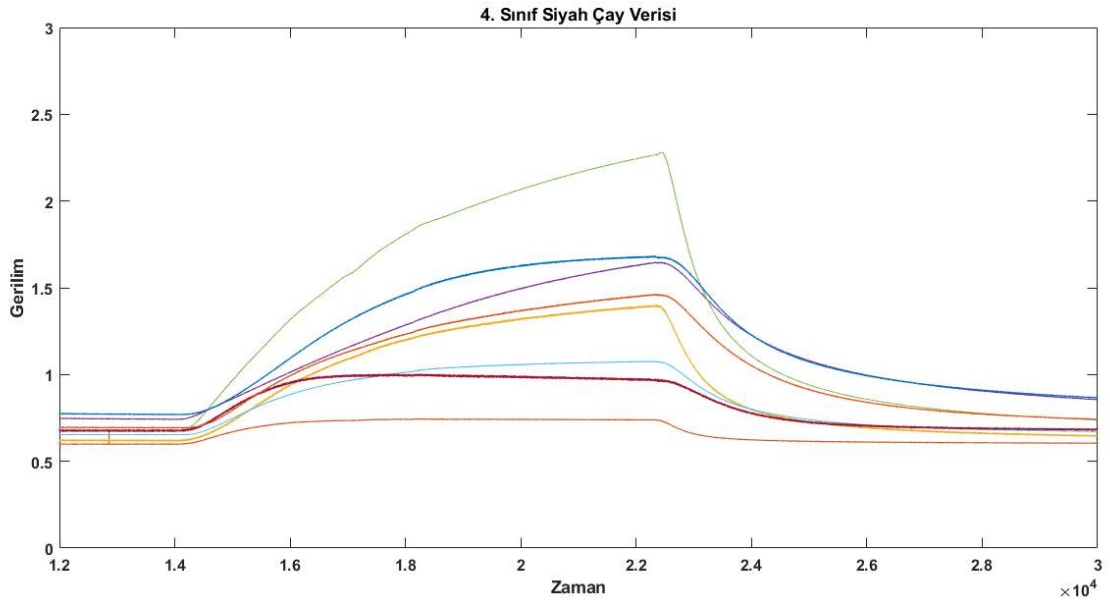
Şekil 22: 1. hasat 1. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 1. sınıf)



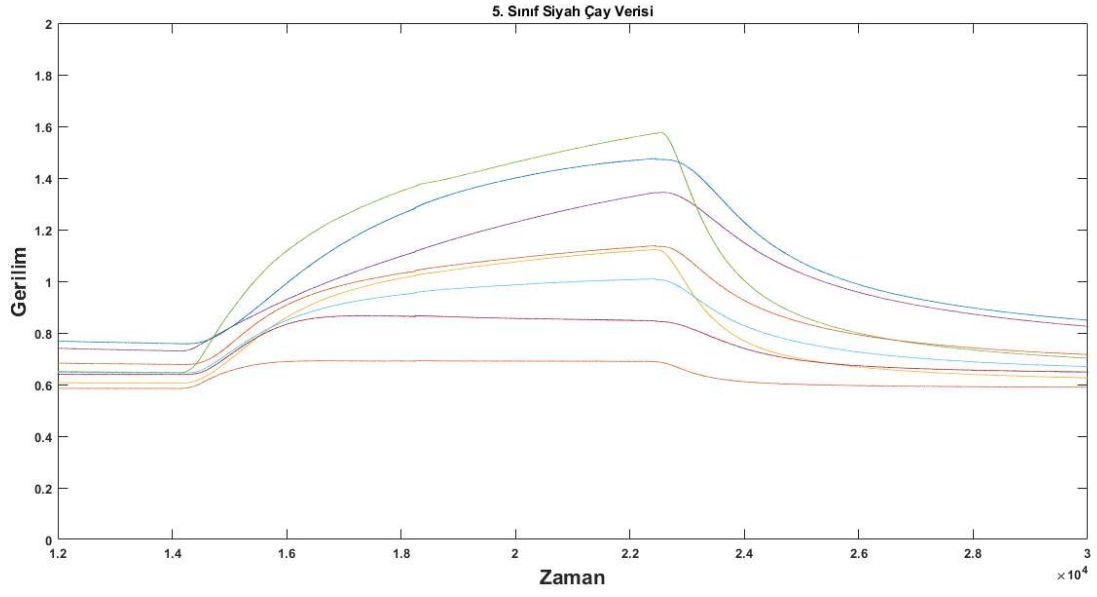
Şekil 23: 1. hasat 2. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 2. sınıf)



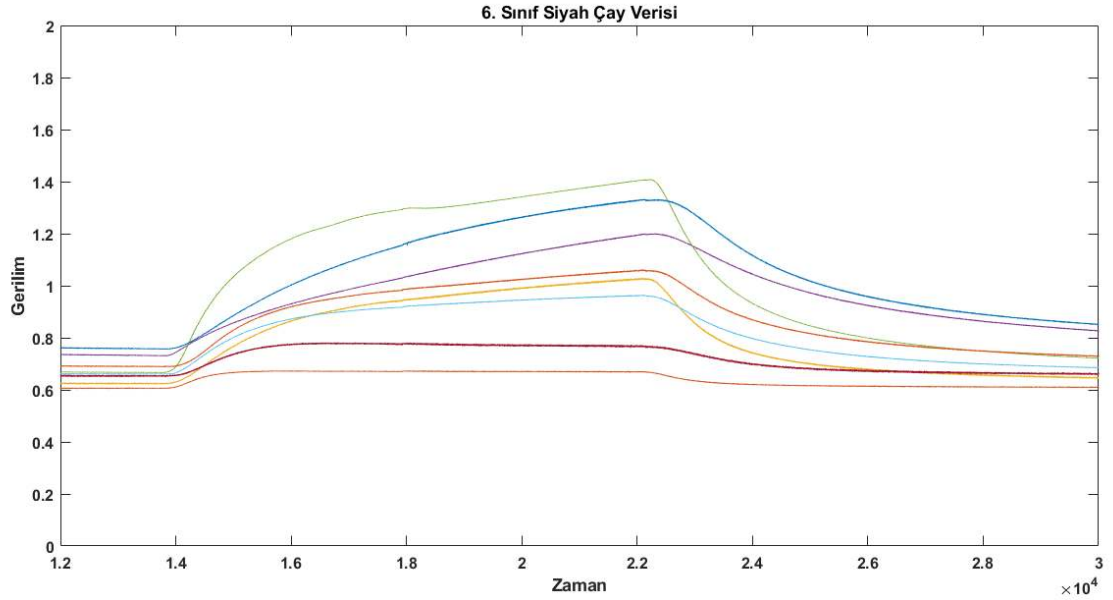
Şekil 24: 1. hasat 3. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 3. sınıf)



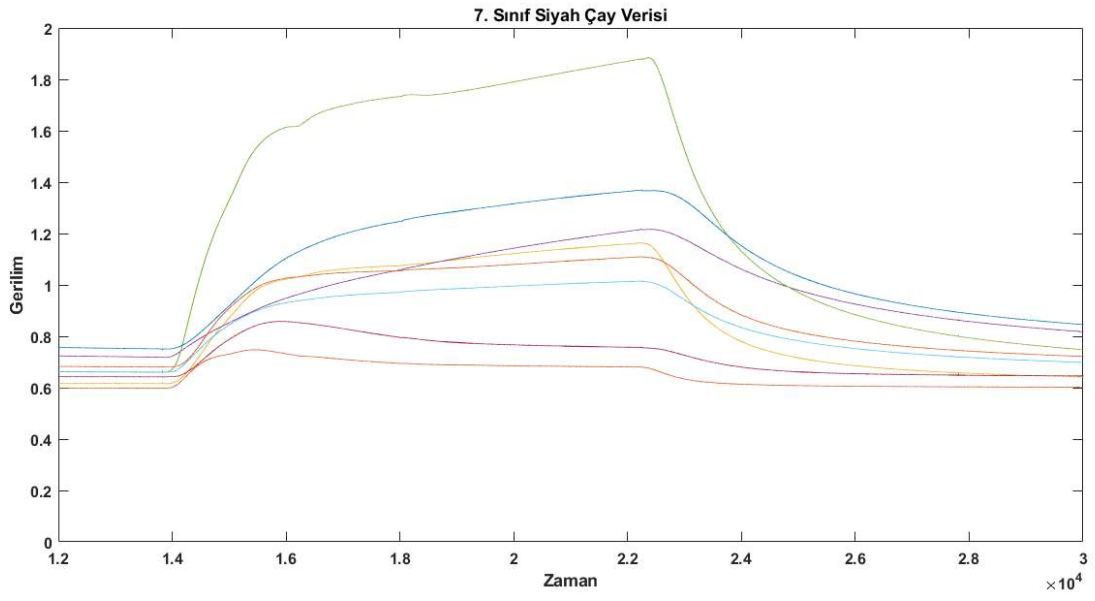
Şekil 25: 1. hasat 4. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 4. sınıf)



