

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTRONİK BURUNLA ÇAY FERMANTASYONU DENETİMİ

DOKTORA TEZİ

Elektrik Yük. Müh. Bilge Han TOZLU

TEMMUZ 2014

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTRONİK BURUNLA ÇAY FERMANTASYONU DENETİMİ

Elektrik Yük. Müh. Bilge Han TOZLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“DOKTOR (ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.07.2014
Tezin Savunma Tarihi : 24.07.2014

Tez Danışmanı: Doç. Dr. H. İbrahim OKUMUŞ

Trabzon 2014


Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Bilgehan TOZLU Tarafından Hazırlanan

ELEKTRONİK BURUNLA ÇAY FERMANTASYONU DENETİMİ

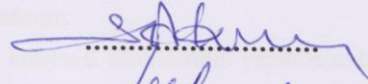
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 08/07/2014 gün ve 1561 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Sefa AKPINAR


.....

Üye : Prof. Dr. Saadettin AKSOY


.....

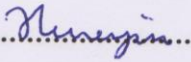
Üye : Doç. Dr. H. İbrahim OKUMUŞ


.....

Üye : Doç. Dr. Ayten ATASOY


.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin PEHLİVAN


.....

Prof. Dr. Saadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında elektronik burunla çay fabrikasında fermantasyon bandı üzerindeki çayın kokusu alınarak, çayın kalitesi tespit edilmeye çalışılmış ve bu tespite göre fabrikanın fermantasyon denetimi yapılmıştır.

Disiplinler arası bu çalışmanın konusunu belirleyen, çalışmaya başladığım ilk günden bugüne kadar mesai kavramı tanımadan, gece gündüz demeden benimle ilgilenen, bilgi, tecrübe ve emeğini esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. H. İbrahim OKUMUŞ'a, çalışmam süresince yaptığı tüm katkılarından ötürü çok teşekkürlerimi saygı ve minnetle sunarım.

Çalışmama katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. A. Sefa AKPINAR'a, Yrd. Doç. Dr. Hüseyin PEHLİVAN'a, Yrd. Doç. Dr. Selda GÜNEY'e, Doç. Dr. Ayten ATASOY'a, Yrd. Doç. Dr. Önder AYDEMİR'e, Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZTÜRK'e, Öğr. Gör. Dr. Hakan KAHVECİ ve Arş. Gör. Mehmet EKİCİ'ye teşekkür ederim.

Doktora sürecinde gerek elektronik burunun hazırlanması, gerek fabrikadaki çalışmalarda olsun, çalışma boyunca benimle gecesini gündüzüne katan, bilgisini, tecrübesini ve vaktini paylaşan değerli arkadaşım Arş. Gör. Cemaleddin ŞİMŞEK'e çok müteşekkirim.

Çalışma ortamını temin eden ve orada bütün imkânları sağlayan başta Resul OKUMUŞ, Ahmet OKUMUŞ, Yahya Kemal SARI ve Fatma OKUMUŞ olmak üzere bütün Okumuş Çay Sanayi yönetici ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalıştığımız çayların kalitelerini belirlemek için kimyasal analizlerinin yapılmasında yardımcı olan Zuhal KALCI ve Osman KALCI'ya ve bu çalışmayı mali yönden destekleyen KTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine de teşekkür ederim.

Eğitim ve öğretim hayatım boyunca beni yönlendiren ve destekleyen anneme, babama, kardeşlerime ve doktora çalışmalarım süresince hoşgörüyü eksik etmeyen eşime minnettaram.

Çalışmalarımnda emeği geçen herkese teşekkür eder, bu tezin bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Bilge Han TOZLU

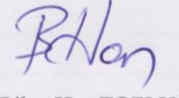
Çorum 2014

TEZ BEYANNAMESİ

ÖN SÖZ iii

Doktora Tezi olarak sunduğum “Elektronik Burunla Çay Fabrikası Otomasyonu” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, 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. 04.07.2014 xiv

1 GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler	1
1.1.1 Çay	1
1.1.2 Çay Türleri	3
1.1.3 Siyah Çay Üretim Aşamaları	5
1.1.4 Siyah Çay Kalite Analizleri	10
1.1.5 Çay Tadını (Değerlendirme)	10
1.1.6 Kinyonin Analizi (TP/TR Analizi)	12
1.1.7 Elektronik Burun	14
1.1.8 Akıllı Burun	20
1.1.9 Elektronik Burun	22
1.1.10 Yarılm Burun	23
1.1.11 Sınıflandırma	23
1.1.12 İleri Ölçümler	24
1.1.13 Ozonitlik Çözümü	24
1.1.14 Sınıflandırma Algoritmaları	26
1.2 Çalışmanın Amacı ve Literatür Katkıları	30
1.3 Tez Çalışmasının Kapsamı	31
2 YAPILAN ÇALIŞMALAR	32
2.1 Giriş	32
2.2 E-Burun Detayları	33
2.3 E-Burun Koku Alma Düzeneği	34
2.4 Fabrika Kayıtları ve Çayların Kalite Analizleri	42
2.5 Kayıtların Değerlendirilmesi	47


Bilge Han TOZLU

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIV
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.1.1. Çay	1
1.1.2. Çay Türleri.....	3
1.1.3. Siyah Çay Üretim Aşamaları.....	5
1.1.4. Siyah Çay Kalite Analizleri.....	10
1.1.5. Çay Tadımı (Degüstasyon).....	10
1.1.6. Kimyasal Analiz (TF/TR Analizi).....	12
1.1.7. Elektronik Burun	14
1.1.8. Algılayıcı Birim.....	20
1.1.9. Elektronik Birim.....	22
1.1.10. Yazılım Birimi.....	23
1.1.11. Sınıflandırma	23
1.1.12. İşaret Önileme	24
1.1.13. Öznitelik Çıkartma	24
1.1.14. Sınıflandırma Algoritmaları	26
1.2. Çalışmanın Amacı ve Literatüre Katkıları	30
1.3. Tez Çalışmasının Kapsamı	31
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	32
2.1. Giriş	32
2.2. E-Burun Donanımı	33
2.3. E-Burun Koku Alma Düzenegi	39
2.4. Fabrika Kayıtları ve Çayların Kalite Analizleri	42
2.5. Kayıtların Değerlendirilmesi	47

2.6.	Sınıflandırma Çalışması	65
3.	ÇAY FERMANTASYONU DENETİM OTOMASYONU	69
3.1.	Donanım ve Fermantasyon Sistemleri.....	69
3.2.	Benzetim Çalışmaları	75
4.	SONUÇLAR.....	86
5.	ÖNERİLER	90
6.	KAYNAKLAR.....	91

Doktora Tezi

ÖZET

ELEKTRONİK BURUNLA ÇAY FERMANTASYONU DENETİMİ

Bilge Han TOZLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç.Dr. H. İbrahim OKUMUŞ
2014, 100 sayfa

Siyah çay günümüzün en çok içilen içeceklerinden birisidir. Ortodoks siyah çayın üretimi; taze çay yapraklarının 7-8 saat soldurulmasından sonra 45 dakika kıvrırma işlemi ile parçalanması ve 2 saat 15 dakika kadar fermente edilmesiyle oluşan nemli siyah çayın kurutulması ile yapılmaktadır. Fermantasyon çayın kalitesinde en önemli aşama olarak kabul edilmektedir. Siyah çay kalitesi tespiti, üretimi tamamlanmış çaya çay tadımcıları tarafından duyuusal testlerle veya kimyasal analizle yapılmaktadır. Çay kalitesini elektronik olarak laboratuvar ortamında tespit edebilme üzerine çalışmalar yapılmış ve yüksek başarımlar alınabilmiştir. Bu çalışma ise laboratuvar ortamında değil gerçek fermantasyon bandı üzerinde gerçek zamanlı olarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında 13 farklı gaz algılayıcısı ile elektronik burunun donanım kısmı oluşturulmuş ve çay fabrikasının fermantasyon bandındaki çayların kokuları bilgisayara alınmıştır. Kokusu kaydedilen bu çayların hem çay tadımcısı hem de kimyasal analiz yöntemi ile kaliteleri belirlenerek, kalite sınıfları oluşturulmuştur. Doğrusal ayırma analizi (LDA), Bayes ve en yakın komşu (kNN-3, kNN-5, kNN-7 ve kNN-9) sınıflandırma yöntemleri kullanılarak kayıtlar sınıflandırılmışlardır. Fermantasyon esnasında çay kalite durumu görüntüleme sağlandıktan sonra, çay fabrikası üretim bandının geleneksel şekilde değil de, elektronik buruna göre otomasyona geçirilmesi sağlanmıştır. Bu sayede hem daha kaliteli çay üretilecek, hem daha fazla üretim yapılacak hem de kişiye bağımlı üretim değil tam bir otomasyon sağlanmış olacaktır. Yapılan otomasyon çalışması maliyetinden ötürü benzetim olarak hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektronik burun, çay kalitesi, çay fermantasyonu, sınıflandırma, Bayes, LDA, kNN, otomasyon.

PhD. Thesis

SUMMARY

CONTROL OF TEA FERMENTATION WITH ELECTRONIC NOSE

Bilge Han TOZLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. H. İbrahim OKUMUŞ
2014, 100 pages

Black tea is one of the most popular beverages all over the world. Production sequence of black tea begins with 45 minutes of curling process for disintegrating fresh tea leaves after 7-8 hours of being collected from land, continues with 135 minutes of fermentation and finishes with drying process. Fermentation is excepted as the most crucial step of over all process, either under-fermentation or over-fermentation leads to deterioration of finished tea quality. Quality test of finished tea made by both tea tasters and chemical analysis. Many researches have been performed for testing the quality of finished tea and classifying it electronically by taking tea samples to a laboratory environment which results with high classification performances. In addition to previous studies this study performed an online electronic measurement on fermentation bant of a tea production facility. In this study, an electronic nose which includes 13 different gases sensors, has been built and odors of tea's which is in the fermentation process, have been transfered to the computer. The qualities of these tea samples which odors saved, have been defined with both tea tasters marks and chemical analysis, and quality classes have been appointed. The records have been classified with Linear Discriminant Analysis (LDA), Bayes and *k*-Nearest Neighbor (*k*NN-3, *k*NN-5, *k*NN-7, *k*NN-9) methods. After that the tea quality monitoring has been provided during fermentation process, tea facility production unit has been automated with regard to electronic nose by contrast with traditionally. Thus, both tea will be produced with more quality and more, and a full automation will be provided in the tea facility rather than a production dependent on a human. With this study, tea would be produced with higher qualities and more quantities while classification process maintained without human error. Automation study is done in simulation environment due to it's cost.

Key Words: Electronic nose, tea quality, tea fermentation, classification, Bayes, LDA, *k*NN, automation.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çay Bitkisi (Camellia Sinensis)	2
Şekil 1.2. Çay Türleri	4
Şekil 1.3. Soldurma Bantları.....	5
Şekil 1.4. Kıvrırma Ünitesi	6
Şekil 1.5. Rotervan Ünitesi.....	7
Şekil 1.6. Fermantasyon Bandı.....	8
Şekil 1.7. Fırın	9
Şekil 1.8. Tasnif ve Ambalajlama	10
Şekil 1.9. Çay Tadımı	12
Şekil 1.10. Alpha MOS Heracles E-Burunun Fotoğrafi	14
Şekil 1.11. E-Burun ve İnsan Burnunun Sistem Blokları.....	15
Şekil 1.12. Nabarun Bhattacharyya'nın e-burunu için kullandığı arayüz	17
Şekil 1.13. Santi Sarkar Chowdhury ve arkadaşlarının yaptığı taşınabilir e-burun	18
Şekil 1.14. Bipan Tudu ve arkadaşlarının yaptığı e-burun	19
Şekil 1.15. Figaro Gaz Algılayıcıları.....	21
Şekil 1.16. TGS-2620 gaz algılayıcısı devre bağlantı şeması	22
Şekil 1.17. Sınıflandırma Yönteminin Genel Akış Diyagramı.....	23
Şekil 1.18. Pozitif ve negatif skewness asimetriklikleri.....	25
Şekil 1.19. Pozitif ve negatif kurtosis eğrileri	25
Şekil 1.20. Doğrusal ayırma analizi sınıflandırması.....	27
Şekil 1.21. kNN Sınıflandırma yapısı.....	29
Şekil 1.22. kNN Sınıflandırmasının akış diyagramı	29
Şekil 2.1. Çay fabrikalarındaki mevcut üretim genel akış şeması.....	32
Şekil 2.2. TGS-21xx, TGS-26xx gaz algılayıcılarının çalıştırıldığı elektrik devre şeması	35
Şekil 2.3. TGS-8xx gaz algılayıcılarının çalıştırıldığı elektrik devre şeması	35
Şekil 2.4. TGS-2201 gaz algılayıcısının çalıştırıldığı elektrik devre şeması.....	36
Şekil 2.5. TGS-5042 gaz algılayıcısının çalıştırıldığı elektrik devre şeması.....	36
Şekil 2.6. Algılayıcı Bloğu Fotoğrafi	37
Şekil 2.7. Koku odası ve selenoid vanaların fotoğrafı.....	38
Şekil 2.8. NI USB-6008 ve NI USB-6009 DAQ kartlarının fotoğrafı	39
Şekil 2.9. E-burun koku alma düzeneği.....	39

Şekil 2.10. E-burunun DAQ kartlar üzerinden bilgisayar ile bağlantısının fotoğrafı.....	40
Şekil 2.11. E-burun koku alma düzeneği sürücü devresi fotoğrafı	42
Şekil 2.12. E-burunun fermantasyon bandından koku alma düzeneğinin fotoğrafı	43
Şekil 2.13. Kullanılan e-burun düzeneğinin fotoğrafı	43
Şekil 2.14. Bilgisayara çay kokusu kaydı yapılırken çekilen bir fotoğraf.....	44
Şekil 2.15. 64 çay örneği için çay tadımcısı ve TF/TR analizi puanları grafiği.....	46
Şekil 2.16. TGS-2602'nin bir koklama döngüsü için V_L yük gerilimi grafiği.....	48
Şekil 2.17. TGS-2602'nin bir koklama döngüsü için algılayıcının σS iletkenlik grafiği	48
Şekil 2.18. Bir koklama döngüsü için 13 gaz algılayıcısının 14 çıkış gerilimi	49
Şekil 2.19. İletkenlik değişimi anlamlı olan algılayıcıların gerilim grafiği.....	50
Şekil 2.20. İletkenlik değişimi değerlendirilebilecek olan algılayıcıların gerilim grafiği	51
Şekil 2.21. İletkenlik değişimi anlamsız olan algılayıcıların gerilim grafiği	51
Şekil 2.22. Çay koklama döngüsünde 13 adet gaz algılayıcısının 3001 tane değerinin varyansı öznitelik olarak alındığında elde edilen radar grafiği	52
Şekil 2.23. Farklı çay fermantasyonlarındaki koklama döngülerinde 13 adet gaz algılayıcısının 3001 tane değerinin toplamalarının radar grafiği	53
Şekil 2.24. Farklı TF/TR değerlerine sahip farklı kalitede çayların koklama döngülerinde 13 adet gaz algılayıcısının ham işaretleri için, herbir algılayıcının 3001 örneğinin ortalamalarının radar grafiği	54
Şekil 2.25. Farklı fermantasyon sürelerine sahip çayların koklama döngülerinde 13 adet gaz algılayıcısının ham işaretlerinin 3001 örneğinin svd özniteliğinin radar grafiği.....	55
Şekil 2.26. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2602 gaz algılayıcısının gerilim grafiği.....	56
Şekil 2.27. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-826 gaz algılayıcısının gerilim grafiği.....	57
Şekil 2.28. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2620 gaz algılayıcısının gerilim grafiği.....	57
Şekil 2.29. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2104 gaz algılayıcısının gerilim grafiği.....	58
Şekil 2.30. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2102-I gaz algılayıcısının gerilim grafiği	59
Şekil 2.31. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2610 gaz algılayıcısının gerilim grafiği.....	59
Şekil 2.32. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2611 gaz algılayıcısının gerilim grafiği.....	60

Şekil 2.33. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-825 gaz algılayıcısının gerilim grafiği.....	61
Şekil 2.34. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-813 gaz algılayıcısının gerilim grafiği.....	62
Şekil 2.35. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-830 gaz algılayıcısının gerilim grafiği.....	62
Şekil 2.36. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-880 gaz algılayıcısının gerilim grafiği.....	63
Şekil 2.37. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2201-II gaz algılayıcısının gerilim grafiği.....	64
Şekil 2.38. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-5042 gaz algılayıcısının gerilim grafiği.....	64
Şekil 2.39. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2180 gaz algılayıcısının gerilim grafiği.....	65
Şekil 2.40. Bir koklama döngüsünde TGS-2602 gaz algılayıcısının gerilim değişimi (V_L)	66
Şekil 2.41. Bir koklama döngüsünde TGS-2602 gaz algılayıcısının yalnızca koklama işlemindeki gerilim değişimi (V_L)	67
Şekil 3.1. Çay fabrikalarındaki mevcut üretim akış şeması	69
Şekil 3.2. Yeni fermantasyon bant sistemi	70
Şekil 3.3. Farklı kaliteler için çay kurutma sistemi	71
Şekil 3.4. Kaliteye Göre Fermantasyon Akış Şeması.....	72
Şekil 3.5. Kıvırma ünitesinden fermantasyon bandlarına çay taşıma sistemi	73
Şekil 3.6. Fermantasyon bandı nem ve sıcaklık değerlerinin fotoğrafı	73
Şekil 3.7. Fermantasyon sıcak buhar girişinin fotoğrafı.....	74
Şekil 3.8. Kullanıcı paneli	75
Şekil 3.9. Düşük Kalite Çay Değerlendirmesi.....	77
Şekil 3.10. Orta Kalite Çay Değerlendirmesi	78
Şekil 3.11. Yüksek Kalite Çay Değerlendirmesi.....	79
Şekil 3.12. Labviewden .exe dosyası çalıştıran programın blok diyagramı	80
Şekil 3.13. Labviewden .txt dosyasına veri girişi blok diyagramı	81
Şekil 3.14. Labviewden .txt dosyasından veri alma blok diyagramı.....	81
Şekil 3.15. Sıralı yapı ile veri numarasını txt'ye yazan, exe çalıştırıp sonucu labviewden .txt'den alan blok diyagram	81
Şekil 3.16. 1. Fermantasyon Bandı için fermantasyon süresi.....	82
Şekil 3.17. Çay kalitesine göre fırın kararı blok diyagramı.....	83