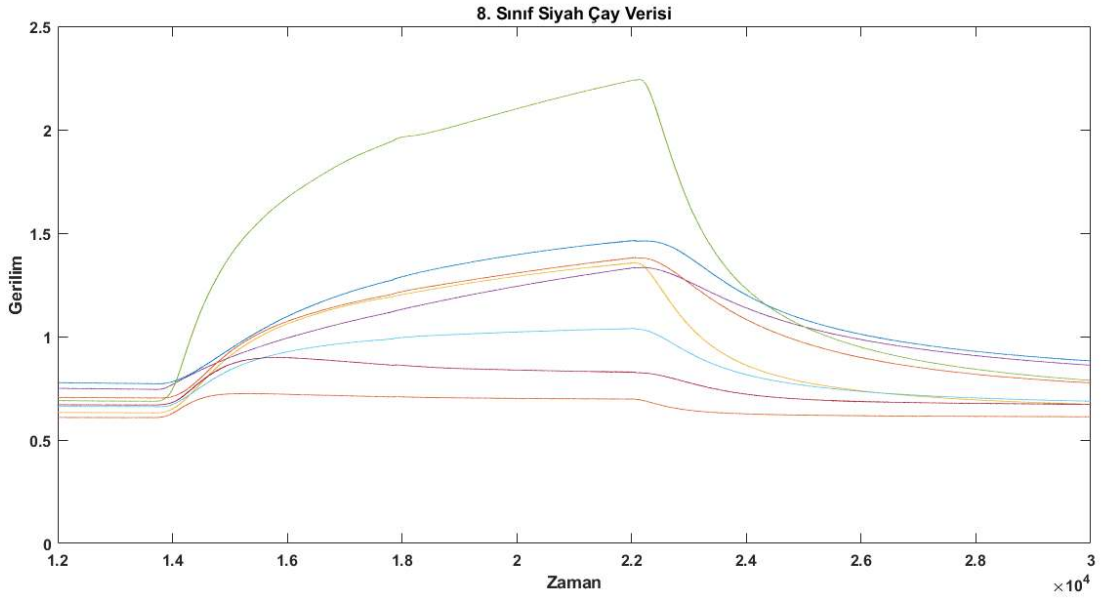
Şekil 26: 3. hasat 1. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 5. sınıf)



Şekil 27: 3. hasat 2. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 6. sınıf)

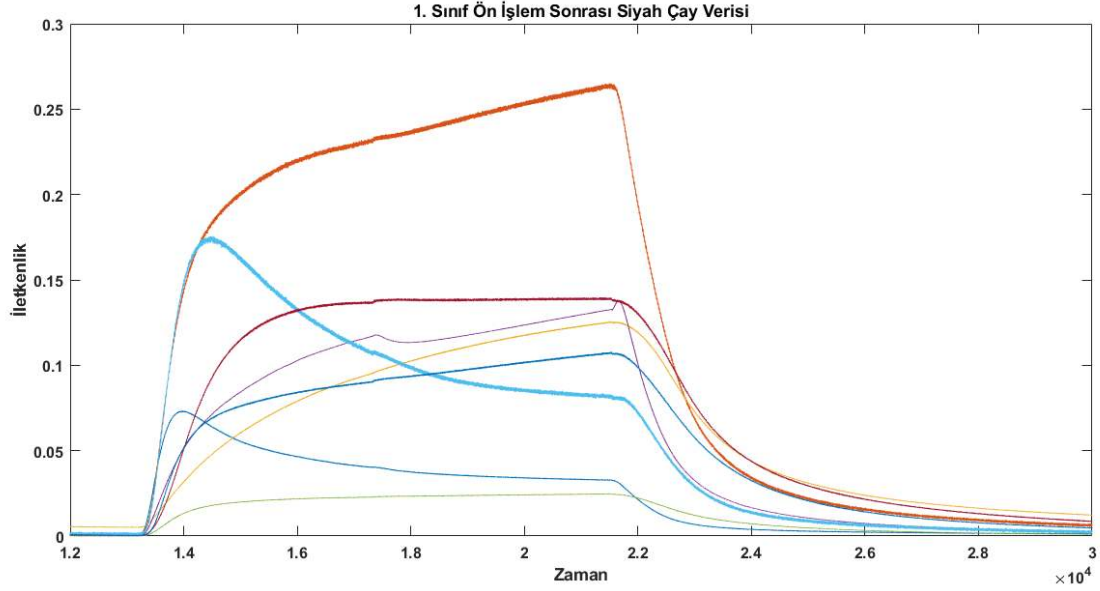


Şekil 28: 3. hasat 3. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 7. sınıf)

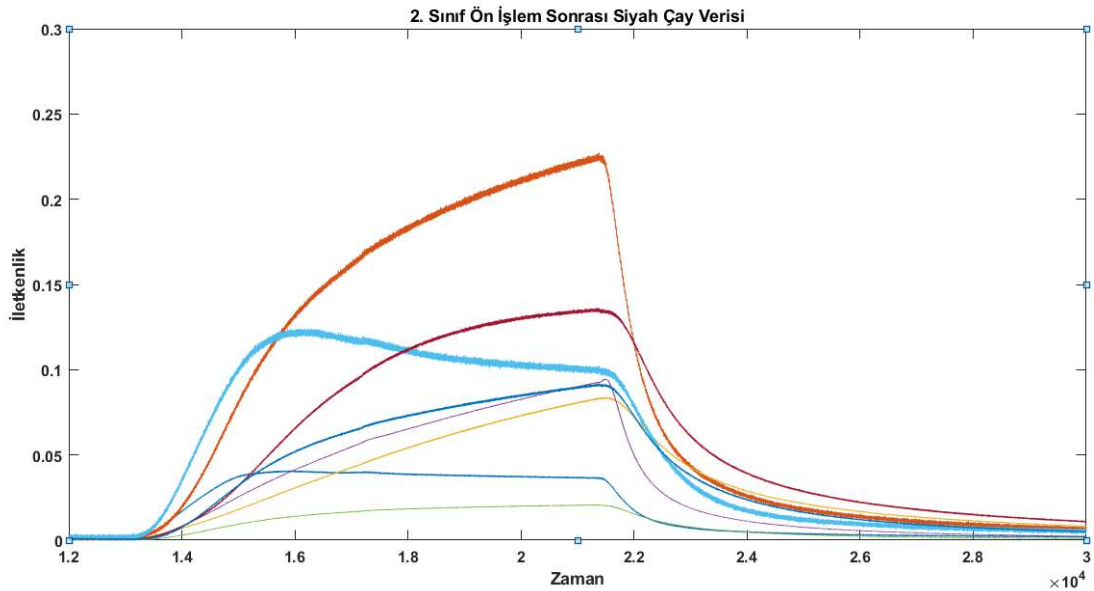


Şekil 29: 3. hasat 4. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 8. sınıf)

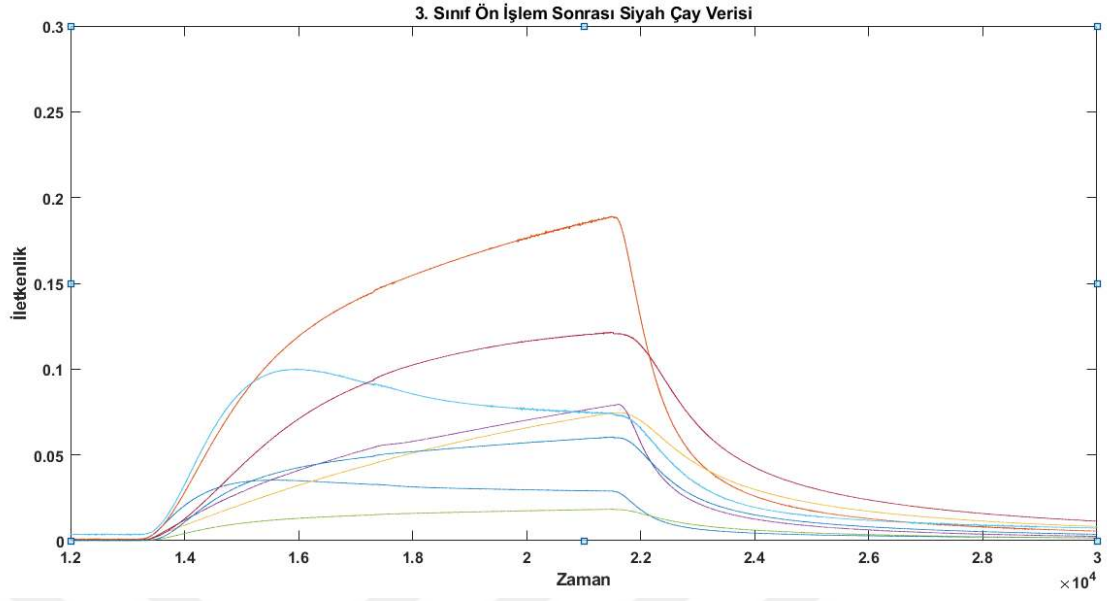
Ön işlem olarak referans düzeltme ve iletkenliğe dönüştürme sonrası sekiz sensörden alınan, 1. hasat siyah çay verileri Şekil 30, Şekil 31, Şekil 32, Şekil 33'te; 3. hasat siyah çay verileri Şekil 34, Şekil 35, Şekil 36 ve Şekil 37'de verilmiştir.