Şekil 3.18. Çay Taşıma Bantlarının Hareketi için Hazırlanan Labview Blok Diyagramı.....	84
Şekil 4.1. Seçilen çay fabrikasında bir fermantasyon süresi boyunca çay kalitesi değişimi	88

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Kimyasal algılayıcıların sınıfları	20
Tablo 2.1. Elektronik burunda kullanılan gaz algılayıcıları	34
Tablo 2.2. Kullanılan gaz algılayıcılarının teknik özellikleri	37
Tablo 2.3. Koku alma düzeneğinin bir koklama çevrimi aşamaları	41
Tablo 2.4. 2. Fermantasyon çayları için çay tadımcı puanları	45
Tablo 2.5. 2. Fermantasyon çayları için TF/TR oranları	46
Tablo 2.6. Sınıflandırma verileri kullanım dağılımı	66
Tablo-2.7. Sınıflandırmada kullanılan gaz algılayıcılarına uygulanan öznitelik çıkartma yöntemleri	67
Tablo-2.8. Farklı Algoritmaların Sınıflandırma Başarımları	68

SEMBOLLER DİZİNİ

CTC	: Crush-Tear-Curl (Ezme-Sıkma-Kıvrırma)
TF	: Theaflavin
TR	: Tirubigin
RBF	: Radial Basis Function
PNN	: Probabilistic Neural Network
MLP	: Multi Layer Perceptron
LVQ	: Learning Vektör Quantization
BP-MLP	: Back Propagation-Multi Layer Perceptron
FF-MLP	: Feed-Forward Multilayer Perceptron
FCM	: Fuzzy C Means
ABC	: Artificial Bee Colony
PCA	: Principal Component Analysis
LDA	: Linear Discriminant Analysis
KPCA	: Kernel tabanlı Principal Component Analysis
KLDA	: Kernel tabanlı Linear Discriminant Analysis
MOS	: Metal Oxide Semiconductor
kNN	: k nearest neighbour
DAA	: Doğrusal Ayırma Analizi
TDA	: Tekil Değer Ayırması
SVD	: Singular Value Decomposition
MOS	: Metal Oxide Semiconductor
ppm	: Parts per million

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Günümüzde üretimi tamamlanmış siyah çayın kalitesi, kimyasal analizle veya çay tadımcıları tarafından yapılan duyu analizlerle tespit edilebilmektedir. Literatürde, çay kalitesini laboratuvar ortamında elektronik olarak tespit edebilme üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Mevcut uygulamada çayın kalite kontrolü üretim tamamlandıktan sonra yapılmaktadır. Bu çalışmada çayın kalite kontrolünü üretim esnasında elektronik olarak yapmak ve denetlemek amaçlanmıştır. Çünkü üretimi tamamlandıktan sonra belirlenen çay kalitesi yerine, kaliteyi üretim esnasında tespit eden bir elektronik sistem kurmak, tespit edilen kaliteye göre üretimi denetlemek şüphesiz verim açısından daha yararlı olacaktır. Ayrıca daha kaliteli çay üretimi, üretim kapasitesi artışı gibi yararlar da sağlamayı amaçlamaktadır. Bu tez çalışmasında; öncelikle çay, elektronik burun ve sınıflandırma konuları ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

1.1.1. Çay

Latince *camellia sinensis* olarak isimlendirilen çay, bugün dünyada sudan sonra en fazla içilen ve içme alışkanlığı gittikçe artan bir içecek türüdür [1]. Çayın ilk yudumlanması çok eskilere, M.Ö. 2737 yılına, Çin İmparatorluğuna kadar dayanmaktadır [2].

Efsaneye göre Çin'in ilk imparatorlarından ve Çin tarımının kurucusu olarak kabul edilen Shen Yung, çay bitkisinin tesadüfen sıcak suya düşmesine şahit olmuştur ve işte bu keşifle birlikte İmparator, çayın büyümesine kapılmıştır.

Avrupa'da çaydan ilk söz edilişi ise binlerce yıl sonra, 1559 yılında gerçekleşmiştir. 1606 yılı ise çayın Avrupa'yla tanıştığı yıl olarak tarihe geçmiştir. 1635 yılından sonra, Hollanda ve Fransa, Avrupa'da çay tüketimine öncülük eden ülkeler olmuşlardır. İlk demlik örneklerinin Çin'den Avrupa'ya ulaşması ise 1650'li yıllarda gerçekleşmiştir.

Çayı Amerika'ya ulaştıran ise Peter Stuyvesant'tır. Bugün New York olarak anılan New Amsterdam'a yerleşen Hollandalı koloniler, Amerika'nın ilk çay tiryakileri olarak tarihe geçmişlerdir. Çaya bilimsel adı yani "camelia sinensis" 1753 yılında verilmiştir.

1800'lü yıllarda, Avrupa ve Amerika'da yavaş yavaş çay endüstrisi boy göstermeye başlamıştır.



Şekil 1.1. Çay Bitkisi (Camellia Sinensis)

Amerika'da, sıcak havalarda çay satmakta zorlanan Richard Blechynden, çayı soğuk halde sunmayı akıl eder. Amerika kökenli Ice Tea kavramı da işte bu tesadüfle doğar [3].

Üst sınıflara hitap eden pahalı bir içecek olmaktan uzaklaşarak gitgide herkes tarafından tüketilen bir içecek haline gelen çay, çeşitli yeniliklerle birlikte gelişmeye devam eder.

Çay ülkemizde 1600'lü yıllarda tanınmaya başlamıştır [4, 5]. Türkiye'de çay bitkisinin yetiştirilmesine ait ilk ciddi girişim 1888 yılında yapılmıştır. Zamanın Ticaret Nazırı Esbaki İsmail Paşa çay fidanlarını Çin'den getirmiştir [2]. Bugün dünyada en çok çay tüketen ülkeler arasında Türkiye de yer almaktadır. 1900'lü yıllara kadar çayı tanımayan ve tam bir 'kahve tiryakisi' olan ülkemizde bugün çay hayatın vazgeçilmez bir tadıdır.

Günlük yeşil ya da siyah çay tüketiminin sağlık açısından faydalı olduğu bilinmektedir. Yapılan araştırmalarda günlük 4 fincandan (600 ml.) daha az çay içmenin kronik hastalıkları önemli ölçüde korumada yeterli olmadığı, günde tüketilen 6-10 fincan çayın (960-1600 mL) kronik hastalıklardaki riski azalttığı görülmüştür [6].

Çayın bilinen faydaları şunlardır:

- kanser riskini azaltmaktadır,

- kalp ve damar sertliğini önleyici özelliği vardır,
- tansiyon düşürmektedir,
- dinlendirici ve dikkat toplayıcı özelliği mevcuttur,
- bağışıklık sistemini güçlendirir,
- yaşlanmayı geciktirici etkisi vardır,
- diş minesini kuvvetlendirir, diş eti hastalıklarına karşı koruma oluşturur,
- antioksidan özelliğiyle vücuttaki toksinlerin atılmasını sağlar [6, 7, 8, 9, 10].

1.1.2. Çay Türleri

Çay çeşitleri ve tüketim alışkanlığı çok değişiklikler göstermektedir. Mesela batılı ülkeler siyah çay tüketirken Asya ülkelerinde yeşil çay tercih edilmektedir[11]. Farklı kaynaklara göre ufak değişiklikler arz etmekle birlikte dünyada üretilen çayın yaklaşık %70'ini siyah çay, %23'ünü yeşil çay ve %7'sini oolong ve diğer çay türleri oluşturmaktadır [12].

Siyah Çay: Çay ağacından toplanan yeşil çay yapraklarının sırasıyla soldurma, kıvrırma, fermentasyon ve kurutma işlemlerinden geçirilmesiyle siyah çay üretilir.

Yeşil Çay: Yeşil çay yapraklarının oksijenle tepkimeye girmesine müsaade edilmeden hızlıca kurutulmasıyla üretilir.

Oolong Çay: Çay ağacından toplanan yeşil çay yaprakları 14-16 saat soldurulduktan sonra kıvrırma ünitesinde 30 dakika kadar ezilerek yaklaşık 1 saat fermente edilir ve kurutulur. Siyah çay gibi tam fermente edilmeyip, yarı fermente edildikten sonra kurutulan çay türüdür.

Beyaz Çay: Türkiye'de olduğu gibi dünyada da siyah ve yeşil çay tanınmakta, çok az sayıda insan oolong çayı da bilmektedir. Çay ağacının sadece tomurcuk yaprakları toplanır. Beyaz çay yeşil çaya benzer, üretim aşamasında çok az işlem görür ve hiç okside olmaz. Beyaz çay üretiminde soldurma ve kurutma olarak sadece iki aşama vardır.

Pu-erh Çay: Fermente edilerek sıkıştırılarak belirli şekillerde kalıplanan ve kurutulan bir siyah çay türüdür.

Kırmızı Çay: Siyah çay üretimindeki oksidasyon süresinin 2 katı kadar süre fermente olan ve okside olan yaprakların bir çay kavurucusunda kavrulmasıyla oluşan çay türüdür.

Öz Çay: Buzlu çayın hazırlanmasında kullanılan çay türüdür. Siyah çay gibi tam fermente edilmeyip, yarı fermente edildikten sonra kurutulmuş çay türüdür.

Sarı Çay: Şoklama, kıvrırma ve kurutma işlemlerinden geçirilir. Şok bir kurutma ile nemi %50'lere düşürülen çay yaprakları kıvrırma işleminden sonra tam kurutulur.

Tütsülenmiş Çay: Yeşil çay yaprakları ilk olarak çam veya selvi odunu ateşinde soldurulur, tavada kızartılır ve kıvrılır, ahşap bir kaptaki sıkıştırılarak fermente edilir ve daha sonra kurutulur [6].



Siyah Çay



Yeşil Çay



Oolong Çay



Beyaz Çay



Pu-erh Çay



Kırmızı Çay



Öz Çay



Sarı Çay



Tütsülenmiş Çay

Şekil 1.2. Çay Türleri

1.1.3. Siyah ay Üretim Aşamaları

Çalışmamız siyah çay üretiminde olduğu için siyah çayın üretim aşamaları aşağıda sunulmuştur:

- Soldurma
- Kıvırma
- Fermantasyon
- Kurutma
- Tasnif ve Ambalajlama

Soldurma: Soldurma, yaş çayın ihtiva ettiği %70-80 oranındaki suyun %50-55'e düşürülmesi işlemini oluşturur ve fermente çay (siyah çay) üretiminin en önemli ilk aşamasıdır. Doğal soldurma ve yapay soldurma olarak iki şekilde yapılır. Doğal soldurmada taze çay yaprakları 16-20 saat gölgede bekletilirken, yapay soldurmada taze çay yapraklarına 32-38 °C sıcak hava verilerek bu işlem 7-8 saatte gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1.3. Soldurma Bantları

Kıvırma: Solmuş ay yaprağının değişik çay imalat makinelerinde parçalanması, ezilmesi ve bükülmesiyle hücre özsuunun kıvrılmış yaprak yüzeyine yayılması ve oksidasyonun başlaması işlemidir. Birinci ve ikinci kıvırma olarak iki aşamada gerçekleşir:

Birinci Kıvrırma: Bu kıvrırma işlemleri düz (yaprak) kıvrırma makinelerinde yapılır. Düz kıvrırmalar uzun sürede yavaş yavaş doldurulduğundan en az 300 kg solmuş yaprak alabilmektedir. Kıvrırma süresi doldurulmaya başlandığından itibaren en az 45 dakika olur. Birinci kıvrırma bittikten sonra, kıvrırma yavaş yavaş boşaltılarak, rotervan olan fabrikalarda rotervandan geçirildikten sonra, olmayanlarda ise doğrudan eleme yapılır. Havalandırılmış kaba çaylar ise ikinci kıvrırma için presli veya göbekli kıvrırmalara verilir. Crush-Tear-Curl (CTC) olan fabrikada ise rotervandan geçtikten sonra direkt CTC'lere verilir.

İkinci Kıvrırma: Birinci kıvrırmada yeterince parçalanmamış sert yaprakların tazyik altında presli kıvrırmalarda veya göbekli kıvrırmalarda daha çok parçalanmalarını sağlayarak, yaprağın hücre zarının çatlatılarak içerisindeki hücre özsuyunun dışarı çıkartılması ile daha iyi fermantasyon şartlarının hazırlanmasını temin için yapılır. İkinci kıvrırmadan çıkarılan çaylar fermantasyon ünitesine sevk edilir [9].



Şekil 1.4. Kıvrırma Ünitesi

Rotervan Ünitesi: Yeşil çay yapraklarının kıvrırmalarda parçalanmayan sert kısımları, et kıyma makinasına benzeyen rotervan makinasında parçalanmakta ve buradan fermantasyon ünitesine sevk edilmektedir.



Şekil 1.5. Rotervan Ünitesi

Fermantasyon (Oksidasyon): Siyah çayın işlenmesinde en önemli işlem olarak kabul edilir. Siyah çay başlıca özelliklerini fermantasyon süresince kazanır. En basit ve en ucuz bir işlem olan fermantasyon, kıvrırma işleminden sonra 5-25 cm kalınlıkta serilen çay yapraklarının nemi ve sıcaklığı ayarlanmış ortamda (bu işlem fabrikalarda fermantasyon bandında yapılmaktadır) 40 dakika ile 3 saat arasında değişen sürelerde bırakılmasıyla yani parçalanmış çay yapraklarının belirli nem ve sıcaklıkta oksijenle mayalanmasıyla gerçekleştirilir [2]. İdeal nem ve sıcaklık Türkiye’de %95 nem ve 27°C kabul edilmektedir ancak ülkeden ülkeye hatta firmadan firmaya bu kabul nem için %90-98, sıcaklık için ise 21-32 °C arasında değişmektedir.

Fermantasyon müddeti denilince; çayların fermantasyon kısmında geçirdiği süre akla gelmemelidir. Bu süre; kıvrırmanın başlamasından oksidasyonun tamamlanmasına kadar geçen zamandır. Yukarıda bahsedildiği gibi çay asıl aromasını, kalitesini fermantasyon sürecinde kazanır. İdeal fermantasyon süresi; yaprağın kalitesi, nem, sıcaklık, soldurma işlemi, kıvrırma işlemi gibi birçok parametreye bağımlı olarak değişmektedir [2, 13].



Şekil 1.6. Fermantasyon Bandı

Kurutma: Kurutma; kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik bozulmalarını en aza indirmek için meyve ve sebzelerin aktivitelerini ve içerdikleri suyu sıcak havayla düşüren endüstriyel bir koruma metodu olarak tanımlanabilir [14]. Kıvrılmış ve fermente olmuş çay yaprağının fırınlanarak nem oranını %2-4 seviyelerine indirme işlemidir. Kurutmanın amacı: enzim oksidasyonunu durdurarak, kazanılan özelliklerin ve oluşan maddelerin yitirilmesine engel olacak ortamı oluşturmak, çayı depolanabilir, paketlenabilir ve taşınabilir duruma getirmektir.



Şekil 1.7. Fırın

Tasnif ve Ambalajlama: Tasnif, fırından çıkan kuru çayların önceden belirlenen standart elek tellerinden geçirilmek suretiyle incelik, kalınlık ve kalitelerine göre ayrılma işlemidir.

Gerek fırın çıkışında gerekse tasnifin çeşitli aşamalarında kurutulmuş çaylar lif tutucularından geçirilerek lif ve çay çöplerinden ayrılırlar. Çaylar fırından çıktıktan sonra ihtiva ettikleri % 2-4 nispetindeki rutubet miktarı ile ancak iyi tasnif edilebilir. Bekletilen ve iyi muhafaza edilmeyen çayların rutubet miktarları arttığından ve elastikiyet kazandıklarından tasnifleri iyi yapılamaz ve kısa zamanda küflenerek sağlığa zararlı hale gelir.



Şekil 1.8. Tasnif ve Ambalajlama

1.1.4. Siyah Çay Kalite Analizleri

Siyah çayın kalite analizleri çay tadımı ve kimyasal analiz olmak üzere 2 şekilde yapılabilmektedir. Bunlardan kimyasal analiz hem maliyetli hem zahmetli olduğu hem de daha uzun sürede gerçekleştiği için genelde kalite analizleri çay tadımlarıyla yapılmaktadır. Çay tadımları da, çay tadımcısının sağlık ve moral durumuna ve ortamın durumuna bağlı olarak değişebilmektedir. Görecelilik arz etmektedir. Aynı çaya bir tadımcı çok kaliteli çay derken diğeri çok kalitesiz çay diyebilmektedir. Yapmış olduğumuz çalışmada böyle bir durumla karşılaşmıştır. Koku kayıtları alınan 64 çaydan 1 tanesine 8 çay tadımcısının bir tanesi 64 çayın en yüksek puanını verirken bir diğere çay tadımcısı 64 çayın en düşük puanını vermiştir.

1.1.5. Çay Tadımı (Degüstasyon)

Gerek üretim esnasında ve gerekse herhangi bir kuru çayda kalite değerlendirilmesi tadımla mümkün olabilmektedir. Çay fabrikalarında, üretilen siyah çayın durumunu analiz etmek için, bu işin eğitimini almış uzman kişilere (çay tadımcısı) görsel ve duyuşal testler

yaptırılmaktadır. Bu işe “çay tadımı” adı verilmektedir. İki tür çay tadımı vardır. Birincisi, üretim esnasında fırından çıkan çaylardan belli sıklıklarla (10-15 dk.) örnekler alınarak, bu numunelerin çay tadımları yapılır ve üretim hakkında yorumlar yapılarak üretim bantlarına gerekli müdahaleler yapılır. İkinci çay tadımı ise tasniften çıkan çaylar ambalajlanmadan önce yapılır. Bu sayede hangi çayın hangi kalitede olduğu öğrenilir ve gerekli harmanlama yapılarak istenilen kalitenin tutturulması suretiyle paketleme işine geçilir.

Çay tadımının yapılması için belli şartlar aranır:

- 1- Tadım odasının ışık alan yönü kuzeye bakmalı ve direkt güneş ışığı almamalı, oda aydınlık olmalıdır, çünkü çay tadımcısı çay likörlerinin dem renklerine de bakarak puan vermektedir.
- 2- Tadım yapacak kişi kokulu bir şey kullanmamalıdır. Çay tadımı çok hassas bir işlem olduğu için diğer kokular çay tadımını etkilememelidir.
- 3- Tadım yapacak kişi stresten uzak olmalıdır. Çünkü kişi sinirli veya stresli olduğunda, aynı çaydan aynı tadı alamayabilir.
- 4- Tadım yaparken koklamada ve ağza alıp değerlendirmede, bütün dikkat tadıma teksif edilmelidir.
- 5- Tadım için en müsait zaman, günün 10:00-11:00 ve 14:00-15:00 saatleridir.

Çay fabrikalarında çay tadımı aşağıdaki gibi yapılır.

1. Tadına bakılacak çay numuneleri tadım masası üzerine sıralanır.
2. Her numune için birer adet tadım kâsesi ve fincanı numunenin önüne konur.
3. Numuneden 3 gr. çay tartılarak fincana boşaltılır.
4. Ayrı bir çaydanlıkta iyice kaynatılmış su, fincanlar çentiğine kadar doldurulur. Fincan kapakları kapatılarak çay demlemeye bırakılır.
5. 6 dakika demde bekletilen fincandaki likör, fincan önündeki kaseye aktarılır. Posa fincanda kalır.
6. Koku tespiti yönünden fincan içindeki posa sıcak iken koklanarak koku tespiti yapılır.
7. Fincan içerisindeki posa, fincan kapağına aktarılır. Daha sonra tadım değerlendirilmesine geçilir.

Çay tadımı neticesinde; kuru çayın fiziki görünüşü, çayın aroması (kalitesi), dem rengi, posa rengi, ağızda, dilde, damakta bıraktığı etki değerlendirilir [15, 16].

Puanlar 0 ile 20 aralığında verilmektedir. Bu aralık dünyanın bütün çayları için kullanılan geniş bir aralıktır. Türk çayında en kaliteli olarak nitelendirilen çaylar için 12-14 puanlar verilmektedir.



Şekil 1.9. Çay Tadımı

1.1.6. Kimyasal Analiz (TF/TR Analizi)

Dünyanın önemli ticaret merkezlerinde çay fiyatı belirlenirken siyah çayın tıflavin (theaflavin) ve tirubigin (thearubigin) kapsamları önemle dikkate alınmaktadır. Siyah çaydan elde edilen demin tıflavin (TF) ve tirubigin (TR) değerleri çok önemlidir. Bu değerler fermantasyon esnasında oluşur ve değişir [17]. Dünya genelinde, iyi bir siyah çayda TF/TR oranı 1/10'dur. Ülkemizde bu oran 1/25'ler seviyesindedir [2, 18, 19]. Türk siyah çayındaki bu düşük seviye, taze çay yapraklarının düşük kalitede olmasından ve yaprak toplama standartlarından kaynaklanmaktadır [20]. Uzak doğu ülkelerinde çay yaprakları, olması gerektiği gibi 2 yaprak 1 tomurcuk halinde elle toplanır, ancak ülkemizde maliyetlerden ve birazda işin kolayına kaçıldığından ötürü makaslı torbalarla gelişigüzel toplanmaktadır. Bir araştırmaya göre, farklı sürgünlerdeki çaylarda ve farklı kıvrırma sistemlerinde de TF ve TR değerleri değişmektedir [21]. TF ve TR değerlerini yani kaliteyi en etkin şekilde belirleyen işlemin fermantasyon işlemi olduğu da göz önünde bulundurulursa, kalite tek şeye bağlıdır denemez. Çayda kalite birçok parametreye bağlıdır.

Oldukça maliyetli bir yöntem olan TF/TR analizi şöyle yapılmaktadır [22]:

- Öğütülmüş çay numunesinden 3 g. 250 ml.'lik erlene konur.

- Erlenin üzerine 125 ml. kaynar su konur ve kaynayan su banyosunda 15 dk. tutulur.
- Süre sonunda su banyosundan alınan örnek süzme düzeneğinde süzülür.
- Oda sıcaklığına kadar soğuyan süzüntüden ayırma hunisine 50 ml. konur ve üzerine 50 ml. İzo Bütil Metil Keton (İBMK) eklenir.
- Ayırma hunisindeki çözelti hızlı şekilde 1 dk. boyunca çalkalanır ve tabakaların ayrılması beklenir. Daha sonra alttaki su fazı ve üstteki İBMK fazı dikkatle alınır.
- Su ve İBMK fazına şu işlemler uygulanarak A B C D çözeltileri hazırlanır.

A çözeltisi: İBMK fazından 4 ml. örnek 25 ml.'lik ölçü balonu metil alkol ile derecesine kadar tamamlanır.

B çözeltisi: Su fazından 2 ml. örnek ile 8 ml. saf su, 25 ml.'lik ölçü balonuna konur ve derecesine kadar metil alkolle tamamlanır.

C çözeltisi: İBMK fazından ve %2,5'lük sodyum bikarbonat çözeltilerinden 25'er ml. ayırma hunisine konulur ve çalkalanarak fazlara ayrılır. Sodyum bikarbonat fazı atılır. İBMK fazından 4 ml. 25ml.'lik ölçü balonuna konularak derecesine kadar metil alkolle tamamlanır.

D çözeltisi: Su fazından alınan 2 ml. örnek, 2 ml. doymuş oksalik asit çözeltisi ve 6 ml. saf su 25 ml.'lik ölçü balonuna konularak derecesine kadar tamamlanır.

Bu çözeltiler spektrofotometrede okunmak üzere hazırdır. Çay örneğinde TF ve TR belirlemeleri için A, B, C ve D çözeltilerinin ışık adsorpsiyonunda 380 nm dalga boyunda uv-visible spektrofotometresiyle okunarak bilgisayarın yazılımı sayesinde konsantrasyonu bulunur, aynı işlemler 460 nm dalga boyunda uv-visible spektrofotometre ile tekrar yapılır.

E_A, E_B, E_C, E_D : A, B, C, D çözeltilerinin 380 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunan değerleri,

$E_{A'}, E_{B'}, E_{C'}, E_{D'}$: A, B, C, D çözeltilerinin 460 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunan değerleridir.

$$\text{Çayda TF(\%)} = 2,25 * E_C \quad (1.1)$$

$$\text{Çayda TR(\%)} = (1,77 * E_D + E_A - E_{C'}) * 7,06 \quad (1.2)$$

1.1.7. Elektronik Burun

Elektronik burunlar memelilerin koku alma sistemini taklit ederek on binlerce farklı kokuyu birbirinden ayıracak şekilde tasarlanmış elektronik aygıtlardır. Kokuyu ölçme fikrini ilk olarak Alexander Graham Bell 1914 yılında ortaya koyduysa da [23], elektronik olarak kokuyla ilgili çalışmalar 1961’de başlamıştır [24, 25] ve ilk elektronik burun Wilkens, Hatman [24, 26] ve Buck [24, 27] tarafından 1964 yılında yapılmıştır. “Elektronik burun” terimi ilk defa 1988’de bir toplantıda kullanılmıştır [24, 28].

Elektronik Burun (e-burun) daha önce kendisine tanıtılan kokuları tanıyan bir elektronik sistemdir. Yapısında farklı kimyasal algılayıcılar (gaz algılayıcısı) dizisi (algılayıcı birim) bulunan bir elektronik devre ile koku bilgisini elektrik bilgisine dönüştüren ve bu bilgiyi hazırlanan algoritması ile yorumlayan bir yazılımdan oluşur.

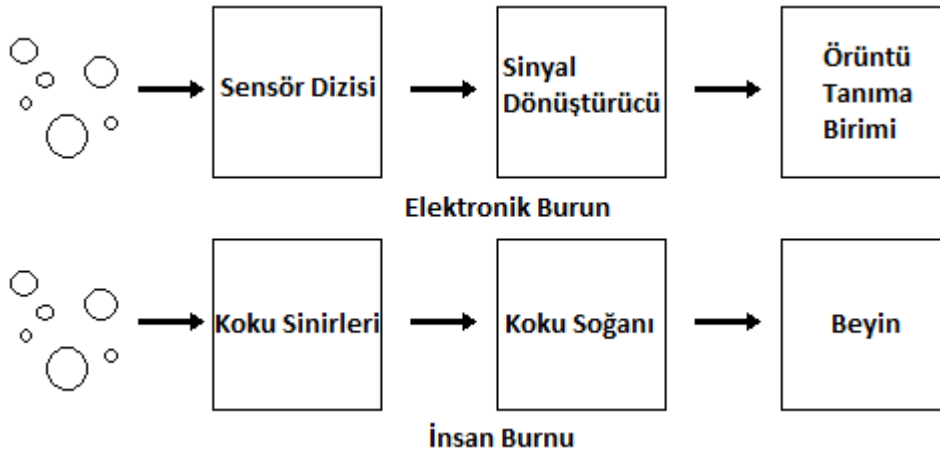
Bugün ticari olarak e-burun yapıp satan yerli olmamakla birlikte dünyada 10 kadar elektronik burun firması mevcuttur. Çalışma başlamadan önce e-burun firmalarıyla görüşülüp, çay fabrikasında çayın kalitesini tespit edecek bir e-burunun fiyatı araştırılmıştır. Böyle bir e-burun için çok yüksek fiyatlar istenmiştir. Şekil 1.10’da Alpha MOS firmasının ticari olarak ürettiği Heracles isimli e-burunun fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 1.10. Alpha MOS Heracles E-Burunun Fotoğrafı

İnsan burnu günümüz teknolojisi ile üretilebilen en iyi e-burundan bile katbekat daha hassastır. Ancak e-burunun da insan burnuna bazı üstünlükleri mevcuttur. Mesela e-burunlar insan burnunun alamadığı karbon monoksit ve doğalgaz kokularını alırlar [23]. İnsan burnunda bir süre sonra yorgunluk durumu (fatigue) oluşmakta ve ortamdaki gazları tanıyamamaktadır. Ayrıca nezle, grip gibi bazı üst solunum yolu rahatsızlıklarında insan burnu kokuları eski hassasiyetiyle alamamaktadır. Bunun dışında insan burnu “kişiye bağımlılık” göstermektedir. Oysa elektronik burunlar aynı kokulara her zaman aynı sonuçları verirler yani objektiftirler. Hasta olmazlar. Yıllarca aynı işi görebilmekte ve insan burnunun algılayamadığı gazları kullandıkları gaz algılayıcı dizisine bağlı olarak rahatlıkla algılayabilmektedir. Nitekim 1997 yılında yapılan bir çalışmada elektronik burun ile insan burnuna domates salçası kokusu koklatılarak bir karşılaştırma yapılmıştır ve elektronik burunun domates salçası kokusunu insan burnundan daha hassas seçtiği belirlenmiştir [29].

Elektronik burunlar insan koku alma sistemi mantalitesiyle yapılmıştır.



Şekil 1.11. E-Burun ve İnsan Burnunun Sistem Blokları

Elektronik burunlar günümüzde birçok disiplinde kullanılmaktadır. Parfüm ve koku endüstrisi, otomotiv ve uzay araçları, hava kalitesi ve zehirli gaz tespiti, sağlık sektörü ve gıda endüstrisi için çalışmalar mevcuttur. E-burun üzerine yapılan çalışmalar gelecek yıllarda insan hayatına çok büyük kolaylıklar sağlayacaktır.

Kozmetik ve koku endüstrisinde e-burun test amaçlı olarak kullanılmaktadır [30]. Otomobil, uzay aracı gibi kapalı alanlardaki hava kalitesi ve hayvan çiftliği, fabrika gibi ortamlardaki zehirli gazların tespiti üzerine de çalışmalar mevcuttur [31-40].

Elbise üzerindeki kir türünü ve miktarını tespit edebilme üzerine çalışmalar yapılmıştır [41]. Robotlar için biyotik e-burun tasarlanmıştır [42]. Tarım endüstrisinde tarım zararlılarının tespiti için de e-burun çalışmaları mevcuttur [43, 44].

Chatchawal Wongchoosuk ve arkadaşları iki farklı ter kokusunu e-burunla ayırt etmiş ve insanların parmak izlerinin ayrı olduğu gibi ter kokularının da ayrı olduğunu kanıtlamışlardır [45]. Biometrik tanıma konusunda da çalışmalar yapılmıştır [46-47]. Tıp alanında çok fazla çalışma mevcuttur. Birçok hastalığın nefes, ter, idrar gibi kokulardan tanınmasına yönelik çalışmalar mevcuttur ve çalışmalarda yüksek başarımlar elde edilmektedir. Tıbbi alanda devrime yaklaşılmaktadır. Akciğer kanserinin e-burunla teşhisi üzerine çokça çalışma yapılmıştır [48-52]. Yine kişinin nefesinden, şeker hastası olup olmadığı teşhis etme üzerine çalışmalar vardır [53, 54]. Böbrek hastalıkları [55,56], idrar yolu enfeksiyonları [57, 58], şizofren ve depresyon hastalıkları [59] üzerine e-burun çalışmaları yapılmıştır.

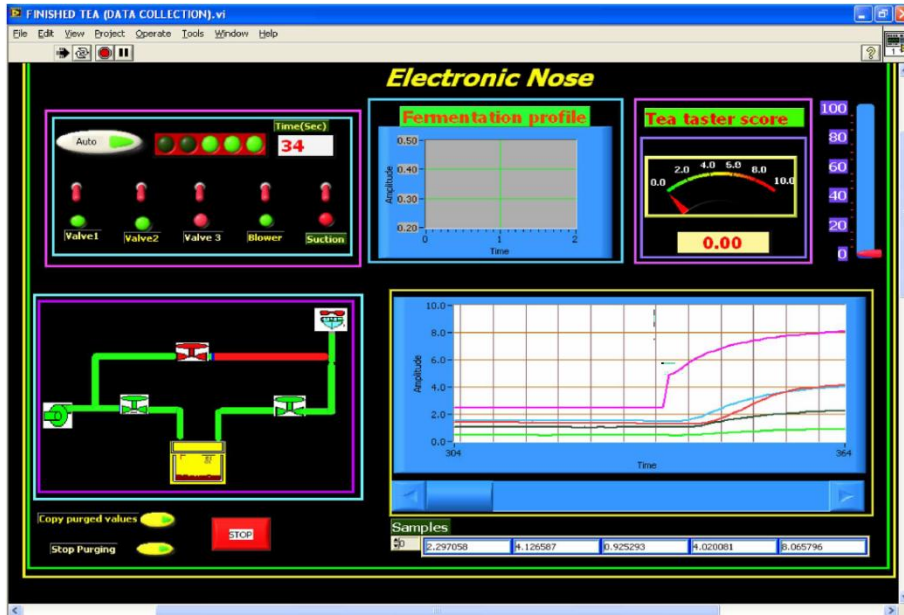
Gıda endüstrisinde de e-burun için oldukça fazla çalışma alanı vardır [60, 61]. Yiyeceklerdeki yararlı ve zararlı bakterileri tespit edebilme üzerine çalışmalar yapılmıştır [62, 63]. Gıda endüstrisinde meyve, sebze, et ve balık gibi yiyeceklerin tazeliğini belirlemek için çalışmalar yapılmıştır [64-70]. İçeceklerin kalitesini ya da aromasını belirlemeye yönelik de çalışmalar mevcuttur. Meyve suyu [71], süt [72, 73], şarap [74-76] kahve [77] ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Çalışma konumuz olan çay kalitesinin tespiti üzerine de çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Ritaban Dutta ve arkadaşları 4 gaz algılayıcısı bulunan bir elektronik burun ile laboratuvar ortamında 5 farklı kuru siyah çay türünü 5 farklı fermantasyon süresine göre Radial Basis Function (RBF), Probabilistic Neural Network (PNN), Multi Layer Perceptron (MLP) ve Learning Vektör Quantization (LVQ) yöntemlerini kullanarak sınıflandırmış ve MLP için %88, LVQ için %89, PNN için %94, RBF için %100 başarımlar elde etmişlerdir [78]. Nabarun Bhattacharyya ve arkadaşları “Alpha MOS 2000” modeli hazır elektronik burun kullanarak, 6 farklı kuru ve işleme tamamlanmış ortadoks siyah çay numunesini laboratuvar ortamında %100 başarıyla sınıflandırmışlardır [79], başka bir çalışmalarında ise fermantasyon aşamasındaki siyah çayın optimum fermantasyon zamanını, 3'er gramlık çay örneklerinin 150'şer gramlık kaynar sularla demlenerek, hazırlanan laboratuvar düzeneğinde elektronik burun ve elektronik görüntüleme yöntemi ile tespit edebilme üzerine çalışmış ve %95 oranında başarımlar sağlamışlardır [80].