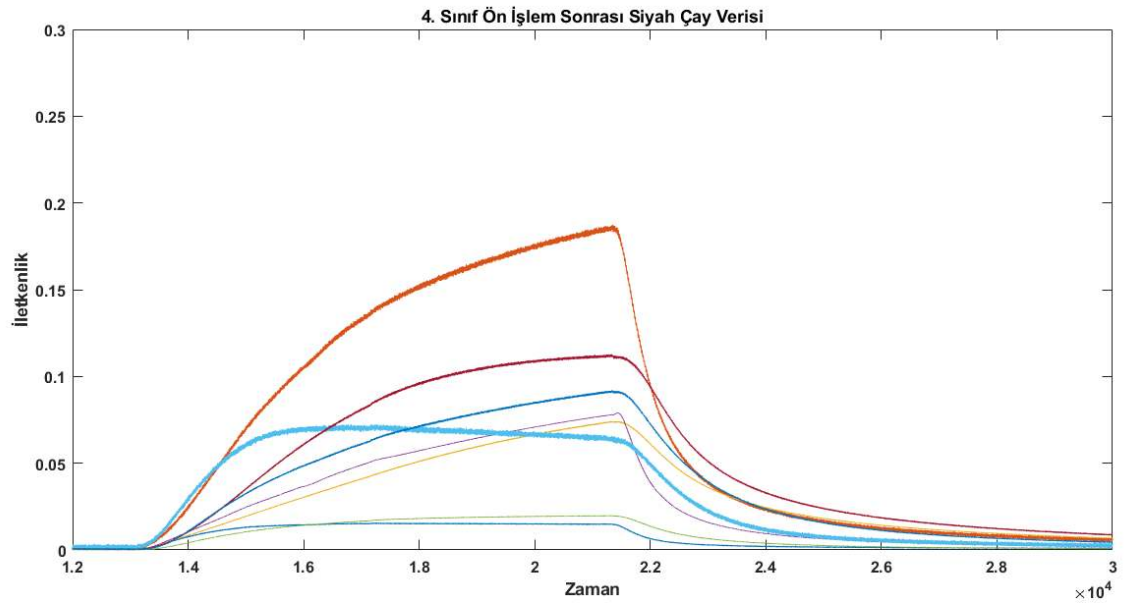
Şekil 30: Ön işlem sonrası 1. hasat 1. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 1. sınıf)



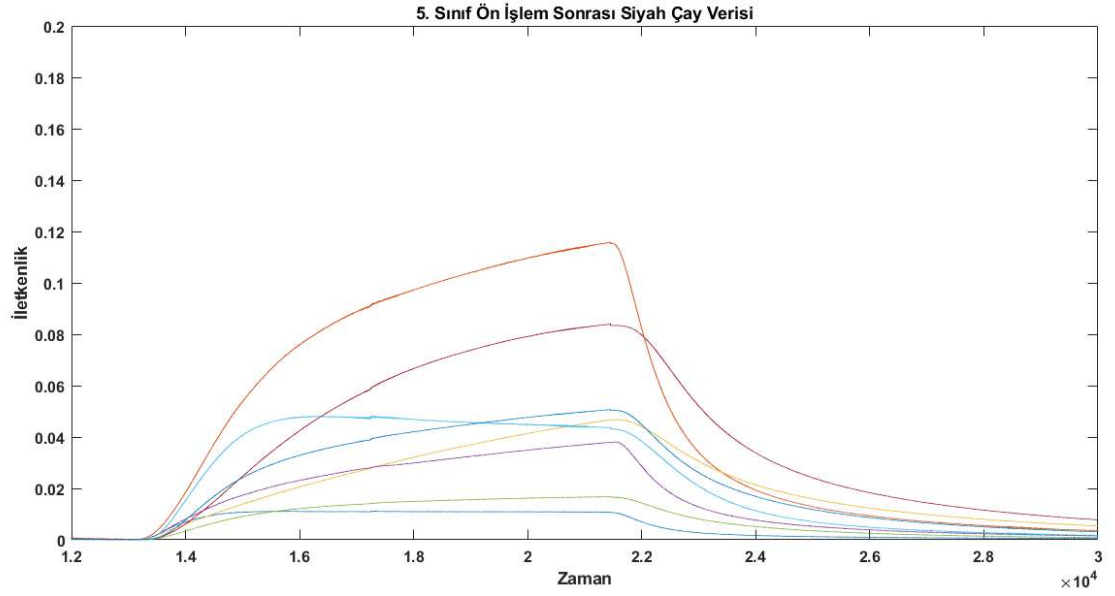
Şekil 31: Ön işlem sonrası 1. hasat 2. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 2. sınıf)



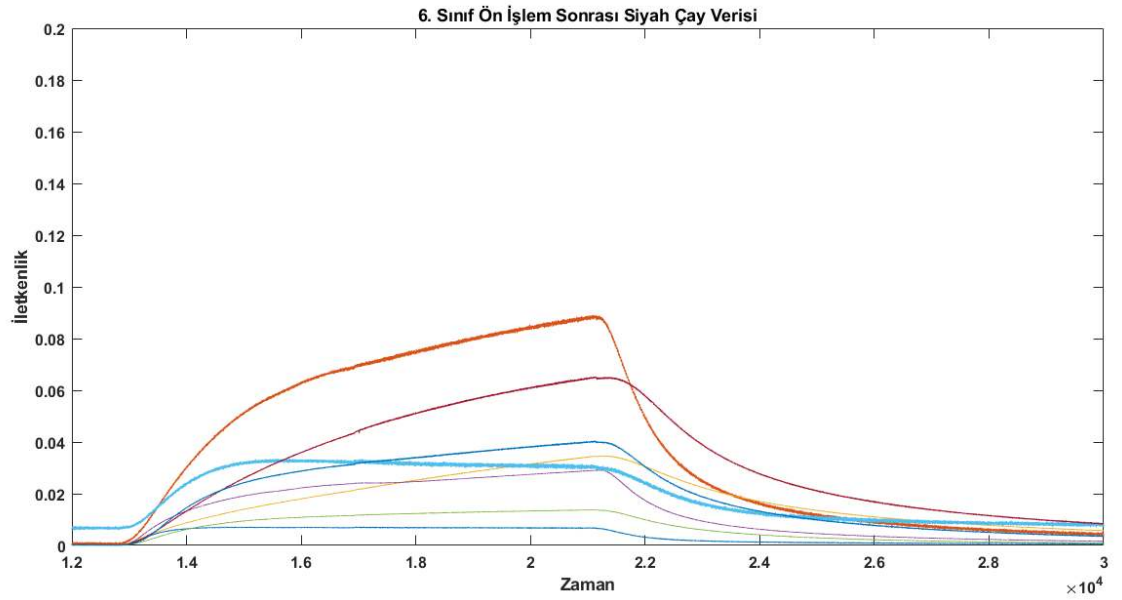
Şekil 32: Ön işlem sonrası 1. hasat 3. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 3. sınıf)



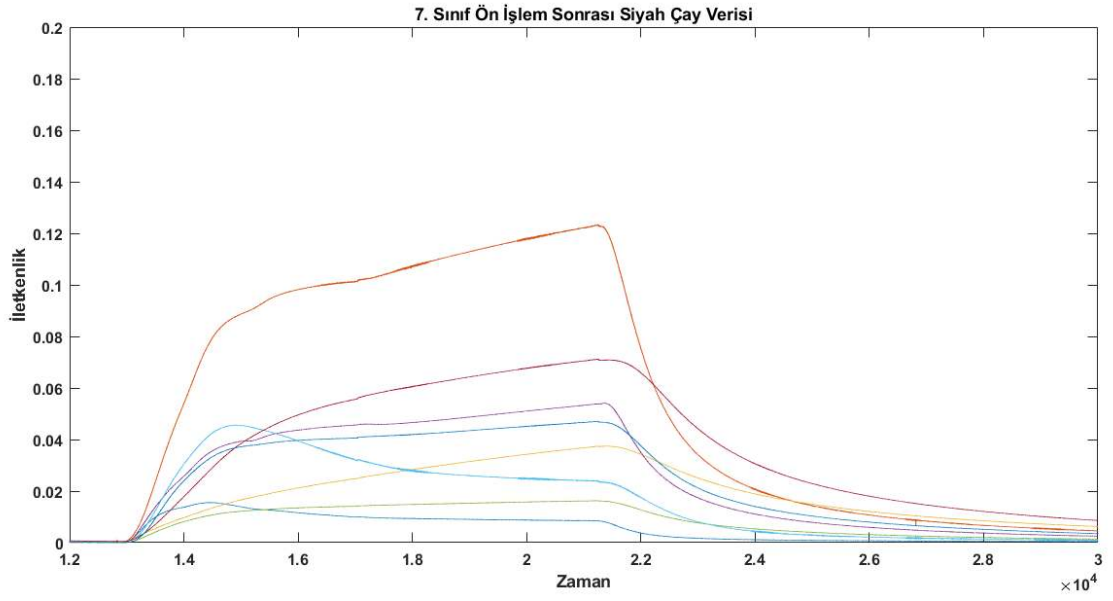
Şekil 33: Ön işlem sonrası 1. hasat 4. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 4. sınıf)