Bipan Tudu ve arkadaşları 8 gaz algılayıcısı ile hazırladıkları bilgisayar temelli elektronik burun düzeneğinin örnek kabına fermantasyondaki siyah çaydan 50 gram koyarak önce bu kabta bir tepe kokusu oluşturmuş, daha sonra bu tepe kokusunu gaz algılayıcılarına ileterek algılayıcı bilgilerini bilgisayara kaydetmişlerdir. Elektronik görüntüleme ile destekledikleri çalışmalarında Time Delay Neural Network yöntemi ile çay tadımcısı puanlarına göre yaptıkları sınıflandırmada %96 başarımla elde etmişlerdir [81].

Nabarun Bhattacharyya ve arkadaşları bir diğer çalışmalarında 10 gaz algılayıcısı olan bir elektronik burun ile 2 farklı çay tadım merkezinde toplam 237 kuru siyah çay örneğini (%60 training datası %40 test datası olarak) yapay sinir ağlarının 3 topolojisi olan Back Propagation-Multi Layer Perceptron (BP-MLP), RBF ve PNN modelleriyle çay tadımcısı puanlarına göre sınıflandırmışlar ve BP-MLP ile %81-85, RBF ile %86-91 ve PNN ile %91-94 başarımla elde etmişlerdir [82]. Nabarun Bhattacharyya'nın kullandığı e-burunun kullanıcı arayüzü Şekil 1.12'de gösterilmektedir.



Şekil 1.12. Nabarun Bhattacharyya'nın e-burunun için kullandığı arayüz

Bipan Tudu ve arkadaşları 5 gaz algılayıcısı kullanarak laboratuvar ortamında hazırladıkları elektronik burun düzeneğiyle 4 farklı bahçeden toplanan ve işlenen siyah çayları sınıflandırmış ve %93 başarımla elde etmişlerdir [83]. Santi Sankar Chowdhury ve arkadaşları taşınabilir bir elektronik burun yaparak, elektronik burunun örnek kabının

içerisine 50 gram işlemi tamamlanmış siyah çay koymuş ve toplam 237 adet işlemi tamamlanmış siyah çayın kokularını almışlardır. Bu verilerin %60'ını eğitim verisi (training datası) %40'ını test verisi olarak kullanmak suretiyle, çay tadımcısı puanlarını referans alarak, BP-MLP yöntemi ile mikrokontrolörde (16F4520) Feed-Forward Multilayer Perceptron (FF-MLP) yöntemi ile sınıflandırma yapmış ve çayların toplandığı iki farklı bahçe için BP-MLP ile %80,5-85,7 başarımlarını, FF-MLP ile %78,3-83,6 başarımlarını elde etmişlerdir [84]. Santi Sarkar Chowdhury ve arkadaşlarının yaptığı taşınabilir e-burun Şekil 1.13'de gösterilmiştir.

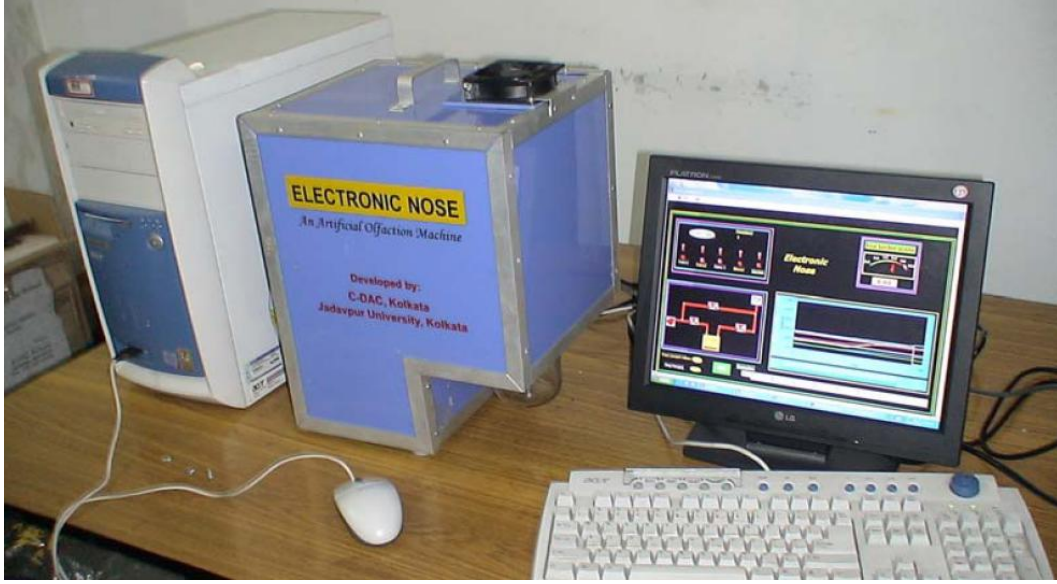


Şekil 1.13. Santi Sarkar Chowdhury ve arkadaşlarının yaptığı taşınabilir e-burun

Üretilen çayın kalitesi; çayın yetiştiği ortama, toplama zamanına ve üretim metoduna göre değişmektedir, yani birinci sürgündeki çay ile üçüncü sürgündeki çayın kalitesi aynı olmayacaktır. Nabarun Bhattacharyya ve arkadaşları farklı çay bahçelerinden toplanan çayların farklarını gidermek için RBF neural network kullanarak sınıflandırmada artan öğrenim özelliği kullanmışlardır [85]. Bipan Tudu ve arkadaşları da 2008'deki çalışmalarına ek olarak [83], elektronik burun ile siyah çay aroma sınıflandırması için örnek tanıma algoritmasında artan öğrenme özelliğini RBF yapay sinir ağı ile birlikte kullanmışlardır. Birinci eğitim verisi sonrası sınıflandırma başarımlarını %91.01 iken, ikinci eğitim verisi öğretildikten sonraki sınıflandırma genel başarımlarını %87.14'e düşmüştür [86]. İki çalışmada da bahçe sayısı arttıkça yani çay çeşit sayısı çoğaldıkça sınıflandırma başarımlarında düşüş görülmüştür.

Bipan Tudu ve arkadaşları bu çalışmalarında siyah çayın kokusunu elektronik burun ile laboratuvar ortamında alarak, çay tadımcı puanlarına göre siyah çay kalitesi

sınıflandırmasında gaz algılayıcısı çıkışlarına uyguladıkları normalizasyon tekniklerini anlatmışlardır [87]. Bu e-burun Şekil 1.14’te gösterilmiştir.



Şekil 1.14. Bipan Tudu ve arkadaşlarının yaptığı e-burun

Bipan Tudu ve arkadaşları önceki çalışmalarından [81] farklı olarak 5 gaz algılayıcısından oluşan bir elektronik burun düzeneği yapmış ve aynı yöntemle çay kokularını değerlendirmişlerdir. Elde edilen verilerin %90’ını eğitim verisi, % 10’unu test verisi olarak kullanarak fuzzy ile sınıflandırma yapmış ve %80 sınıflandırma başarımı elde etmişlerdir [88].

Aveek Dutta ve arkadaşları 5 gaz algılayıcısı ile oluşturulan elektronik burun ile laboratuvar ortamında kuru siyah çay kalitesi sınıflandırmasını Fuzzy C Means (FCM) ve Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony-ABC) yöntemlerini kullanarak yapmış ve yaptıkları sınıflandırmada FCM için %75.86, ABC için %96.55 başarımla elde etmişlerdir [89].

Ashis Tripathy ve arkadaşları 50’şer gramlık siyah kuru çay numunelerini hazırladıkları 5 gaz algılayıcısı içeren elektronik burun düzeneğiyle laboratuvar ortamında Principal Component Analysis (PCA), Linear Discriminant Analysis (LDA) ve Kernel tabanlı Principal Component Analysis (KPCA), Kernel tabanlı Linear Discriminant Analysis (KLDA) yöntemleri ile sınıflandırmış ve PCA ile %56.78, KPCA ile %78.00, LDA ile %56.79 ve KLDA ile %84.99 sınıflandırma başarımı elde etmişlerdir [90].

Siyah çay ile ilgili yapılan bu çalışmaların hepsi laboratuvar ortamında yapılmış çalışmalar olup çoğunda işlemi tamamlanmış yani fermantasyonu sonlandırılmış çayın kalitesi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bir elektronik burunu oluşturan kısımlar aşağıda sıralanmıştır.

1.1.8. Algılayıcı Birim

Bu birim kimyasal olan koku bilgisini elektrik bilgisine dönüştüren elemanlardan oluşur. Tablo 1.1’de bu iş için kullanılabilir olan algılayıcılar gruplandırılarak verilmiştir [91].

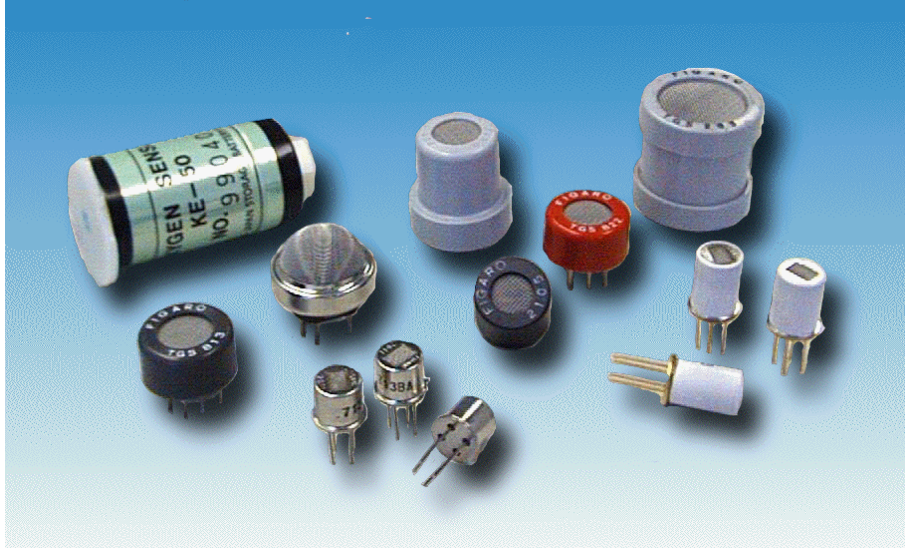
Tablo 1.1. Kimyasal algılayıcıların sınıfları

Prensip	Ölçülen Büyüklük	Algılayıcı Tipi		Avantajları	Dezavantajları
Elektro-Kimyasal	İletkenlik	Kimyasal direnç	MOS	Ucuz olması	Yüksek sıcaklıkta çalışması
			İletken polimer	Oda sıcaklığında çalışması	Neme karşı çok hassas
	Kapasite	Kimyasal kapasite	Polimer	CMOS tabanlı kimyasal algılayıcılara uygulanabilir	Neme karşı çok hassas
	Gerilim	Kimyasal diyot	Şotki diyot	CMOS tabanlı kimyasal algılayıcılara uygulanabilmesi ve entegre edilebilmesi	Platin, Altın, İridyum gibi pahalı maddelere gereksinim duyması
	I-V / V-C	Kimyasal transistör	MOSFET	CMOS tabanlı kimyasal algılayıcılara uygulanabilmesi ve entegre edilebilmesi	Geç tepkime cevabı
	Akım	Toksik gaz algılayıcısı	Elektro katalist	Elektriksel gürültüden etkilenmeme	Boyutu
Isıl	Sıcaklık	Isıl Kimyasal Algılayıcı	Termistör, termokupl	Düşük maliyetli olması	Geç tepkime cevabı

Tablo 1.1'in devamı

Ağırlık	Piezo elektrik	Kütle hassasiyetine dayalı kimyasal algılayıcı	QCM, SAW	Düşük maliyetli olması	Arayüz elektroniği
Optik	Işığın kırılması	Titreşimli tip kimyasal algılayıcı	SPR	Anlaşılabilir teknolojiye sahip olması	Pahalı
	Yoğunluk/ tayf	Fiber optik kimyasal algılayıcı	Floresan, kimyasal ışıldama	Yüksek hassasiyete sahip	Sınırlı ışık kaynağı

Çalışmamızda kimyasal bilgiyi elektrik bilgisine dönüştürmek için, Tablo 1.1'de verilen algılayıcı türlerinden, elektrokimyasal prensiple çalışan Metal Oksit Yarı İletken (Metal Oxide Semiconductor, MOS) kullanılmıştır. Bu algılayıcılar, gaz molekülleri ile temas ettiğinde iletkenlik değişimi göstermektedirler. Üretici firmalar farklı kimyasallar kullanarak farklı gazlarda iletkenlik değişimi gösteren gaz algılayıcıları üretmektedir. Şekil 1.15'de çalışmada kullanılan Figaro marka gaz algılayıcılarının bazılarının fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 1.15. Figaro Gaz Algılayıcıları

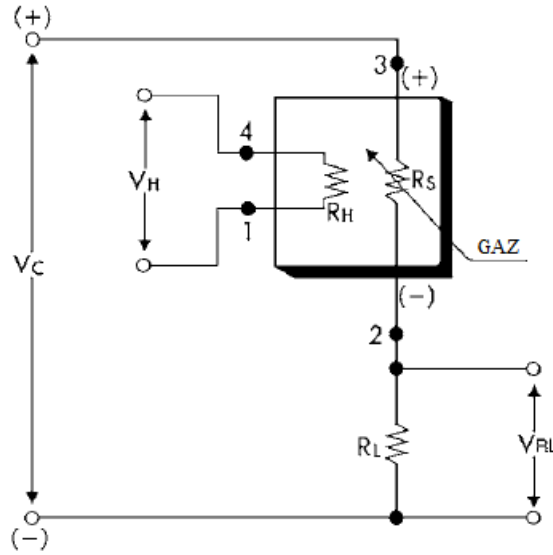
Bu algılayıcıların birçoğu yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadır. Algılayıcı içinde yarıiletken yüzeyi ısıtmak için bir de ısıtma devresi bulunmaktadır. Gaz algılayıcıları duyarlı oldukları gaza bağlı olarak 0-10000 ppm (Parts Per Million, milyondaki parçacık sayısı) ölçüm aralığında çalışabilmektedir.

Organik kokular, alkol, oksijen, karbondioksit, karbonmonoksit, hidrojen, hidrojen sülfid, halokarbon gazlar, etanol, amonyak, egsoz gazları, LPG, propan, bütan, doğal gaz, metan gibi gazları algılayan gaz algılayıcıları üretilmektedir.

1.1.9. Elektronik Birim

Alkole duyarlı TGS-2620 gaz algılayıcısının devre bağlantı şeması Şekil 1.16'da verilmiştir. Bu şemada R_H gaz algılayıcısının ısıtma direncini, R_S gaz algılayıcısının gaz ile değişen direncini, R_L algılayıcıya seri olarak dışarıdan bağlanacak direnci, V_H ısıtma gerilimini ve V_C ise besleme gerilimlerini temsil etmektedir.

Şekil 1.16'da verilen gaz algılayıcı devresinin 1-4 nolu uçlarına V_H gerilimi uygulanarak algılayıcı ısıtılmakta ve çalışma sıcaklığına ulaştırılmaktadır. Algılayıcının 2 nolu ucuna R_L direnci bağlanmıştır. Algılayıcının 3 nolu ucu ile R_L 'nin diğer ucuna V_C uygulanmıştır. TGS-2620 gaz algılayıcısı için, alkol gazı algılayıcıya ne kadar temas ederse algılayıcının iletkenliği o kadar artacak ve R_S direnci aynı oranda azalacaktır. R_S direnci değiştikçe R_L üzerindeki gerilim de değişecektir.



Şekil 1.16. TGS-2620 gaz algılayıcısı devre bağlantı şeması

Ortamdaki gaz miktarını gözlemlemek için gaz algılayıcısının iletkenliğini ya da seri bağlanan direncin gerilimini izlemek gerekmektedir. Analog bilgi olan R_L üzerindeki gerilim, analog dijital dönüştürücü kart (Data Acquisition Card) ile sayısal olarak dönüştürülerek bilgisayara alınmakta ve orada kullanılmaktadır.

1.1.10. Yazılım Birimi

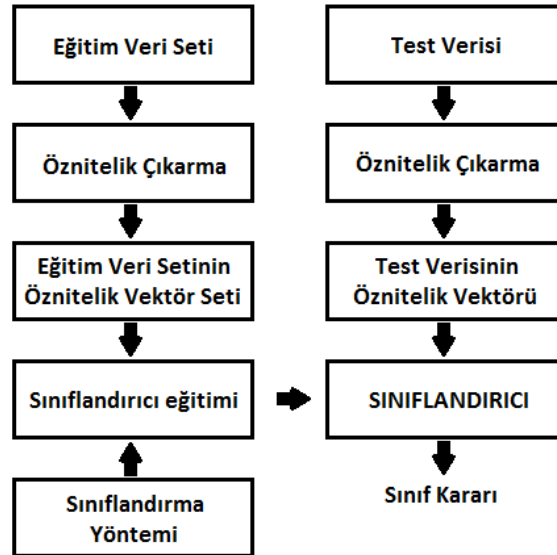
Bu birimde bilgisayara alınan veriler eldeki mevcut bilgiler ışığında işlenerek, elektronik burunun aldığı kokunun ne olduğuna karar verilir. Bu işlemin genel adı sınıflandırma olup bir sonraki bölümde anlatılmıştır.

1.1.11. Sınıflandırma

Sınıflandırmanın amacı; verileri, gerektiği takdirde belli bir önışlemden geçirerek, uygun öznitelikler çıkartıldıktan sonra sınıflandırma algoritmalarıyla kendilerine en yakın sınıfa minimum hata ile eşleştirmektir.

Zaman serilerine odaklanan bilim dalı “işaret işleme” ve fotoğraf-video gibi görüntülerle uğraşan bilim dalı ise “görüntü işleme” adıyla anılır. “Örüntü tanıma” adlı alan ise zaman serileri ve görüntüleri de içeren her tür işaretten özellik çıkartmayı amaçlar [92]. Örüntü, ilgilenilen varlıklar ile ilgili gözlenebilir veya ölçülebilir bilgilere verilen addır [93].

Her zaman en iyi sınıflandırmayı yapan bir sınıflandırma algoritması yoktur. Farklı problemler için sınıflandırma yöntemlerinin performansları farklılıklar gösterebilmektedir. Şekil 1.17’de bir sınıflandırma yönteminin genel akış diyagramı gösterilmektedir [94].



Şekil 1.17. Sınıflandırma Yönteminin Genel Akış Diyagramı

1.1.12. İşaret Önişleme

Sınıflandırmadan önce gaz algılayıcı verilerine uygulanabilecek önişlemler şöyle sıralanabilir:

1. Algılayıcıdan elde edilen verinin hepsi sınıflandırmada kullanılmayabilir, algılayıcıdan elde edilen veriden sadece kullanılmak istenen veri kısmı alınabilir.
2. Algılayıcıların referans düzeyleri eşitlenebilir.
3. Algılayıcıdan alınan işaret zayıfsa kuvvetlendirilebilir,
4. Algılayıcıdan alınan işaret yanında gürültü varsa filtreleme yapılabilir.

1.1.13. Öznitelik Çıkartma

Herhangi bir problemin makine öğrenmesi yöntemleriyle çözülebilmesi için sistemin uygun şekilde temsil edilmesi gerekir. Literatürde önerilmiş birçok özellik çıkartma yöntemi vardır. Bu çalışmada kullanılan öznitelik çıkartma yöntemleri ve matematiksel ifadeleri aşağıda verilmiştir [92, 95-96].

Toplam: Kullanılan öznitelik çıkartma yöntemlerinden birincisi; algılayıcıdan elde edilen veriler kümesinin toplanmasıdır. Böylece onlarca, yüzlerce belki de binlerce veri tek değere indirgenmiş olur.

$$F1 = \text{Sum}(X) = \sum_{i=1}^n (x_i) \quad (1.3)$$

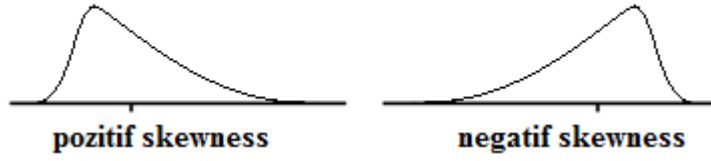
Ortalama: Algılayıcıdan elde edilen verilerin ortalaması alınmaktadır.

$$F2 = \text{Mean}(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i) \quad (1.4)$$

Varyans: Algılayıcıdan elde edilen veriler kümesinin varyansı hesaplanmaktadır.

$$F3 = \text{Var}(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad (1.5)$$

Skewness: Veri dağılımının simetrisinin ölçümüdür. Bu yöntem ile veri kümesinin asimetrikliğinin derecesi hesaplanır. Normal dağılımlı bir veri simetriktir ve simetrik veri kümeleri için skewness değeri 0'dır. Şekil 1.18'de pozitif ve negatif skewness asimetriklikleri verilmiştir [97].



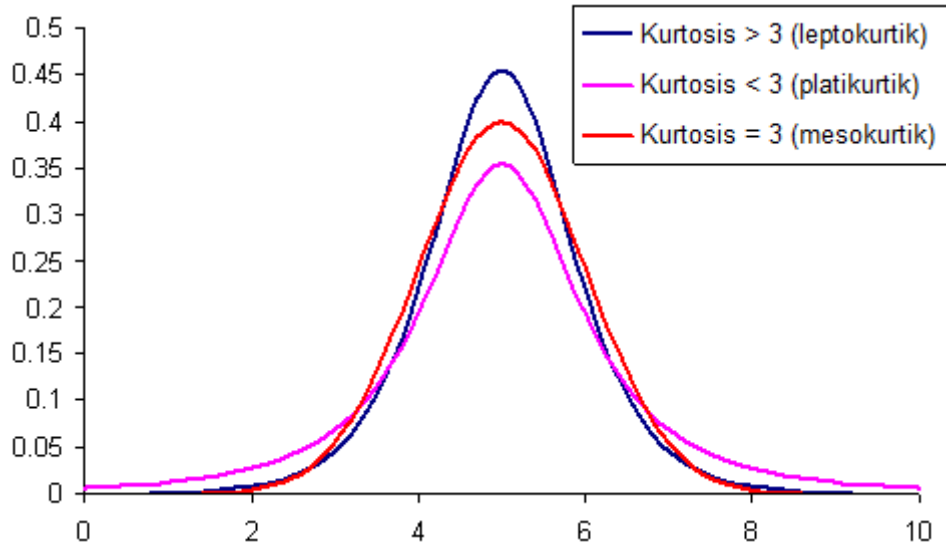
Şekil 1.18. Pozitif ve negatif skewness asimetriklikleri

Bir veri kümesinde skewness (1.6) nolu bağıntıdaki gibi elde edilebilir.

$$F4 = Skewness(X) = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{\left(\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \right)^3} \quad (1.6)$$

Burada x , sinyale ait değerleri, n , x 'in uzunluğunu ve μ , x 'in ortalamasını ifade etmektedir.

Kurtosis: Veri kümesindeki eğrinin tepesindeki sivriliğin ölçümüdür. Eğrinin tepesi sivriyse leptokurtik, tepesi basıksa platikurtik dağılım mevcuttur. Şekil 1.19'da pozitif ve negatif kurtosis eğrileri verilmiştir.



Şekil 1.19. Pozitif ve negatif kurtosis eğrileri

Bir veri kümesinde kurtosis değeri (1.7) nolu bağıntıdaki gibi elde edilebilir.

$$F5 = Kurtosis(X) = E\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^4 - 3 \quad (1.7)$$

Burada; x , sinyale ait değerleri, n , x 'in uzunluğunu, μ , x 'in ortalamasını, E , işaretin miktarını, σ , standart sapmayı göstermektedir [98].

Tekil Değer Ayrışması: Bir matrisin Tekil Değer Ayrışması (TDA) olarak da bilinen Singular Value Decomposition (SVD) (1.8) nolu bağıntıdaki gibi hesaplanmaktadır [99].

$$F6 = A = U\Sigma V^T \quad (1.8)$$

Burada; U , ($m \times m$) ortagonal matris, V , ($n \times n$) ortagonal matris ve Σ , diagonal matristir.

Doğru öz niteliklerin kullanılması direkt olarak sınıflandırıcının performansını etkilemektedir [31].

1.1.14. Sınıflandırma Algoritmaları

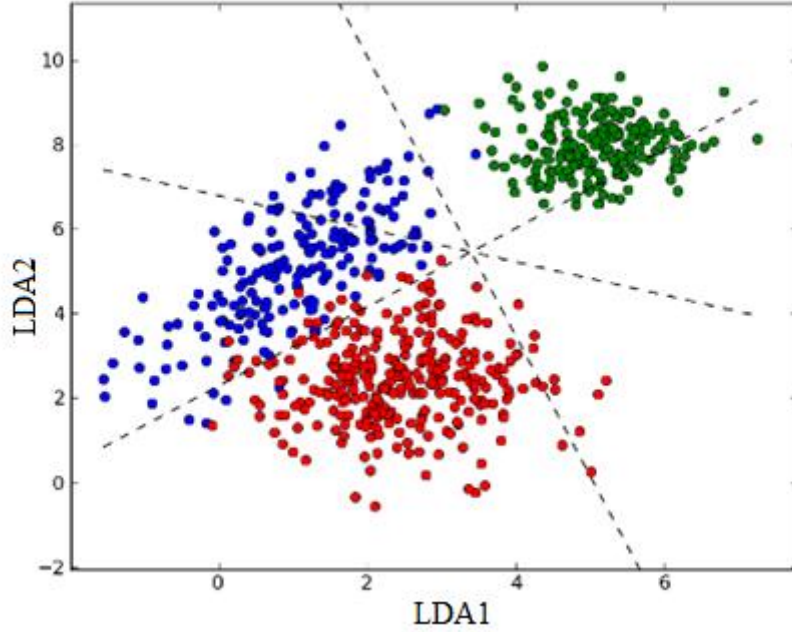
1.1.14.1. Doğrusal Ayırma Analizi Algoritması

Ronald A. Fisher'in bulduğu bu yöntemde, Doğrusal Ayırma Analizi (DAA) (linear discriminant analysis, LDA), veri içerisinde bulunan farklı sınıflara ait grupların doğrusal ayrılabilirliğini maksimize ederek boyut azaltması yapan bir yöntemdir. Her grup içerisindeki değerlerin varyansını minimum ve grupların ortalamalarını birbirlerinden maksimum düzeyde uzak tutar [92,100].

$$y = w^T x + w_0 \quad (1.9)$$

Burada x özellik vektörüdür. w ve w_0 vektörleri, sınıflararası ortalamanın maksimizasyonu ve sınıflararası varyansın minimizasyonu olarak tanımlanır [101].

Doğrusal ayırma analizi sınıflandırması Şekil 1.20'de gösterilmektedir.



Şekil 1.20. Doğrusal ayırma analizi sınıflandırması

1.1.14.2. Naïve Bayes Algoritması

Naïve Bayes sınıflandırıcısı, adını Matematikçi Thomas Bayes'den alan ve Naïve bağımsızlık varsayımı ile Bayes Teoremi'ne dayanan bir sınıflandırma algoritmasıdır. Naïve Bayes sınıflandırması, olasılık ilkelerine göre tanımlanmış bir dizi hesaplama ile sisteme sunulan verilerin sınıfını tespit etmeyi amaçlar.

Naïve Bayes sınıflandırmasında sisteme belirli bir oranda öğretilmiş veri sunulur. Öğretim için sunulan verilerin mutlaka bir sınıfı/kategorisi bulunmalıdır. Öğretilmiş veriler üzerinde yapılan olasılık işlemleri ile sisteme sunulan yeni test verileri, daha önce elde edilmiş olasılık değerlerine göre değerlendirilir ve verilen test verisinin hangi sınıfa ait olduğu tespit edilmeye çalışılır. Eğitim verisi ne kadar çok ise, test verisinin gerçek sınıfı o kadar doğru tespit edilecektir [101, 102].

Bayes sınıflandırıcısı, eğitim verilerinin bütün özniteliklerinin herbir sınıf için, olma olasılıklarını hesaplar. Bu sayede bütün özniteliğin farklı sınıflar için bir olma olasılığı elde edilmiştir. Daha sonra test verisi sınıflandırılırken, test verisinin öznitelikleri çıkartılır ve özniteliklerin herbir sınıf için olma olasılıkları çarpılarak, test verisinin bütün sınıflar için bir olasılığı elde edilir. Hangi sınıf için daha büyük olasılık elde edilirse, test verisi o sınıfa atanmaktadır.

Bayes teoremi (1.10) nolu bağıntıda verilmiştir.

$$P(A/B) = \frac{P(B/A)P(A)}{P(B)} \quad (1.10)$$

$P(A/B)$: B olduğu zaman A'nın olma olasılığı

$p(B/A)$: A olduğu zaman B'nin olma olasılığı

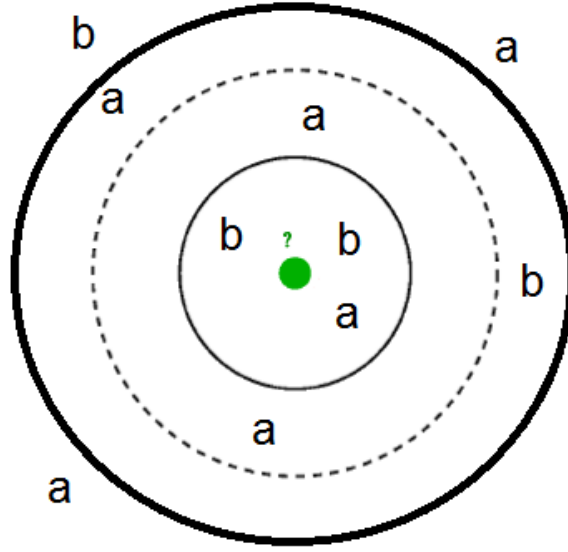
$p(A)$: A'nın olma (önsel, tecrübeye dayalı) olasılığı

$p(B)$: B'nin olma (önsel, tecrübeye dayalı) olasılığı

1.1.14.3. k En Yakın Komşu Algoritması

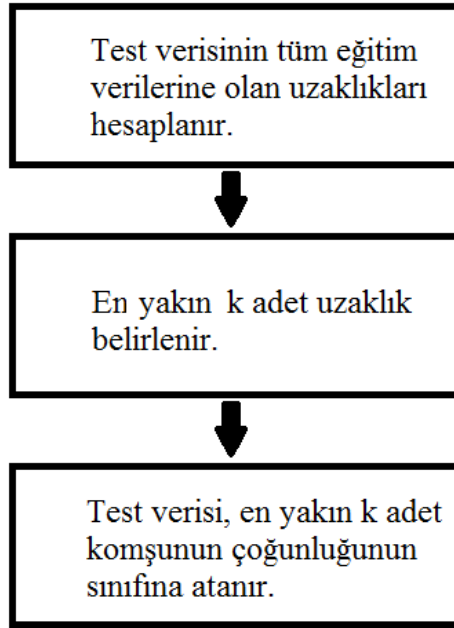
En yakın k komşuluğu algoritması (k nearest neighbour, kNN), test örneğinin sınıfını en yakın k adet eğitim verisinin çoğunluğunun sınıfına göre belirleyen genel bir sınıflandırma algoritmasıdır. kNN algoritmasının performansı metrik uzaklığa ve en yakın eğitim örnek sayısı olan k'ya bağlıdır [101,103].

kNN sınıflandırma yapısı Şekil 1.21'de verilmiştir. Şekilde “a” ve “b” rakamları eğitim verilerinin sınıflarını, en iç dairede bulunan “x” rakamı ise test verisini temsil etmektedir. kNN sınıflandırmasında “k” komşu sayısı 3 olarak alındığında “x” verisi “b” sınıfına atanmaktadır. Çünkü en yakın 3 komşu en iç dairededir ve bunların çoğunluğu “b” sınıfına ait verilerdir. “k” komşu sayısı 5 olarak alındığında “x” verisi “a” sınıfına atanmaktadır. Çünkü en yakın 5 komşu, kesik çizgilerle gösterilen içten ikinci dairededir ve bu verilerin çoğunluğu “a” sınıfına aittir. “k” komşu sayısı 7 olarak alındığında “x” verisi yine “a” sınıfına atanmaktadır. Çünkü en yakın 7 komşu, kalın çizgiyle gösterilen içten üçüncü dairededir ve bu verilerin çoğunluğu “a” sınıfına aittir.



Şekil 1.21. kNN Sınıflandırma yapısı

En yakın k komşuluğu sınıflandırmasının akış diyagramı Şekil 1.22’de verilmiştir.



Şekil 1.22. kNN Sınıflandırmasının akış diyagramı

Bu tez çalışmasında (1.11) nolu bağıntıda verilen metrik Öklit uzaklığı kullanılmıştır.

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (1.11)$$

Burada i ve j noktaları arasındaki uzaklık hesaplanmaktadır. p öznitelik sayısını temsil etmektedir. Bir x_i verisinin p kadar özvektörü diğer x_j verisinin p kadar özvektörü ile kıyaslandığında d uzaklığına bakılmaktadır.