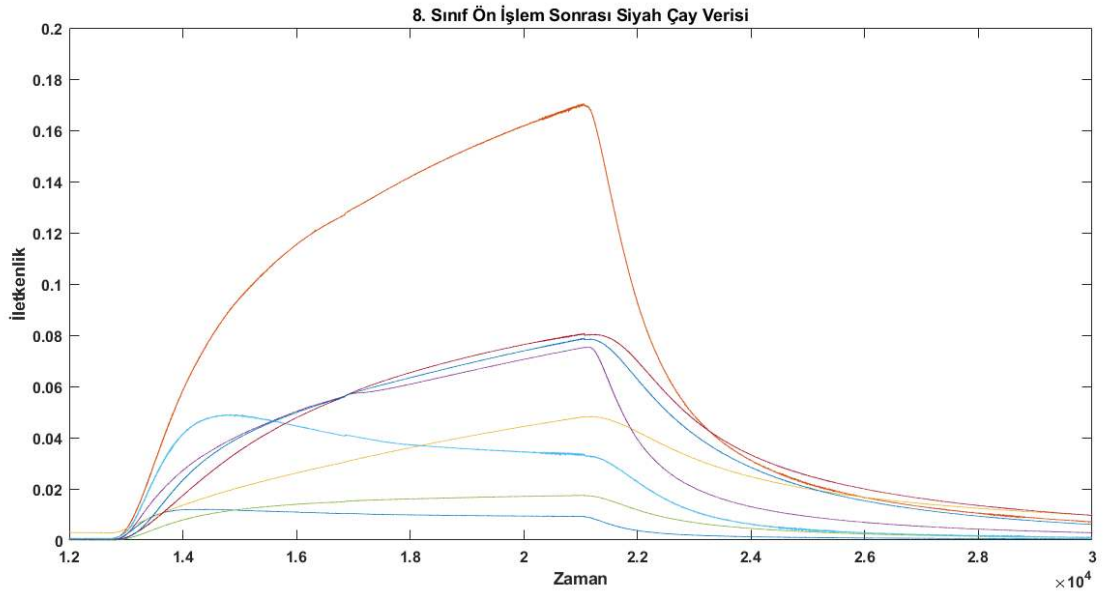
Şekil 34: Ön işlem sonrası 3. hasat 1. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 5. sınıf)



Şekil 35: Ön işlem sonrası 3. hasat 2. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 6. sınıf)



Şekil 36: Ön işlem sonrası 3. hasat 3. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 7. sınıf)



Şekil 37: Ön işlem sonrası 3. hasat 4. kalite siyah çay verisi (Çalışmada 8. sınıf)

3.4. İşarete Uygulanan Öznitelik Çıkarımları

Verilerin yeterli bir doğruluk ile açıklanabilir olması için öznitelik çıkarımı yapılır. Öznitelik çıkarımında doğru yöntemlerin kullanılması sınıflandırma doğruluğunu etkiler ve bu nedenle öznitelik çıkarımı önemlidir. Yapılan bu çalışmada, elde edilen veriler bir bütün olarak değerlendirildiği gibi kokunun iletilme, kokunun hapsedilme ve kokunun temizlenme aşamaları olarak da ayrı ayrı incelenerek öznitelik çıkarımları yapılır.

Çalışmada sınıflandırma doğruluğunu arttırmak amacı ile verilere birçok öznitelik uygulanır. Öznitelikler ayrı ayrı grupların ve en yüksek doğruluğun elde edildiği öznitelik grubunu belirlemek için sınıflandırma başarı oranları karşılaştırılır.

Yapılan bu çalışmada verilere öznitelik uygulanması için elde edilen veriler öncelikle belli alt bölgelere ayrılır. Şekil 21'deki bilgilerden yararlanılarak yapılan bölgelerin isimlendirilmesi aşağıda verilmiştir:

A Bölgesi: $t_0 - t_1$ arası

B Bölgesi: $t_0 - t_2$ arası

C Bölgesi: $t_0 - t_3$ arası

D Bölgesi: $t_1 - t_2$ arası

E Bölgesi: $t_1 - t_3$ arası

F Bölgesi: $t_2 - t_3$ arası

Bölgelere uygulanan öznitelik grupları ve bu uygulanan öznitelikler sonucunda verilerin boyutları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Öznitelik grupları ve boyutları

<i>Öznitelik</i>	<i>Uygulanan Öznitelik İçeriği</i>	<i>Uygulanan Bölge</i>	<i>1 Deney İçin</i>	
			<i>Boyut</i>	<i>Toplam Boyut</i>
<i>Öznitelik 1 (Öz.1)</i>	Maksimum	C	1x8	1x368
	Ortalama	Tüm bölgeler	1x48	
	Standart Sapma		1x48	
	Kurtosis		1x48	
	Skewness		1x48	
	Her bir sensörün birbiri ile arasındaki alan farkı		1x168	
<i>Öznitelik 2 (Öz.2)</i>	Öz. 1'e ek olarak,	Tüm bölgeler	1x168	1x518
	Toplam		1x48	
	Varyans		1x48	
	Türevler Toplamı		1x48	
	Entropi		1x6	
<i>Öznitelik 3 (Öz.3)</i>	Öz. 2'ye ek olarak,	Tüm bölgeler	1x518	1x662
	Hjorth parametreleri		1x144	

3.5. Verilerde Kullanılan Sınıflandırma Algoritmaları

Sınıflandırma algoritmaları ile yeni çay kokusunun hangi sınıfa ait olduğu belirlenir. Bu çalışmada k-EYK'nın k=1, k=3, k=5, k=7, kübik ve ağırlıklı olmak üzere 6 çeşidi, DVM'nin doğrusal, karesel ve kübik olmak üzere 3 çeşidi ile torbalama-topluluk öğrenme algoritması olmak üzere temelde 3 farklı sınıflandırma algoritması kullanılarak sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri karşılaştırılmalı olarak değerlendirilir.

İşaretlerin işlenmelerinde MATLAB kullanıldığı gibi sınıflandırma algoritmalarında da MATLAB programının Classification Learner Toolbox arayüzü kullanılır.

4. DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, yapılan e-burun deney düzeneği ve elde edilen verilerin analiz edilerek işlenmesi ve sınıflandırması sonucunda, sınıflandırma başarı yüzdeleri ve hata matrisleri elde edildi, detaylı olarak incelendi ve yorumlandı. Sınıflandırma aşamasında 1. ve 3. hasat çayları kendi aralarında sınıflandırılırken sınıflandırma algoritması art arda 10 kez tekrarlanırdı ve ayrı hasat dönemlerinin birlikte sınıflandırılmasında ise sınıflandırma algoritması art arda 5 kez tekrarlandı. Sınıflandırma başarısını değerlendirmek için de 5 katlı çapraz doğrulama yöntemi uygulandı ve sonuçların ortalaması alınarak en yüksek başarı sınıfının elde edildiği algoritmaya ait hata matrisi incelenerek yorumladı.