Bu çalışmada k parametresi 3, 5, 7 ve 9 olarak seçilmiştir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Literatüre Katkıları

Çalışmanın amacı ve literatüre olan katkıları şunlardır:

1. Yeni bir teknoloji olan elektronik burunun insan hayatına sağlayacağı kolaylıklar ve getireceği kalite standartları göz önünde bulundurularak, ülkemizde henüz yeni yeni çalışılmaya başlanan e-burun konusu tercih edilmiş ve üretilebildiği takdirde bu teknoloji ile yapılacak otomasyonlarla üretim sektöründe çeşitli iyileştirmeler yapılabileceği düşünülmüştür.
2. Yapılan araştırmalar sonucu bölgemizde yetişen çayın üretiminin geleneksel yollarla yapıldığı ve mevcut teknoloji ile çay üretiminin ancak bu şekilde fabrikasyon hale getirilebildiği, bu şekilde de kalite standartlarının çok zor yakalandığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada çayın kalitesini artıracak, zaman ve enerji tasarrufu sağlayacak bir online fermantasyon denetimi amaçlanmıştır. Elektronik burunla fermantasyon aşamasındaki çayın kalitesini belirlemek ve buna göre fabrikanın otomasyonun sağlanması amaçlanmıştır.
3. Kurulması amaçlanan sistem ile:
 - Çayın zorunlu olarak 2 saat 15 dakika fermente edilmesi yerine, istenilen kalite yakalandığı anda çay fırına gönderilerek çay kalitesi yükseltilecektir.
 - Üretim bandında 2 saat 15 dakika zorunlu olarak bekletilen çay banttı daha erken ayrılabilir, boşalan fermantasyon bandında yeni fermantasyon başlayacağı için aynı sürede eskiye nazaran daha fazla ürün üretilebilecektir.
4. Elektronik burun teknolojisini ülkemiz ve üniversitemiz bünyesinde üreterek, bundan sonraki çalışmalara temel oluşturabilmek amaçlanmıştır.
5. Literatürde yapılan çalışmalar laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar olup, birçoğunda işlemi tamamlanmış çaydan bir likör hazırlanarak, onun kokusu değerlendirilmektedir. Bazı çalışmalarda fermantasyon aşamasındaki çayın kalitesi e-burun düzeneğinin örnek kabına 50 gr. konarak değerlendirilmiştir. Fermantasyon bandı üzerinden alınan çay kokusundan çay kalitesi tespiti yapılmamıştır.

6. Kullanılan öznitelik çıkartma ve sınıflandırma yöntemleri ile hava debisi düzenleyici kullanılmadan sınıflandırma yapılmıştır.

1.3. Tez Çalışmasının Kapsamı

Bu tez çalışmasında; elektronik burunla, fermente edilmekte olan çayın kokusundan, çayın kalitesi tespit edilmiş ve çay fabrikalarındaki fermantasyon ünitesi bilgisayarda benzetim tabanlı denetlenmiştir. Veri kümeleri 6 farklı çay fermantasyonunun toplam 64 farklı zamanında kaydedilmiştir.

Tez çalışmasının bölümleri aşağıda verilmiştir.

Birinci bölümde; çalışma konusu olan çay, elektronik burun ve kullanılan sınıflandırma yöntemleri (Doğrusal Ayırma Analizi Algoritması, Naive Bayes Algoritması ve k En Yakın Komşu Algoritması) ile ilgili genel bilgiler verilmiş, literatürdeki ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir. Ayrıca yapılan tez çalışmasının amacı ve literatürdeki yeri belirtilmiştir. İkinci bölümde tez kapsamında yapılan çalışmalar verilmiştir. Hazırlanan elektronik burun düzeneği, çay verilerinin elde edilişi, verisi elde edilen çayların kalitelerinin nasıl belirlendiği, elde edilen verilerin nasıl değerlendirildiği bu bölümde anlatılmıştır. Üçüncü bölümde; yapılan fabrika otomasyonu benzetimi verilmiştir. Dördüncü bölümde; elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve değerlendirilmiştir. Son bölümde ise çalışmaya ait bazı öneriler verilmiştir.

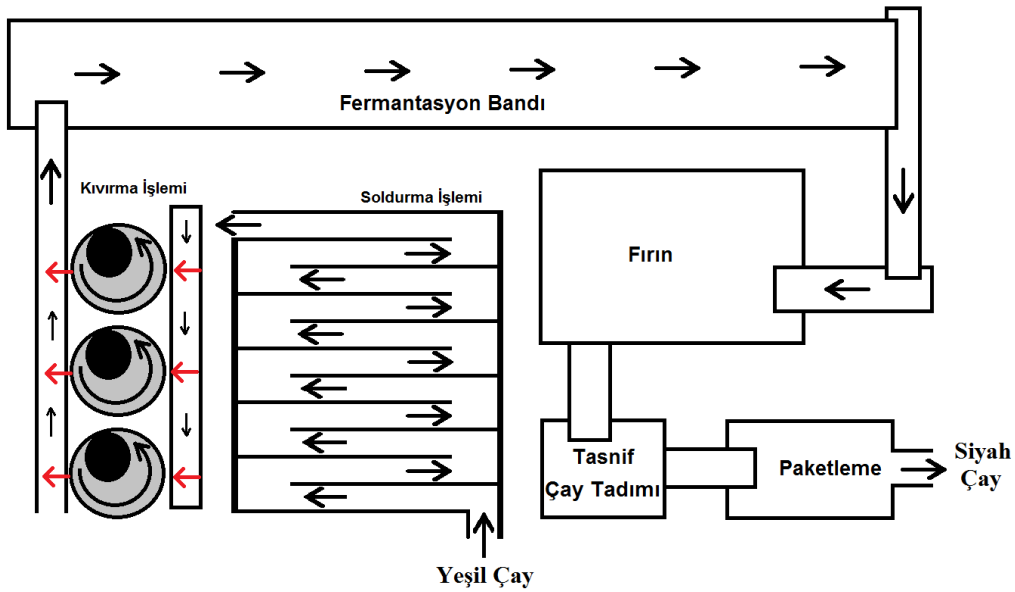
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu tez çalışmasında 13 adet gaz algılayıcı kullanılarak bir elektronik burun yapılmış ve bu elektronik burunla Rize Çayeli Abdullah Hoca Köyü adresinde bulunan Okumuş Çay Sanayi'nde üretim esnasında, çay kokuları bilgisayara kaydedilmiştir. Kokusu kaydedilen çaylardan numuneler alınarak bu çayların kalite analizleri yaptırılmıştır. Kaliteleri belirlenen çayların kokuları çeşitli sınıflandırma algoritmaları aracılığıyla sınıflandırılmıştır.

Türkiye'deki çay fabrikalarında uygulanan üretim yönteminin genel akış şeması Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Çay bahçesinden toplanan yeşil çay yaprakları soldurma ünitesine alınarak 7-8 saat kadar sıcak hava ile suni soldurma işlemine tabi tutulmaktadır. Daha sonra kıvrırma ünitesinde 45 dakika kıvrılmakta yani parçalanmaktadır. Kıvrırma ünitesinde yaprak parçalandığı an başlayan fermantasyon işlemi, fermantasyon bandında istenilen nem ve sıcaklık değeri ayarlanmaya çalışılarak 2 saat 15 dakika daha devam etmektedir. Yeşil çay fermantasyon sonucu siyah çay olmaktadır. Oluşturulan yaş siyah çay fırında kurutulmakta ve daha sonra çay tadımı ile kalitesi belirlenerek kalitesine uygun ambalajlanmaktadır.

Burada; kıvrırma ünitesinden fermantasyon bandına giren çayın bölgesi işaretlenerek, belirli aralıklarla işaretlenen çay bölgesinin kokusu bilgisayara alınmış ve kokusu alınan çay bölgesinden yaklaşık 200 gr. çay örneği alınarak kurutulmuştur.



Şekil 2.1. Çay fabrikalarındaki mevcut üretim genel akış şeması

Bu şekilde 6 fermantasyon sürecinin farklı zamanlarında 64 veri kaydedilmiştir. Kokusu kaydedilen çayların kaliteleri hem 8 ayrı çay tadımcısına yaptırılan çay tadımı ile hem de tf/tr kimyasal analizi ile belirlenmiştir. Kalitesi belirlenen çay verileri;

- Düşük kalite çay,
- Orta kalite çay,
- Yüksek kalite çay

olmak üzere 3 sınıfa ayrılmıştır. 64 verinin 33 tanesi ile öğretim verisi (training datası) olarak kullanılmış, diğer 31 tanesi test datası olarak kullanılmıştır. Yapılan sınıflandırma ile bilgisayar, 31 tane tanınmayan çay verisini % 74,19 doğrulukla tanımlamıştır.

2.2. E-Burun Donanımı

Elektronik burun donanımının temelini gaz algılayıcılar oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında hem geniş gaz algılama yelpazesine sahip gaz algılayıcıları mevcut olduğu için, hem kolay temin edilebildiği için, hem de fiyatı bakımından çok uygun olduğu için Figaro marka Metal Oksit Yarı İletken (Metal Oxide Semiconductor-MOS) gaz algılayıcıları kullanılmıştır.

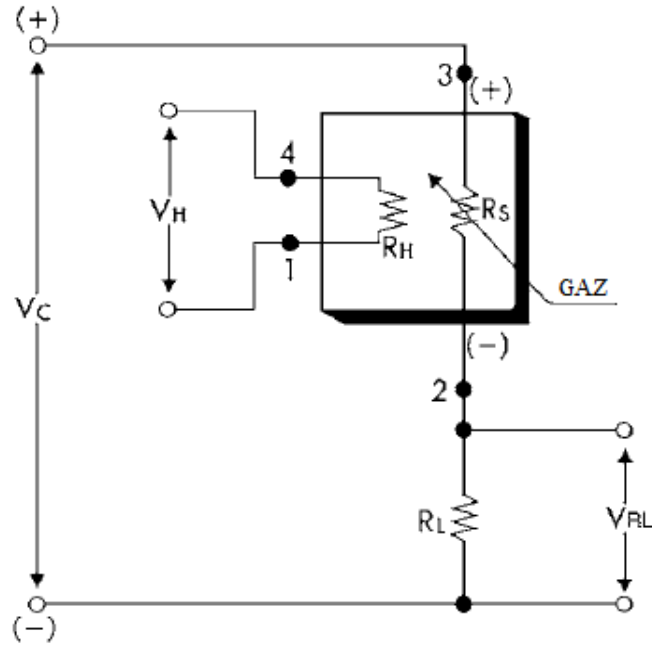
Gerçekleştirilen e-burun donanımında Tablo 2.1’de verilen 13 adet gaz algılayıcısı mevcuttur. Bu gaz algılayıcılarından TGS-2201 modeli gaz algılayıcısı çift elementlidir, iki farklı gaz için iki farklı çıkış mevcuttur. Dolayısıyla 13 tane Figaro marka (Tablo 2.1) gaz algılayıcıdan toplam 14 çıkış elde edilmiştir.

Tablo 2.1. Elektronik burunda kullanılan gaz algılayıcıları

TGS-813	:	Yanıcı gazlar, HC
TGS-825	:	Hidrojen sülfid
TGS-826	:	Amonyak
TGS-830	:	Halokarbon gazlar (CFC, HCFC)
TGS-880	:	Ethanol
TGS-2104	:	Hava kalitesi/ Egzoz gazları
TGS-2180	:	Mikrodalga fırın/Su buharı
TGS-2201	:	Hava kalitesi/Çift algılayıcı element
TGS-2602	:	Hava kalitesi
TGS-2610	:	Propan, Bütan, LPG
TGS-2611	:	Metan, Doğal gaz
TGS-2620	:	Alkol, Organik kokular
TGS-5042	:	Karbon monoksit (CO)

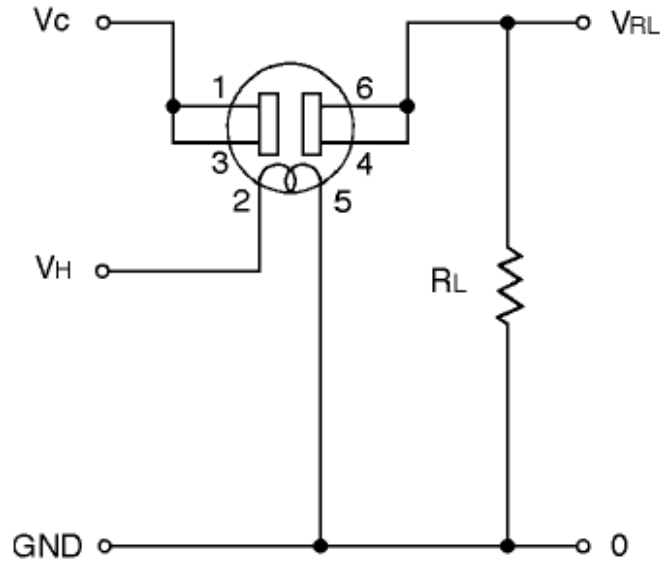
Tablo 2.1’de verilen algılayıcıların çalışmaları için hazırlanan elektrik devreleri Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’de gösterilmiştir.

Şekil 2.2’de verilen devrede gaz algılayıcı 4 bacaklıdır. Algılayıcının 1-4 bacaklarına V_H ısıtma gerilimi uygulanarak algılayıcı ısıtılmaktadır. 2 nolu bacağa R_L direnci bağlanmaktadır. 3 nolu bacak ile R_L direncinin diğer ucuna V_C gerilimi uygulanmaktadır. Gaz molekülleri algılayıcıya temas ettikçe, algılayıcının iletkenliği artmakta, direnci azalmaktadır. R_S direnci azaldıkça R_L direnci üzerindeki gerilim artmaktadır. R_L direnci üzerindeki gerilim izlenerek ortamdaki gaz miktarı tespit edilmektedir.



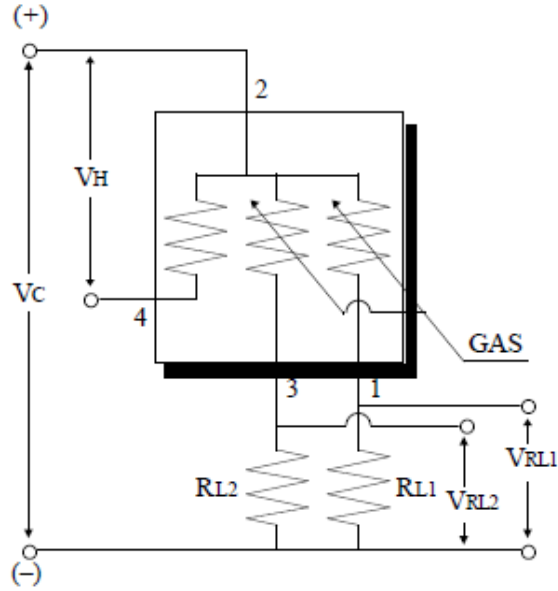
Şekil 2.2. TGS-21xx, TGS-26xx gaz algılayıcılarının çalıştırıldığı elektrik devre şeması

Şekil 2.3’de de aynı durum söz konusudur. Algılayıcıya uygulanan gaz miktarı arttıkça algılayıcının iletkenliği artmakta ve R_L üzerindeki gerilim artmaktadır.

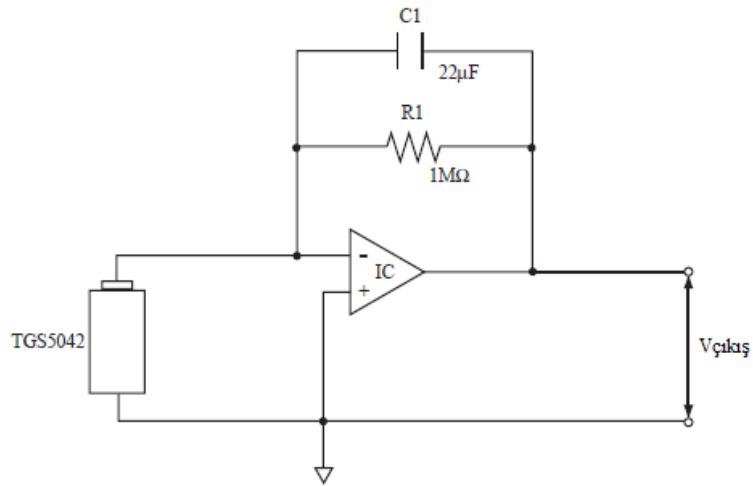


Şekil 2.3. TGS-8xx gaz algılayıcılarının çalıştırıldığı elektrik devre şeması

Şekil 2.4’de çift algılayıcı elementli bir gaz algılayıcısı olan TGS-2201’in devre şeması verilmiştir. R_{L1} üzerinden dizel egsoz gazı olan NO_2 gazı, R_{L2} üzerinden benzin egsoz gazı olan CO ve H_2 gazlarının ortamdaki değişimi izlenebilmektedir.



Şekil 2.4. TGS-2201 gaz algılayıcısının çalıştırıldığı elektrik devre şeması



Şekil 2.5. TGS-5042 gaz algılayıcısının çalıştırıldığı elektrik devre şeması

Şekil 2.5’de devre şeması verilen TGS-5042 gaz algılayıcısı, karbonmonoksit (CO) gazı ile çok küçük bir gerilim üretmekte ve bu gerilim yükselteç ile yükseltilerek çıkış gerilimi elde edilmektedir. TGS-5042 için R_1 direnci $1M\Omega$, C_1 kapasitesi $22\mu F$ ve IC

entegresi AD708 olarak kullanılmıştır, diğer gaz algılayıcılarının teknik özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Kullanılan gaz algılayıcılarının teknik özellikleri

		TGS-813- 82x-830-2180	TGS-26xx	TGS-880	TGS- 2104-2201
V_C	Devre Gerilimi (maksimum)	24V	5V	10V	15V
V_H	Isıtıcı Gerilimi	5V	5V	5V	7V
R_L	Yük Direnci	470 Ω	470 Ω	4k Ω	470 Ω

Şekil 2.2-2.3-2.4-2.5’de gösterilen devre şemaları 11x11cm.’lik tek devrede toplanarak oluşturulan algılayıcı bloğunun fotoğrafı Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6. Algılayıcı Bloğu Fotoğrafi

Şekil 2.6’da gösterilen algılayıcı bloğu, duvar kalınlığı 1 cm. olan 13x14x13cm.’lik bir alüminyum koku odası içerisine yerleştirilerek oda içi hava ile oda dışı hava izole edilmiştir.