4.1. İlk Veri Seti: Mayıs-Haziran(1. Hasat) Dönemi Siyah Çaylar

İlk veri seti, Mayıs-Haziran yani 1. hasat dönemindeki 4 farklı kaliteye sahip siyah çaylarıdır. Bu verilere Öz.1, Öz.2 ve Öz.3 olmak üzere 3 farklı öznitelik grubu ayrı ayrı uygulandı. Özniteliklere art arda 10 kez uygulanan sınıflandırma algoritmasından elde edilen sınıflandırma başarı yüzdeleri Tablo 7’de verilmiştir. 10 tekrarlı olarak gerçekleşen sınıflandırma aşaması sonuçları, sınıflandırma algoritmalarına göre ortalama değerleri alınarak Tablo 8’de verilmiştir. Tablo 7 ve 8 incelendiğinde en yüksek sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdesi Öz.3 olarak gruplandırdığımız özniteliğe uygulanan Karesel DVM algoritması ile %86,5 olarak sağlandı. Tablo 7’ye göre bu algorithmada tekrarlı gerçekleşen sınıflandırmalar da en yüksek %92,5 en düşük %80 olarak sınıflandırma doğruluğu başarısı elde edildi. Ortalaması alınan en yüksek değerli sınıflandırıcının hata matrisi Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 7. Mayıs-Haziran hasat dönemi siyah çay verilerine uygulanan öznitelik gruplarına karşılık sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri

Uygulanan Öznitelik	Tekrarlama Sırası	k-EYK							DVM			Torbalama- Bağlı Ağaçlar
		n=1	n=3	n=5	n=7	Küçük	Ağırlıklı	Doğrusal	Karesel	Küçük		
Öz. 1	1	82,5	80	77,5	85	75	82,5	85	85	90	75	
	2	77,5	80	82,5	77,5	65	80	75	82,5	82,5	75	
	3	82,5	80	80	65	65	85	72,5	85	87,5	75	
	4	82,5	77,5	77,5	77,5	67,5	85	87,5	87,5	85	80	
	5	75	85	82,5	65	80	80	80	85	80	77,5	
	6	80	77,5	75	72,5	65	82,5	75,5	82,5	82,5	72,5	
	7	77,5	80	80	82,5	75	85	72,5	85	82,5	80	
	8	82,5	80	80	82,5	72,5	87,5	80	82,5	85	75	
	9	80	77,5	80	72,5	57,5	80	77,5	87,5	90	75	
	10	80	80	87,5	82,5	72,5	80	80	82,5	87,5	80	
Öz. 2	1	75	77,5	72,5	75	65	80	72,5	90	92,5	75	
	2	77,5	77,5	80	77,5	65	82,5	82,5	90	85	70	
	3	75	80	77,5	72,5	57,5	80	82,5	77,5	82,5	77,5	
	4	70	75	80	77,5	62,5	82,5	72,5	77,5	80	72,5	
	5	75	77,5	72,5	75	65	80	72,5	90	92,5	72,5	
	6	75	77,5	75	77,5	65	77,5	75	80	75	70	
	7	72,5	72,5	75	77,5	70	77,5	75	85	87,5	70	
	8	75	80	77,5	70	65	82,5	70	85	87,5	65	
	9	80	82,5	80	80	70	85	77,5	80	85	72,5	
	10	72,5	85	85	82,5	70	87,5	75	82,5	82,5	77,5	

Tablonun devamı:

Öz. 1	1	82,5	80	80	77,5	67,5	82,5	90	87,5	75
	2	75	75	80	72,5	60	82,5	87,5	82,5	65
	3	77,5	72,5	82,5	77,5	60	85	82,5	77,5	65
	4	77,5	80	75	70	60	80	90	90	67,5
	5	75	72,5	77,5	70	62,5	80	85	77,5	75
	6	72,5	75	77,5	72,5	62,5	82,5	87,5	82,5	67,5
	7	80	77,5	72,5	77,5	62,5	82,5	82,5	77,5	67,5
	8	80	82,5	77,5	70	62,5	82,5	85	85	65
	9	80	77,5	87,5	75	67,5	85	92,5	90	77,5
	10	72,5	75	75	72,5	62,5	77,5	80	80	62,5

Tablo 8. Özniteliklere uygulanan k-EYK, DVM ve torbalama-bağlı ağaçlar algoritmaları sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri

Öznitelik	En Yakın Komşu						Destek Vektör Makinesi			Topluluk Öğrenme
	k=1	k=3	k=5	k=7	Küçük	Ağırlıklı	Doğrusal	Karesel	Küçük	Torbalama -Bağlı Ağaçlar
Öz. 1	80	79,75	80,25	76,25	69,5	82,75	78,55	84,5	85,25	76,5
Öz. 2	74,75	78,5	77,5	76,5	65,5	81,5	75,5	83,75	85	72,25
Öz. 3	77,25	76,75	78,5	73,5	62,75	82	79,5	86,25	83	68,75

Tablo 9. En yüksek başarı sınıfı Karesel DVM'nin hata matrisi

<i>Karesel DVM</i>					
<i>Doğru Sınıf</i>	<i>1</i>	99	0	1	0
	<i>2</i>	0	70	17	13
	<i>3</i>	0	7	93	0
	<i>4</i>	0	7	5	88
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
		<i>Tahmin Edilen Sınıf</i>			

Tablo 9'a göre;

- Çayların doğru olarak sınıflandırılma oranları:
 - 1. sınıf etiketine sahip çaylar %99,
 - 2. sınıf etiketine sahip çaylar %70,
 - 3. sınıf etiketine sahip çaylar %93 ve
 - 4. sınıf etiketine sahip çaylar %88'dir.
- En az sınıflandırma başarısı 2. sınıf çayda olmakta ve bu sınıftaki çayların,
 - %17'si 3. sınıf çay ile
 - %13'ü 4. sınıf çay ile karıştırılmaktadır.

4.2. İkinci Veri Seti: Temmuz -Ağustos(3. Hasat) Dönemi Siyah Çaylar

İkinci veri seti, Temmuz-Ağustos yani 3. hasat dönemindeki 4 farklı kaliteye sahip siyah çaylarıdır. Bu verilere de 3 farklı öznitelik grubu ayrı ayrı uygulanış ve art arda 10 kez uygulanan sınıflandırma algoritmasından elde edilen sınıflandırma başarı yüzdeleri Tablo 10'da verilmiştir. 10 tekrarlı olarak gerçekleşen sınıflandırma aşaması sonuçları, sınıflandırma algoritmalarına göre ortalama değerleri alınarak Tablo 11'de verilmiştir. Tablo 10 ve 11 incelendiğinde en yüksek sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdesi Öz.3 olarak gruplandırdığımız öznitelige uygulanan Torbalama-Bağlı Ağaçlar algoritması ile % 89.25 olarak sağlandı. Tablo 9'a göre bu algoritma da tekrarlı gerçekleşen sınıflandırmalar da en yüksek %92,5 en düşük %80 olarak sınıflandırma doğruluğu başarısı elde edildi. Ortalama en yüksek değerli sınıflandırıcının hata matrisi Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 10. Temmuz-Ağustos hasat dönemi siyah çay verilerine uygulanan öznitelik gruplarına karşılık sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri

Uygulanan Öznitelik	Tekrarlama Sırası	k-EYK						DVM			Torbalama- Bağlı Ağaçlar	
		n=1	n=3	n=5	n=7	Küçük	Ağırlıklı	Doğrusal	Karesel	Küçük		
Öz. 1	1	92,5	75	72,5	67,5	62,5	82,5	85	82,5	92,5	75	
	2	77,5	72,5	77,5	67,5	65	70	82,5	75	75	77,5	
	3	85	77,5	72,5	67,5	62,5	75	82,5	77,5	80	72,5	
	4	80	77,5	75	70	72,5	70	87,5	77,5	80	75	
	5	87,5	75	77,5	75	62,5	82,5	82,5	87,5	90	77,5	
	6	87,5	82,5	77,5	75	67,5	75	85	77,5	80	77,5	
	7	80	75	62,5	72,5	65	77,5	77,5	75	75	85	
	8	85	77,5	67,5	65	62,5	75	80	72,5	80	75	
	9	77,5	75	75	72,5	67,5	72,5	80	72,5	77,5	75	
	10	82,5	77,5	70	70	67,5	82,5	85	72,5	77,5	75	
Öz. 2	1	90	77,5	77,5	70	75	85	90	80	85	82,5	
	2	90	77,5	70	67,5	67,5	75	80	75	85	72,5	
	3	87,5	72,5	75	65	67,5	72,5	85	82,5	92,5	85	
	4	87,5	75	70	67,5	72,5	77,5	87,5	80	82,5	72,5	
	5	85	72,5	70	75	65	75	80	77,5	80	77,5	
	6	87,5	80	75	75	60	85	85	85	90	77,5	
	7	87,5	77,5	75	67,5	70	82,5	82,5	80	82,5	70	
	8	87,5	77,5	67,5	80	70	82,5	85	77,5	82,5	75	
	9	85	80	70	67,5	72,5	80	85	75	85	77,5	
	10	87,5	80	67,5	72,5	62,5	75	85	77,5	85	80	

Tablonun devamı:

Öz. 2	1	90	82,5	85	85	77,5	90	87,5	82,5	87,5	80
	2	80	85	87,5	80	77,5	82,5	87,5	85	85	92,5
	3	85	87,5	87,5	77,5	72,5	85	87,5	82,5	87,5	85
	4	85	90	90	82,5	77,5	82,5	90	87,5	87,5	92,5
	5	90	85	85	77,5	75	87,5	87,5	87,5	92,5	92,5
	6	90	90	87,5	82,5	77,5	82,5	90	87,5	90	92,5
	7	87,5	90	90	82,5	75	82,5	90	85	87,5	92,5
	8	90	85	87,5	80	82,5	85	87,5	85	87,5	87,5
	9	90	90	85	82,5	75	82,5	90	90	87,5	85
	10	87,5	87,5	87,5	87,5	82,5	87,5	90	87,5	90	92,5