Gerçekleştirilen koku odası ve odaya gaz giriş-çıkışları için kapı görevi gören selenoid vanaların fotoğrafı Şekil 2.7’de verilmiştir.

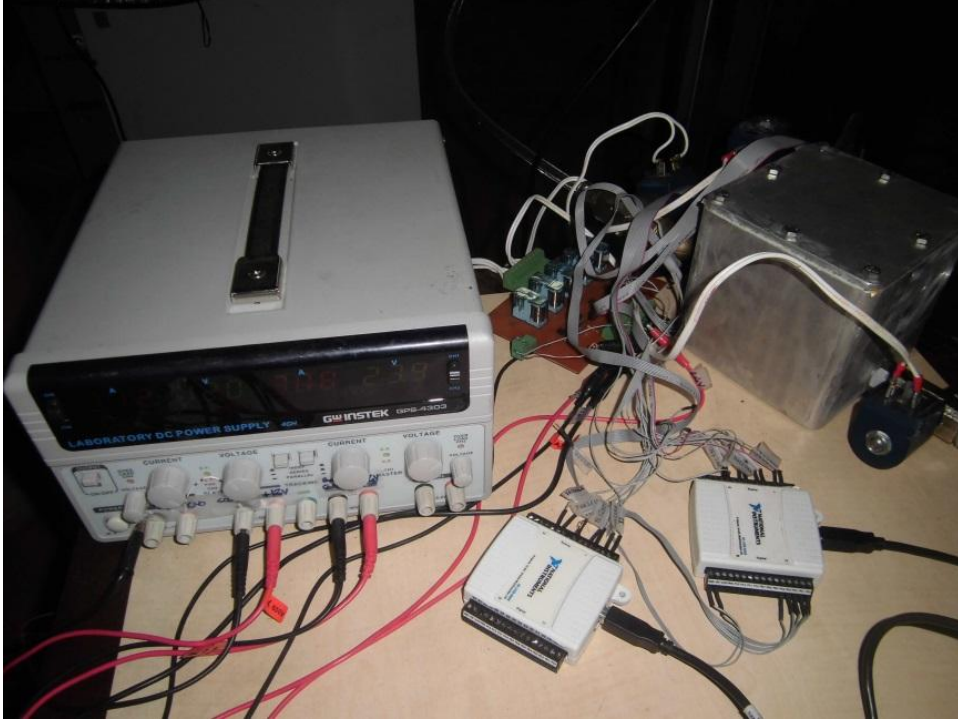


Şekil 2.7. Koku odası ve selenoid vanaların fotoğrafı

Oluşturulan koku odasının bir giriş ve bir çıkışı mevcuttur. Giriş, gaz algılayıcılarının koku alan yüzeylerine bakacak şekilde olup, çıkış bunun tam karşısına yerleştirilmiştir.

Algılayıcı bloğuna verilen gerilimler ve algılayıcılardan alınan gerilimler Şekil 2.7’de görülen veri kablosu ile iletilmiştir.

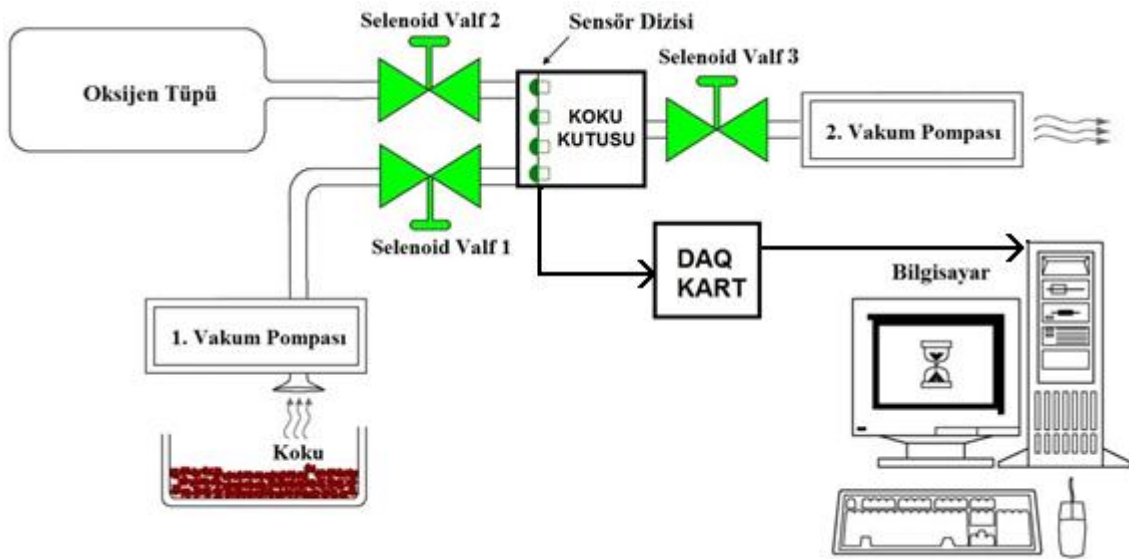
Algılayıcı sinyalleri Şekil 2.8’de fotoğrafı verilmiş olan NI firmasının USB-6008 ve USB-6009 DAQ kartlarından oluşan düzenerle bilgisayara alınmıştır. USB-6009 DAQ kartının 8 adet analog girişi bulunduğundan mevcut girişler için yeterli olmamış ve ilave bir USB-6008 DAQ kart kullanılmıştır. E-burun düzenerinde gerekli olan gerilimler Şekil 2.8’de gösterilen güç kaynağından temin edilmiştir.



Şekil 2.8. NI USB-6008 ve NI USB-6009 DAQ kartlarının fotoğrafı

2.3. E-Burun Koku Alma Düzenegi

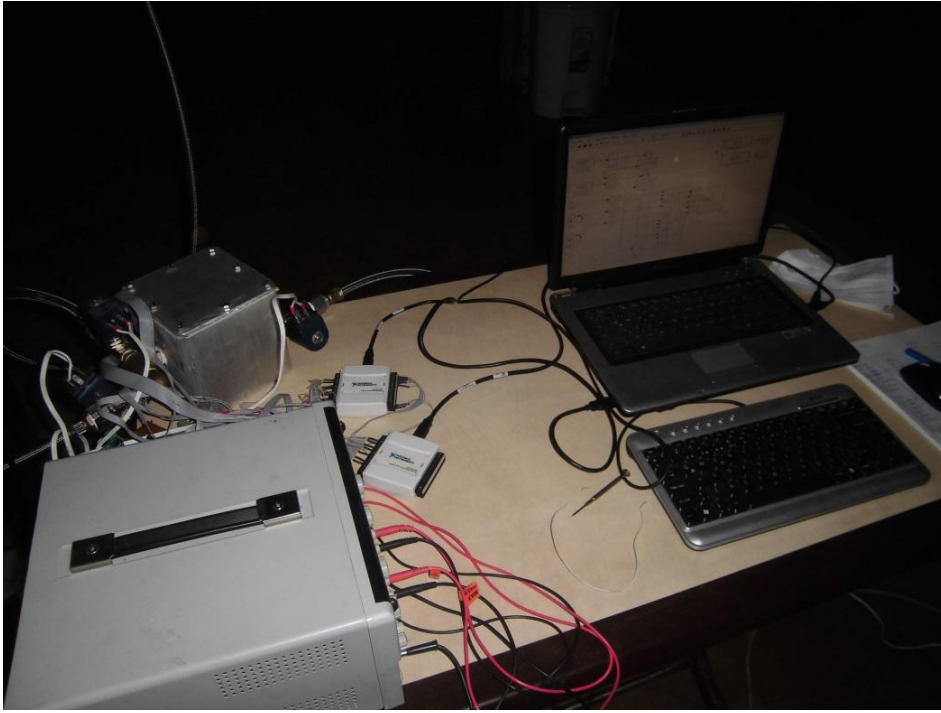
Hazırlanan e-burunla bir kokuyu koklamak ve bu bilgiyi bilgisayara almak için Şekil 2.9'daki düzenek kurulmuştur.



Şekil 2.9. E-burun koku alma düzenegi

Burada; oksijen tüpü gaz algılayıcılarına oksijen vermek ve koklama işlemi öncesi algılayıcıları referans değere çekmek için, 1. vakum pompası istenilen kokunun koku odasına çekilmesi için, 2. vakum pompası koku odasında algılayıcılara nüfuz eden kokunun dışarı çekilmesi için kullanılmıştır. Selenoid vanalar koku odasının hemen dışına yerleştirilmiş olup kapı görevi görerek, odaya istenilen giriş-çıkışın yapılmasını sağlamaktadır. Kullanılan DAQ kart ile analog bir bilgi olan algılayıcı gerilimleri sayısal bilgiye dönüştürülerek bilgisayara iletilmiştir.

şekil 2.10'da e-burunun DAQ kartlar üzerinden bilgisayar ile bağlantısı gösterilmiştir.



şekil 2.10. E-burunun DAQ kartlar üzerinden bilgisayar ile bağlantısının fotoğrafı

şekil 2.9'daki koku alma düzeneğin kullanım sıralaması Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Koku alma düzeneğinin bir koklama çevrimi aşamaları

1. Algılayıcı ön temizlik işlemi:	2 ve 3 numaralı selenoid vanalar açılarak koku kutusu içerisindeki algılayıcılara 10 sn. boyunca oksijen verilmiş ve algılayıcılar sadece oksijen gazına tepki vermişlerdir. Bu işlem bütün koklama turlarında standart hale getirilmiş ve bu sayede bütün koklamalarda başlangıç için ortam kokusundan bağımsız bir referans değer oluşturulmuştur.
2. Koklama işlemi:	1 ve 3 nolu selenoid vanalar açılarak 30 saniye boyunca fotoğraf 1’de görüldüğü gibi çay kokusu 1. vakum pompası tarafından koku kutusuna (algılayıcılara) çekilmiş olup, kutu içerisindeki hava da 2. vakum pompası tarafından dışarı atılarak kutu içi hava sirkülasyonu sağlanmış ve kokular algılayıcılara hep güncel olarak gelmiştir.
3. Koku kilit işlemi:	Bütün selenoid vanalar kapatılarak koku 10 saniye boyunca koku odasında kilitlenmiştir. Burada bazı algılayıcıların geç tepkime vermesine ihtimal verilmiş olup ortamdaki koku miktarı sabit iken algılayıcıların iletkenlik değişimlerini izlemek amaçlanmıştır.
4. Algılayıcı son temizlik işlemi:	Yine 2 ve 3 numaralı selenoid vanalar açılarak koku kutusu içerisindeki algılayıcılara 10 sn. boyunca oksijen verilmiş ve algılayıcılar oksijenle temizlenmiştir.

Tablo 2.3’de verilen algoritma ve algılayıcı sinyallerinin kaydı, MATLAB’da hem simulink hem de m-file olarak hazırlanan iki programın birlikte çalıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

DAQ kart ile 24 voltla çalışan 3 adet selenoid valf ve 220V ile çalışan 2 adet 650W’lık emme-üfleme motoru sürülemediği için röleler kullanılarak bir sürücü devre hazırlanmıştır. Hem 220V hem de tepe değeri 5V olan ve mV mertebelerinde hassasiyeti olan algılayıcı gerilimlerinin aynı devre üzerinde bulunması gerekmiştir. 220V’un bu çok küçük ve çok hassas gerilimi etkilememesi için 5V ile 220V arası bütün bağlantılar, iki devre arasında optokuplör kullanılarak birbirinden elektriksel olarak izole edilmiştir. E-

burun koku alma dzeneginde, DAQ karttan alınan lojik 1-0'larla motorları sürmek için hazırlanan sürücü devre Şekil 2.11'da gösterilmiştir.



Şekil 2.11. E-burun koku alma dzenegi sürücü devresi fotoğrafı

2.4. Fabrika Kayıtları ve Çayların Kalite Analizleri

Çay kokusu kayıtları, hazırlanan e-burun dzenegi ile Rize Çayeli Abdullah Hoca Köyü adresinde bulunan Okumuş Çay Sanayi'nde, çay sezonunun 2. sürgününde yapılmıştır. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'de e-burun dzenegi ile çay fabrikasında koku kaydı yapımı gösterilmiştir. E-burun ile fermantasyon bandı üzerindeki çay kokuları üretim esnasında alınmış ve çayın o anki kokusu bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 2.12. E-burunun fermantasyon bandından koku alma düzeneğinin fotoğrafı



Şekil 2.13. Kullanılan e-burun düzeneğinin fotoğrafı

Şekil 2.14’de bilgisayara çay kokusu kaydı yaparken çekilen bir fotoğraf görülmektedir.



Şekil 2.14. Bilgisayara çay kokusu kaydı yapılırken çekilen bir fotoğraf

Kokusu bilgisayara kaydedilen çay bölgesinden 200 gram alınarak etüv fırında kurutulmuştur. Bu sayede kokusu bilgisayara kaydedilen çayın kalite değişimi durdurulmuştur. 6 fermantasyon sürecinin farklı zamanlarında 64 veri kaydedilmiştir. Bu çaylar daha sonra kaliteleri değerlendirilmek üzere poşetlenerek muhafaza edilmiştir.

Kokusu kaydedilen 64 adet çay örneğinin, hem çay tadımcısı tadımı ile hem de kimyasal analizle kaliteleri belirlenmiştir.

Farklı çay fabrikalarından 8 çay tadımcısına bu çayların tadımı yaptırılıp çay kaliteleri puanlanmıştır. 8 çay tadımcısının verdiği puanların ortalaması alınmış ve bu puan çay tadımcısı puanı olarak kullanılmıştır. Bu puanlara göre çeşitli kalite sınıfları oluşturulup sınıflandırma çalışmalarına başlanmıştır. Sınıflandırma çalışmaları devam ederken, çay tadımcılarının genel ekseriyetinin paralel karar vermiş olduğuna ancak birkaç numunede çok zıt görüşler olduğuna dikkat edilmiştir. Tablo 2.4’de 2. Fermantasyon çayları için tadımcı puanlamaları verilmiştir. 2-7 numaralı çayın tadımında; 4 numaralı tadımcı, tadım

puanlarının en düşüğü olan 7 puan vermiş, 5 numaralı tadımcı ise aynı çaya, tadım puanlarının en yükseğı olan 17 puan vermiştir.

Tablo 2.4. 2. Fermantasyon çayları için çay tadımcı puanları

NUMUNE KODU	TADIMCILARA GÖRE KALİTE PUANLARI								ORTALAMA KALİTE
	1. T.	2. T.	3. T.	4. T.	5. T.	6. T.	7. T.	8. T.	
2-1	13,0	10,0	12,0	13,0	14,0	14,0	12,0	10,0	12,3
2-2	12,0	11,0	13,0	9,0	14,0	11,0	13,0	11,0	11,8
2-3	13,0	11,0	12,0	8,0	15,0	14,0	12,0	11,0	12,0
2-4	13,0	9,0	12,0	9,0	13,0	12,0	12,0	9,0	11,1
2-5	13,0	11,0	13,0	9,0	14,0	13,0	13,0	11,0	12,1
2-6	14,0	10,0	11,0	11,0	13,0	13,0	11,0	10,0	11,6
2-7	15,0	13,0	9,0	7,0	17,0	9,0	9,0	13,0	11,5
2-8	15,0	12,0	13,0	8,0	15,0	14,0	13,0	12,0	12,8
2-9	14,0	10,0	12,0	9,0	16,0	13,0	12,0	10,0	12,0
2-10	15,0	12,0	11,0	8,0	13,0	14,0	11,0	12,0	12,0
2-11	14,0	11,0	12,0	11,0	14,0	12,0	12,0	11,0	12,1
2-12	14,0	11,0	11,0	10,0	14,0	12,0	11,0	11,0	11,8
2-13	13,0	11,0	10,0	9,0	13,0	15,0	10,0	11,0	11,5

Tadımcı puanlarına %100 güvenilemeyeceğı, nihayetinde bunun insanın duyuşal becerisi ile yapıldığı göz önünde bulundurularak çay kalitesini tartışılmaz doğrulukla veren TF/TR oranlarına göre (kimyasal analiz) çalışmaya karar verilmiştir.