Tablo 11. Özniteliklere uygulanan k-EYK, DVM ve torbalama-bağlı ağaçlar algoritmaları sınıflandırmaya doğruluğu başarı yüzdeleri

Öznitelik	En Yakın Komşu						Destek Vektör Makinesi			Topluluk Öğrenme Torbalama -Bağlı Ağaçlar
	k=1	k=3	k=5	k=7	Küçük	Ağırlıklı	Doğrusal	Karesel	Küçük	
Öz. 1	83,5	76,5	72,75	70,25	65,5	76,25	82,75	77	80,75	76,5
Öz. 2	87,5	77	71,75	70,75	68,25	79	84,5	79	85	77
Öz. 3	87,5	87,25	87,25	81,75	77,25	84,75	88,75	86	88,25	89,25

Tablo 12. En yüksek başarı sınıfı Torbalama-Bağlı Ağaçlar hata matrisi

<i>Torbalama-Bağlı Ağaçlar</i>					
<i>Doğru Sınıf</i>	5	81	7	0	12
	6	6	82	6	6
	7	0	0	97	3
	8	1	0	2	97
		5	6	7	8
		<i>Tahmin Edilen Sınıf</i>			

Tablo 12'ye göre;

- Çayların doğru olarak sınıflandırılma oranları:
 - 5. sınıf etiketine sahip çaylar %81,
 - 6. sınıf etiketine sahip çaylar %82,
 - 7. sınıf etiketine sahip çaylar %97 ve
 - 8. sınıf etiketine sahip çaylar %97'dir.
- En az sınıflandırma başarısı 5. sınıf çayda olmakta ve bu sınıftaki çayların,
 - %7'si 6. sınıf çay ile
 - %12'si 8. sınıf çay ile karıştırılmaktadır.

4.3. Üçüncü Veri Seti: Mayıs-Haziran ve Temmuz -Ağustos(1. ve 3. Hasat) Dönemi Siyah Çaylar

Üçüncü veri seti 1. ve 3. hasat dönemindeki 4 farklı kaliteye sahip siyah çaylarıdır. Bu verilere de 3 farklı öznitelik grubu ayrı ayrı uygulandı ve 5 tekrar sonucunda elde edilen sınıflandırma başarı yüzdeleri Tablo 13'te verilmiştir. Sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdelerinin ortalama değerleri alınarak Tablo 14 ve Tablo 15'te verilmiştir. Tablo 13,14 ve 15 incelendiğinde en yüksek sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdesi Öz.3 özniteliğine uygulanan Doğrusal DVM algoritması ile % 80.28 olarak sağlandı. Tablo 12'ye göre bu algoritma da tekrarlı gerçekleşen sınıflandırmalar da en yüksek %83,5 en düşük %77,5 olarak sınıflandırma doğruluğu başarısı elde edildi. Ortalama en yüksek değerli sınıflandırıcının hata matrisi Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 13. Mayıs-Haziran ve Temmuz-Ağustos hasat dönemi siyah çay verilerine uygulanan öznitelik gruplarına karşılık sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri

Uygulanan Öznitelik	Tekrarlama Sırası	k-EYK							DVM			Torbalama- Bağlı Ağaçlar
		n=1	n=3	n=5	n=7	Küçük	Ağırlıklı	Doğrusal	Karesel	Küçük		
Öz. 1	1	81,3	70	68,8	71,3	63,7	77,5	77,5	75	76,3	71,3	
	2	76,3	66,3	66,3	67,5	58,8	67,5	72,5	75	78,8	63,7	
	3	75	70	71,3	65	57,5	68,8	73,8	71,3	75	68,8	
	4	76,3	67,5	63,7	62,5	58,8	72,5	73,8	75	77,5	66,3	
	5	77,5	66,3	62,5	62,5	58,8	71,3	78,8	71,3	71,3	70	
Öz. 2	1	72,5	66,3	66,3	57,5	60	68,8	75	77,5	80	73,8	
	2	75	67,5	72,5	67,5	60	75	77,5	78,8	76,3	73,8	
	3	73,8	71,3	72,5	60	63,7	73,8	80	75	75	75	
	4	76,3	71,3	70	68,8	62,5	76,3	76,3	73,8	76,3	70	
	5	75	65	67,5	66,3	55	72,5	78,8	76,3	75	68,8	
Öz. 3	1	72,5	70	66,3	66,3	62,5	75	77,5	77,5	80	77,5	
	2	76,3	73,8	75	67,5	58,8	75	78,8	77,5	77,5	76,3	
	3	80	77,5	78,8	72,5	61,3	78,8	82,5	81,3	83,8	77,5	
	4	78,8	73,8	70	70	66,3	76,3	83,8	78,8	80	76,3	
	5	78,8	72,5	77,5	70	67,5	76,3	78,8	77,5	78,8	72,5	
	10	72,5	70	66,3	66,3	62,5	75	77,5	77,5	80	77,5	

Tablo 14. Özniteliklere uygulanan k-EYK, algoritmaları sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri

Öznitelik	En Yakın Komşu					
	<i>k=1</i>	<i>k=3</i>	<i>k=5</i>	<i>k=7</i>	Kübik	Ağırlıklı
Öz. 1	77,28	68,02	66,52	65,76	59,52	71,52
Öz. 2	74,52	68,28	69,76	64,02	60,24	73,28
Öz. 3	77,28	73,52	73,52	69,26	63,28	76,28

Tablo 15. Özniteliklere uygulanan DVM ve Torbalama-Bağlı ağaçlar algoritmaları sınıflandırma doğruluğu başarı yüzdeleri

Öznitelik	Destek Vektör Makinesi			Topluluk Öğrenme
	Doğrusal	Karesel	Kübik	Torbalama -Bağlı Ağaçlar
Öz. 1	75,28	73,52	75,78	68,02
Öz. 2	77,52	76,28	76,52	72,28
Öz. 3	80,28	78,52	80,02	76,02

Tablo 16. En yüksek başarı sınıfı Doğrusal DVM'nin hata matrisi

Doğrusal DVM									
Doğru Sınıf	1	92	0	8	0	0	0	0	0
	2	0	46	16	6	12	14	6	0
	3	0	8	58	24	8	2	0	0
	4	0	2	6	74	8	10	0	0
	5	4	0	2	4	80	10	0	0
	6	0	0	0	0	0	92	8	0
	7	0	0	0	0	0	6	86	8
	8	0	0	0	0	0	0	0	100
		1	2	3	4	5	6	7	8
Tahmin Edilen Sınıf									

Tablo 16'ya göre;

- Çayların doğru olarak sınıflandırılma oranları:
 - 1. sınıf etiketine sahip çaylar %92;
 - 2. sınıf etiketine sahip çaylar %46;
 - 3. sınıf etiketine sahip çaylar %58,
 - 4. sınıf etiketine sahip çaylar %74;
 - 5. sınıf etiketine sahip çaylar %80,
 - 6. sınıf etiketine sahip çaylar %92,
 - 7. sınıf etiketine sahip çaylar %86 ve
 - 8. sınıf etiketine sahip çaylar %100'dür.
- En az sınıflandırma başarısı 2. sınıf çayda olmakta ve bu sınıftaki çayların,
 - %16'sı 3. sınıf çay ile
 - %6'sı 4. sınıf çay ile
 - %12'si 5. sınıf çay ile
 - %14'ü ise 6. sınıf çay ile
 - %6'sı ise 7. sınıf çay ile karıştırılmaktadır.
- Bu tablo yardımı ile 1.hasat ve 3. hasat da aynı kalite olarak adlandırılan çaylarında birbiri ile karışma oranları görülebilir, yani:
 - 1. hasat 1. kalite(1. sınıf) ile 2. hasat 1. kalite(5. sınıf) çayları birbiri ile %0;
 - 1. hasat 2. kalite(2. sınıf) ile 2. hasat 2. kalite(6. sınıf) çayları birbiri ile %14;
 - 1. hasat 3. kalite(3. sınıf) ile 2. hasat 3. kalite(7. sınıf) çayları birbiri ile %0;
 - 1. hasat 4. kalite(4. sınıf) ile 2. hasat 4. kalite(8. sınıf) çayları birbiri ile %0 oranında karışmaktadır.

5. DEĞERLENDİRME

Yapılan bu çalışma ile aynı ve ayrı hasat döneminde farklı kalitelere sahip siyah çayların e-burun ile sınıflandırılabilceğı belirlenmiştir.

Sonuç olarak; ilk veri seti için Tablo 8 incelendiğinde k-en yakın komşu algoritmasında en yüksek başarı, Öz.1'e uygulanan ağırlıklı en yakın komşu ile %82,75, destek vektör makinası algoritmasında en yüksek başarı, Öz.3'e uygulanan karesel DVM ile %86.25 ve topluluk öğrenme algoritmasında en yüksek başarı algoritmanın Öz.1'e uygulanmasıyla %76.5 olarak elde edilmiştir. İkinci veri seti için Tablo 11 incelendiğinde k-en yakın komşu algoritmasında en yüksek başarı, Öz.2 ve Öz.3'e uygulanan 1 en yakın komşu ile %87.5, destek vektör makinası algoritmasında en yüksek başarı, Öz.3'e uygulanan doğrusal DVM ile %88.75 ve topluluk öğrenme algoritmasında en yüksek başarı algoritmanın Öz.3'e uygulanmasıyla %89.25 olarak elde edilmiştir. Birince ve ikinci veri setleri bize aynı hasat dönemindeki siyah çayların sınıflandırma doğruluğı hakkında bilgi verirken üçüncü veri seti, 1. ve 3. hasat dönemi verilerinin birleştirilmesi olduğundan aynı hasat dönemindeki siyah çayların sınıflandırılması doğruluğı hakkında bilgi vermektedir. Üçüncü veri seti için Tablo 14 ve 15 incelendiğinde ise k-en yakın komşu algoritmasında en yüksek başarı, Öz.1 ve Öz.3'e uygulanan 1 en yakın komşu ile %77.28, destek vektör makinası algoritmasında en yüksek başarı, Öz.3'e uygulanan doğrusal DVM ile %80,28 ve topluluk öğrenme algoritmasında en yüksek başarı Öz.3'e uygulanmasıyla %76.02 olarak elde edilmiştir. Verilere farklı öznitelik grupları ve sınıflandırma algoritmalarının uygulanması ile elde edilen çeşitli sonuçlar, sınıflandırma doğruluğı başarısında öznitelik çıkarımı ve doğru sınıflandırma algoritmasının seçinin ne kadar önemli olduğunu da göstermiştir.

Aynı fabrika çıkışlı bu siyah çayların kalite sınıflandırmalarının başarı oranlarının yüksek şekilde e-burun devresi aracılığı ile bu çalışmada gerçekleşmesi; paketlenme öncesi çay tadımcıları olarak adlandırılan uzman kişiler tarafından yapılan öznel sınıflandırmanın önüne geçerek objektifliğin sağlanabileceğinin en büyük göstergesidir.

6. KAYNAKLAR

1. Saraoğlu, H.M., Elektronik Burun Teknolojisi ve Uygulama Alanları, Akademik Bilişim Konferansı, 30 Ocak-1 Şubat 2008, Çanakkale.
2. Saha P., Ghorai S., Tudu B., Bandyopadhyay R. and Bhattacharyya N., Multi-Class Support Vector Machine For Quality Estimation Of Black Tea Using Electronic Nose, Sixth International Conference On Sensing Technology (ICST), 2012, Kolkata, India, 571-576.
3. Strateji Geliştirme Başkanlığı(TEPGE), Tarım Ürünleri Piyasaları: Çay, Haziran 2021.
4. <https://www.caykur.gov.tr/Pages/Yayinlar/YayinDetay.aspx?ItemType=1&ItemId=701>, Çaykur 2019 Yılı Çay Sektörü İstatistik Bülteni Raporu, 11 Nisan 2022.
5. Dutta, R., Hines, E.L., Gardner, J.W., Kashwan, K.R. and M. Bhuyan, Determination of Tea Quality by Using A Neural Network Based Elektronik Nose, IEEE Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2003, Portland, 404-409.
6. Bhattacharyya, N., Tudu, B., Bandyopadhyay, R., Bhuyan, M. and Mudi, R., Aroma Characterization of Orthodox Black Tea With Electronic Nose, IEEE Region 10 Conference (TENCON), 2004, Chiang Mai, 427-430.
7. Tudu, B., Das, B., Bhattacharyya, N., Jana, A., Ghosh, D. and Bandyopadhyay, R., Smell Peak Prediction During Black Tea Fermentation Process Using Time-Delay Neural Network on Electronic Nose Data, IEEE ICTA'07, 2007, Kolkata, India.
8. Bhattacharyya, N., Bandyopadhyay, R., Bhuyan, M., Tudu, B., Ghosh, D. and Jana, A., Electronic Nose for Black Tea Classification and Correlation of Measurements With "Tea Taster" Marks, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 57,7(2008), 1313-1321.
9. Tudu, B., Kow, B., Bhattacharyya, N. and Bandyopadhyay, R., Comparison of Multivariate Normalization Techniques As Applied to Electronic Nose Based Pattern Classification For Black Tea, IEEE 3rd International Conference on Sensing Technology, Taipei, Taiwan, 2008.
10. Saha, P., Ghorai, S., Tudu, B., Bandyopadhyay, R. and Bhattacharyya, N., Multi-class Support Vector Machine For Quality Estimation of Black Tea Using Electronic Nose, Sixth International Conference on Sensing Technology (ICST), Kolkata, India, 2012.
11. Banerjee, R., Modak, A., Mondal, S., Tudu, B., Bandyopadhyay, R. and Bhattacharyya, N., Fusion Of Electronic Nose And Tongue Response Using Fuzzy Based Approach For Black Tea Classification, Procedia Technology, 10(2013) 615-622.

12. Banerjee, R., Chattopadhyay, P., Tudu, B., Bhattacharyya, N. and Bandyopadhyay, R., Artificial Flavor Perception Of Black Tea Using Fusion Of Electronic Nose And Tongue Response: A Bayesian Statistical Approach, Journal Of Food Engineering, 142(2014) 87-93.
13. Sharmilan, T., Premarathne, I., Wanniarachchi, I., Kumari, S. and Wanniarachchi, D., Electronic Nose Technologies in Monitoring Black Tea Manufacturing Process, Journal Of Sensors, 2020, 1-8.
14. Tozlu, B., Okumus, H.I., and Simsek, C., Online Quality Classifying With Electronic Nose For Black Tea Production, International Journal of Academic Research, 6, 4(2014) 158-163.
15. Tozlu, B. and Okumus, H.I., A New Approach To Automation Of Black Tea Fermentation Process With Electronic Nose, Journal for Control, Electronic, Computing and Communications, 59, 3-4(2018) 373-381.
16. Kablan, Y., Elektronik Burun ile Farklı Kalitedeki Doğu Karadeniz Çaylarının Sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2018.
17. Özdemir F., Siyah Çayda Uçucu Aroma Bileşikleri Ve Önemi, Ak. Üni. Zir. Fak. Dergisi, 8,1(1995) 230-237.
18. Horuz A. ve Korkmaz A., Farklı Sürgün Dönemlerinde Hasat Edilen Çayın Verimi, Azot İçeriği Ve Mineral Madde Kompozisyonu, OMÜ Zir. Fak. Dergisi, 21,1(2016) 49-54.
19. Caffin, N., D'Arcy, B., Yao, L. And Rintoul, G., Developing An Index Of Quality For Australian Tea, RIRDC Publication No. 04/033, Project No. UQ-88A, Publication Of Rural Industries Research And Development Corporation, 192, Australia, 2004.
20. Ravichandran, R., The Impact Of Pruning And Time From Pruning On Quality And Aroma Constituents Of Black Tea, Food Chemistry, 84, 1(2004) 7-11.
21. Mehra, A. and Baker, C.L., Leaching And Bioavailability Of Aluminium, Copper And Manganese From Tea (*Camellia Sinensis*), Food Chemistry, 100, 4(2007) 1456-1463.
22. Vyas, D., Kumar, S., Tea (*Camellia Sinensis* (L.) O. Kuntze) Clone With Lower Period Of Winter Dormancy Exhibits Lesser Cellular Damage In Response To Low Temperature, Plant Physiology And Biochemistry, 43, 4(2005) 383-388.
23. Indiko Beller, H., Chris, H. ve Öztamur, P., 1. Baskı, İletişim Yayınları, İstanbul, 2003.
24. <https://www.rtb.org.tr/Tr/Cay-Sektoru-Raporlari>, Rize Ticaret Borsası, 2022 Türk Çay Sektörü Güncel Durum Raporu, 11 Nisan 2022.

25. Taşkın, E. ve Kayhan, H., Türkiye’de Üretilen Farklı Çay Çeşitlerinin Polifenol ve Kafein İçeriklerinin İncelenmesi, Yarı Okside Çay(Oolog) Prosesinin Geliştirilmesi, Gıda Mühendisliği Dergisi, 45, 25(2021) 34-37.
26. Harler, O.P., Tea Manufacture, Oxford University Press, 126p, New York, 1968.
27. Perrier, A., Book Of Tea: The New Tea Companion, Octopus Publishing Group Ltd., London, 2004.
28. Tan, J., Engelhardt, U.H., Lin, Z., Kaiser, N. and Maiwald, B., Flavonoids, Phenolic Acids, Alkaloids And Theanine In Different Types Of Authentic Chinese White Tea Samples, *Journal Of Food Composition And Analysis*, 57 (2017), 8-15.
29. Türk Gıda Kodeksi, Çay Tebliği, (Tebliğ No: 2015/30).
30. Fisunoğlu, M., ve Besler, H.T.,). Çay ve Sağlık İlişkisi, Sağlık Bakanlığı Yayını 727, Ankara, Şubat 2008.
31. TS 3225, Yaş Çay Yaprağı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2008.
32. Özdemir, F., Nadem, H.Ş., Akdoğan, A., Dinçer, C. ve Topuz, A., Effect of Altitude, Shooting Period, and Tea Grade on the Catechins, Caffeine, Theaflavin, And Thearubigin of Turkish Black Tea, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 42, 5(2018), 334-340.
33. <http://www.ofcay.com.tr/uretim-asamalari.aspx>, Ofçay, 17 Nisan 2022.
34. <https://mevlanacay.com.tr/5-adimda-siyah-cay-uretimi/>, Mevlana Çay, 17 Nisan 2022.
35. <https://www.akincay.com/sayfa/siyah-cay-uretimi>, Akın Çay, 17 Nisan 2022.
36. <https://www.rtb.org.tr/tr/rize-cayi>, Rize Ticaret Borsası, 17 Nisan 2022.
37. Öksüz, M. Ve Nas, S., Siyah Çayda Kalite, Çay-Kur-Çay Enstitüsü Dergisi, 3, Mayıs-Haziran 1987.
38. <https://www.caykur.gov.tr/Arge/Pages/KYS/AnalizListesi.aspx?ParentId=56&ItemId2=562&ItemType=Detail>, Atatürk Çay ve Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 2022 Analiz Listesi, 19 Nisan 2022
39. <http://biriz.biz/cay/cayanaliz.htm#st11>, Siyah Çay Analizleri, 19 Nisan 2022.
40. Kacar, B., Yapraktan Bardağa Çay, Ziraat Bankası Kùltür Yayınları, Ankara, 1992.
41. Gürses, Ö., Çay Degütasyon Yöntemi, AÜZF Yayınları, Ankara, 1978.
42. Bishop, C. M., Pattern Recognition and Machine Learning, 1st. Ed., Springer, İndia, Singapore, 738, 2006.

43. Pearce, T. C., Schiffman, S. S., Nagle, H. T. and Gardner, J. W., Handbook of Machine Olfaction: Electronic Nose Technology, 624, 2006.
44. Gemalmaz, "Elektronik Burun ve Su Ürünlerinde Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İzmir, 2012.
45. Harper, W. J., 2001, Strengths and Weakness of the Electronic Nose, Advances in Experimental Medicine and Biology, 488:59-71.
46. Morrison P., 1997, "The Silicon Gourmet", Scientific American Magazine, April 1997.
47. Öztürk Z. Z., "Yeni Bir Bilim Dalı: Koku Ölçümü", Gyte E-bülten Sayı 9, Haziran 2005.
48. Kazdal E., Atasoy A. ve Özsandıkçioğlu Ü., E-Burun Kullanılarak Farklı Hasat Dönemindeki Farklı Kalitelere Sahip Siyah Çayların Sınıflandırılması, ISENS-21, Batman, 25-28 Kasım 2021.
49. Güney S., Karma Yapılı İkili Karar Ağacı Tabanlı Koku Tanıma Sistemi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2013.
50. Beyhan, S. ve Çetin, M., Elektronik Burun Tasarımı ve Literatür Araştırması, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi 2019 Ulusal Toplantısı, Muğla, Eylül 2019.
51. Wang, C., Yin, L., Zhang, L., Xiang, D. and Gao, R., Metal Oxide Gas Sensors: Sensitivity and Influencing Factors, Sensors, Sayı: 10, 2088-2106, Mart 2010.
52. Şendoğdular, S.T., Aktaş, B., Bozdoğan, B. ve Şendoğdular, L., Oda Sıcaklığında Çalışan Gaz Sensörleri İçin Nanoyapılı Malzemeler, 1. Baskı, 108, İksad Yayınevi, Ankara, Mart 2020.
53. Kanan, S.M., El-Kadri, O.M., Abu-Yousef, I.A. and Kanan, M.C., Semiconducting Metal Oxide Based Sensors for Selective Gas Pollutant Detection, Sensors, Sayı: 9, 8158-8196, Eylül 2009.
54. Özülerigiden, S., Yarı İletken Oksit Filmlerin Gaz Sensörleri Üzerine Uygulaması ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2012.
55. Dey, A., Semiconductor metal oxide gas sensors: A review, Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology, C. 229, 206–217. Elsevier Ltd., 2018.
56. Yalçın N., Gaz Sensörleri ile Ölçüm Sistemleri için Ortam Modelleme ve Simülasyon Geliştirilmesi, Doktora, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2017.
57. Özsandıkçioğlu, Ü., Farklı Kokuların Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Yöntemleriyle Sınıflandırılması, Yüksek Lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2016.

58. Harrington P., Machine Learning in Action, Manning Publications, New York, USA, 2012.
59. Alpaydın E., Yapay Öğrenme, 3. Baskı, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 2017.
60. Karasulu, B., Esnek Hesaplama - Melez Zeki Sistemler İçin Bir Rehber, 1. Baskı, 420, Nobel Akademik Yayıncılık, İstanbul, Eylül 2015.
61. Alpaydin, E., Introduction to Machine Learning, Second Edition, 579, The MIT Press, London, England, 2010.
62. Yavuz, E., Beyin Bilgisayar Arayüzü İşaretlerinin Farklı Zaman Dilimlerinden Çıkarılmış Özniteliklerle Sınıflandırma Doğruluğunun Arttırılması, Yüksek Lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Haziran 2017.
63. Cover, T.M. and Hart, P.E., Nearest Neighbor Pattern Classification, IEEE Transactions on Information Theory, 1967, Sayı: 13-1, 21-27, 1967.
64. Dolgun, M. Ö., Özdemir, T. ve Oğuz, D. , Veri Madenciliği'nde Yapısal Olmayan Verinin Analizi: Metin ve Web Madenciliği, İstatistikçiler Dergisi, Sayı: 2, 48-58, 2009.
65. Kalaycı, T.E., Kimlik Hırsız Web Sitelerinin Sınıflandırılması için Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Pamukkale Univ. Müh. Bilim Dergisi, Sayı:24, 870-878, 2018.
66. Rumelhart. D.E., Hinton, G.E. and Williams, R.J., Learning Internal Representations by Back-Propagating Errors, Computer Science, Nature, 323, 533–536, Ocak 1986.
67. <https://medium.com/@rinu.gour123/8-unique-real-life-applications-of-svm-8a96ca43313>, Gour. R., Unique Real-Life Applications of SVM, 20 Nisan 2022.
68. Er, Y., Kalitelerine Göre İçeceklerin Farklı Algoritmalar ile Sınıflandırılması, Yüksek Lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2017.
69. Atasever H.Ü. ve Özkan, C., Arazi Örüntüsünün Belirlenmesinde Torbalama-Karar Ağaçları Yönteminin Kullanımı, IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu(UZAL-CBS), 2012.
70. Alpaydın, E., Zeki Veri Madenciliği: Ham Veriden Altın Bilgiye Ulaşma Yöntemleri, Bilişim 2000 Veri Madenciliği Eğitim Semineri, 2000.
71. Daş, B. ve Türkoğlu, İ., DNA Diziliminin Sınıflandırılmasında Karar Ağacı Algoritmalarının Karşılaştırılması, ELECO Elektrik-Elektronik Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 2014.
72. Safavian, S., R. and Landgrebe. D., A Survey Of Decision Tree Classifier Methodology, IEEE Transactions On Systems Man And Cybernetics, 21, 660-67, May 1991.

73. Breiman, L., 1996, Bagging predictors, Machine Learning, 24 123–140.
74. <https://www.veribilimiokulu.com/agaca-dayali-yontemlerde-bagging-ve-boosting-arasinda-ne-fark-var/>, Bagging ve Boosting Arasındaki Fark, 24 Mayıs 2022.
75. <https://www.figarosensor.com/>, TGS Sensörleri Bilgi Katalog
76. <https://www.alldatasheet.com/>, TGS Sensörleri Bilgi Katalog



ÖZGEÇMİŞ

Elif KAZDAL, İlköğretim ve ortaöğretimini Rize’de tamamlamış olup, 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı sene Elektronik Mühendisliğinde yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek Lisans ders eğitimini tamamladıktan sonra raylı sistemler üzerinde çalışmaya başladı. 2021 yılından beri Türkiye’deki hızlı trenlerin bakımından sorumlu TMS Tren Bakım Onarım A.Ş. firmasında Kalite Uzmanı olarak çalışmaktadır.