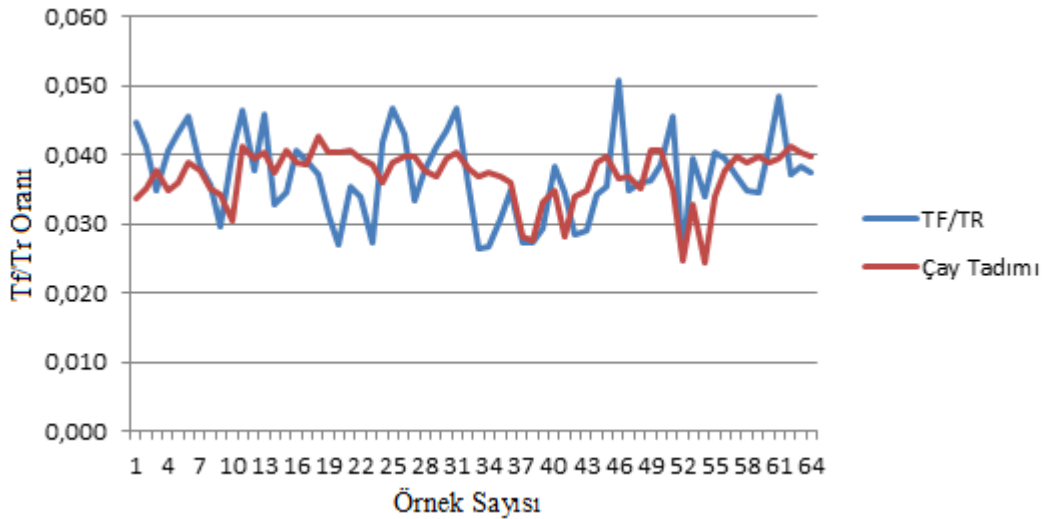
Çayların TF/TR analizleri yapılmıştır. Tablo 2.4’de verilen 2. fermantasyonun TF/TR kimyasal analizinde elde edilen TF/TR oranları Tablo 2.5’de verilmiştir.

Tablo 2.5. 2. Fermantasyon çayları için TF/TR oranları

2. Fermantasyon	Theaflavin (TF) %	Thearubigin (TR)%	TF/TR
1	0,293	6,278	0,047
2	0,288	7,632	0,038
3	0,252	5,488	0,046
4	0,248	7,528	0,033
5	0,263	7,634	0,034
6	0,286	7,040	0,041
7	0,261	6,663	0,039
8	0,308	8,270	0,037
9	0,230	7,304	0,031
10	0,180	6,691	0,027
11	0,299	8,453	0,035
12	0,254	7,514	0,034
13	0,284	10,336	0,027

Tadımcı puanları ile TF/TR kalite analizini birlikte değerlendirebilmek için tadımcı puanıyla ile TF/TR analizi puanları Şekil 2.15’de üstüste bindirilmiştir. 64 çay numunesi için, çay tadımcısı puanları ve TF/TR analizi puanları aynı grafikte verilmiştir. Burada çay tadımcı puanlarını TF/TR analizi puanları seviyesine indirmek için, tadımcı puanları TF/TR analizi puanlarının toplamı ile çarpılmış, tadımcı puanlarının toplamına bölünmüştür.

Bazı örneklerde TF/TR analizi kalite değerlendirmesi ile çay tadımcısı kalite değerlendirmesi uyum gösterse de genelde iki değerlendirme birbiri ile örtüşmemektedir.



Şekil 2.15. 64 çay örneği için çay tadımcısı ve TF/TR analizi puanları grafiği

64 çay örneği hem çay tadımcısı puanlarına göre hem de TF/TR analizi puanlarına göre;

- Düşük kalite çay
- Orta kalite çay
- Yüksek kalite çay

olmak üzere 3 sınıflarına ayrılmışlardır. Çay tadımcısı puanlarına göre oluşturulan kalite sınıfları TF/TR analizi sonuçlarına göre oluşturulan kalite sınıfları ile eşleştirildiğinde, çay tadımcıları TF/TR analizine göre sadece 21 çay örneğini başarı ile sınıflandırabilmişlerdir. Çay tadımcılarının TF/TR analizine göre kalite tespiti başarımları % 32,81'de kalmıştır.

2.5. Kayıtların Değerlendirilmesi

Çalışmanın temelinde gaz ile iletkenliği değişen gaz algılayıcısı vardır. Şekil 1.16-2.1-2.2-2.3'de görülen gaz algılayıcı devrelerinde algılayıcıya seri bağlanan direnç üzerindeki gerilim verileri bilgisayara kaydedilmiştir. Bu devrelerin büyük çoğunluğunda devre gerilimi olarak 5V, yük direnci olarak da 470Ω kullanılmıştır. Bu değerleri referans alarak algılayıcı iletkenliği σ_S (Ü),

$$I_S = \frac{V_C - V_L}{R_S} = \frac{5 - V_L}{R_S} = \sigma_S \cdot (5 - V_L) \quad (2.1)$$

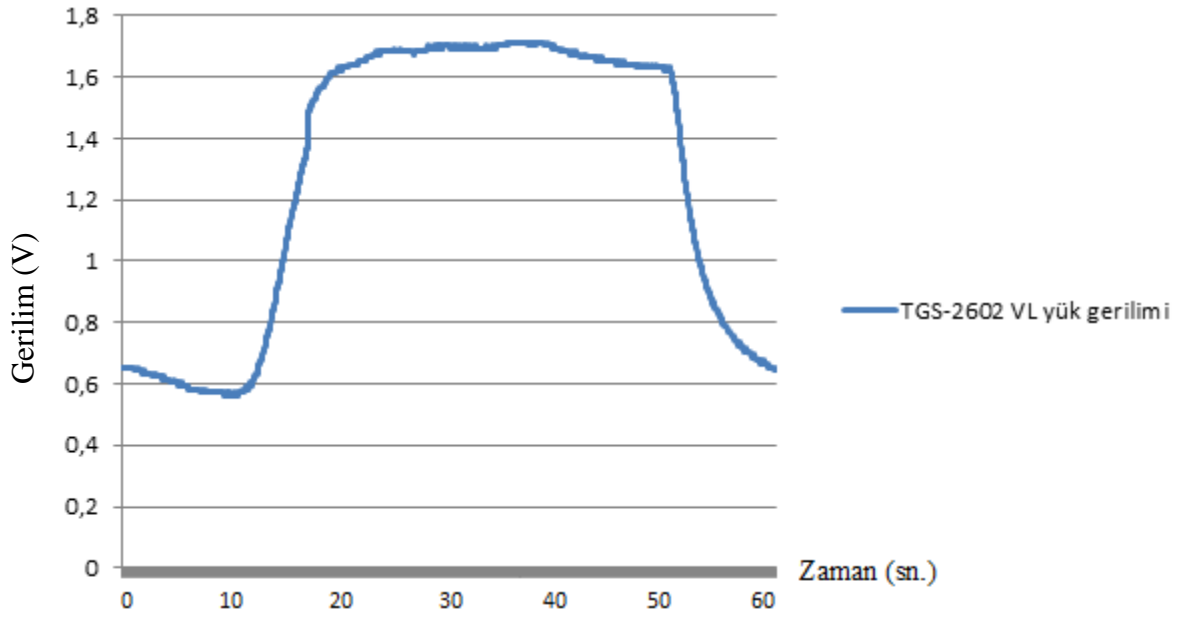
$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{V_L}{470} \quad (2.2)$$

$$I_S = I_L \quad (2.3)$$

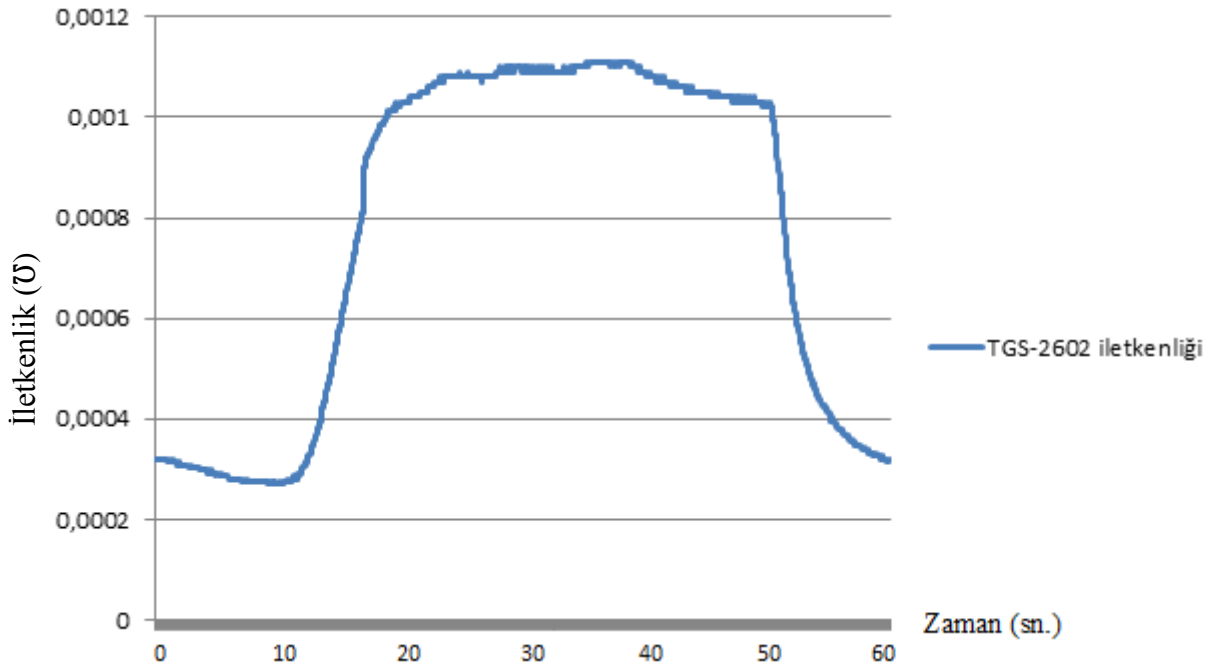
$$\sigma_S(\text{Ü}) = \frac{\frac{V_L}{470}}{5 - V_L} \quad (2.4)$$

olarak hesaplanır.

Ancak algılayıcıların iletkenlikleri hesaplandığında algılayıcıya paralel bağlı R_L direnci üzerindeki V_L gerilimi ile orantılı olduğu görülmüştür. Şekil 2.16'da bir koklama döngüsü için TGS-2602 gaz algılayıcısının V_L geriliminin grafiği verilmiştir. Aynı gaz algılayıcısının aynı koklama döngüsü için σ_S iletkenliği hesaplanmış ve Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



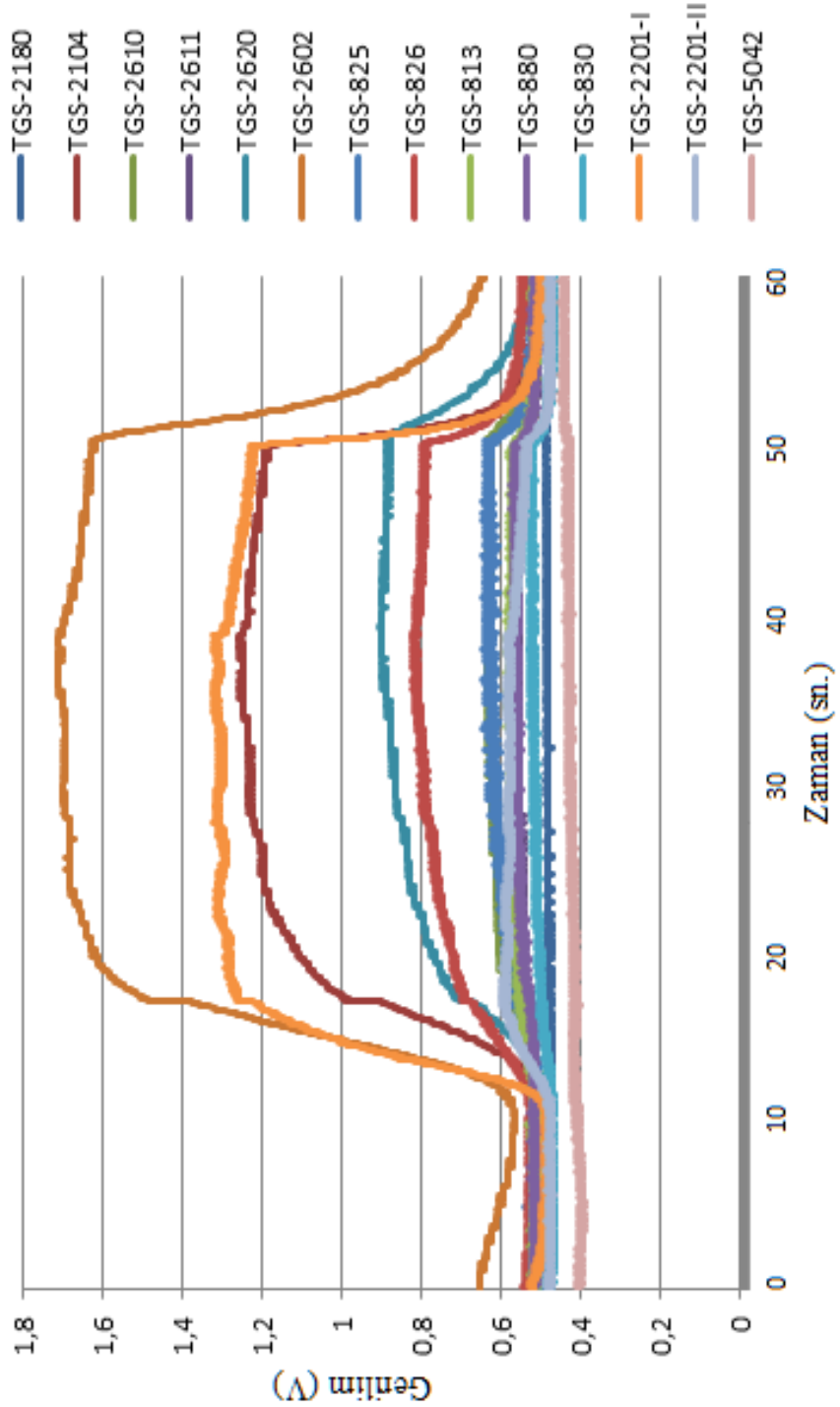
Şekil 2.16. TGS-2602'nin bir koklama döngüsü için V_L yük gerilimi grafiği



Şekil 2.17. TGS-2602'nin bir koklama döngüsü için algılayıcının σ_S iletkenlik grafiği

Şekil 2.16 ve Şekil 2.17'de görüldüğü gibi V_L direnci üzerindeki gerilim ile algılayıcının iletkenlik değişimi aynı şekilde iki işarettir. Dolayısıyla çalışmanın kalan kısmında iletkenlik hesaplanmadan, algılayıcılardan alınan V_L gerilimleri doğrudan kullanılmıştır.

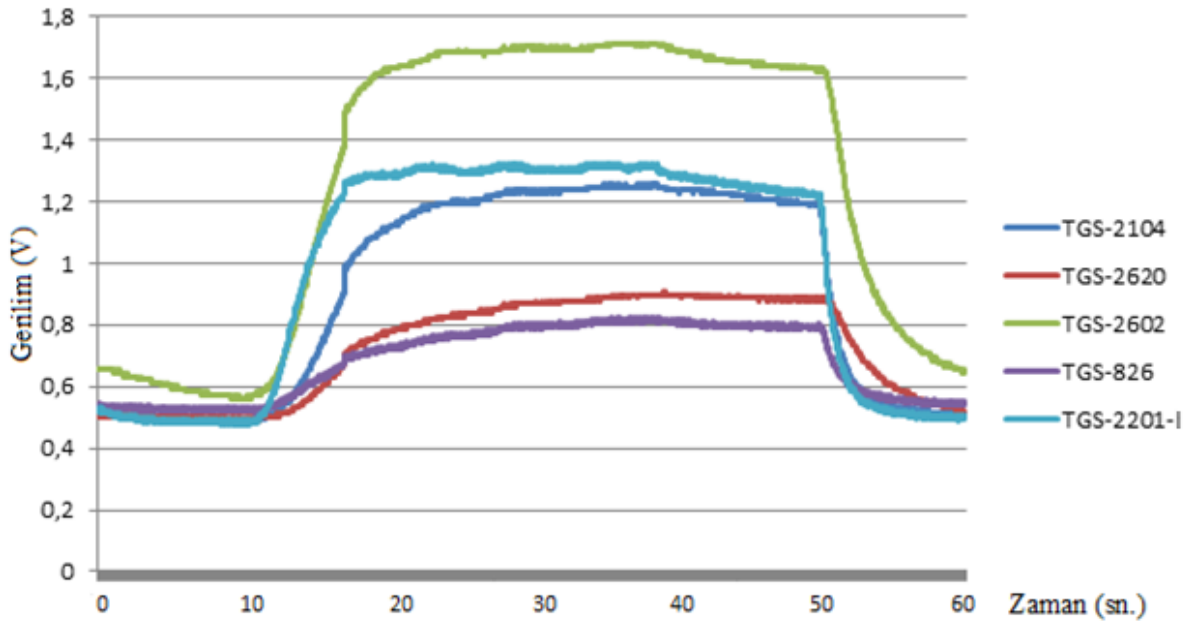
Kayıtlar 60 saniyede yapılmış olup, bu süre zarfında her algılayıcı için 3001 örnek alınmıştır. TGS-2201 gaz algılayıcısının iki çıkışı olduğu için 13 algılayıcıdan toplam 14 çıkış alınmıştır. 64 kayıt mevcut olduğundan $[64 \times 14 \times 3001]$ boyutunda üç boyutlu bir matris elde edilmiştir. Şekil 2.18’de bir koklama döngüsünde yani 60 saniye boyunca algılayıcıların verileri gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Bir koklama döngüsü için 13 gaz algılayıcısının 14 çıkış gerilimi

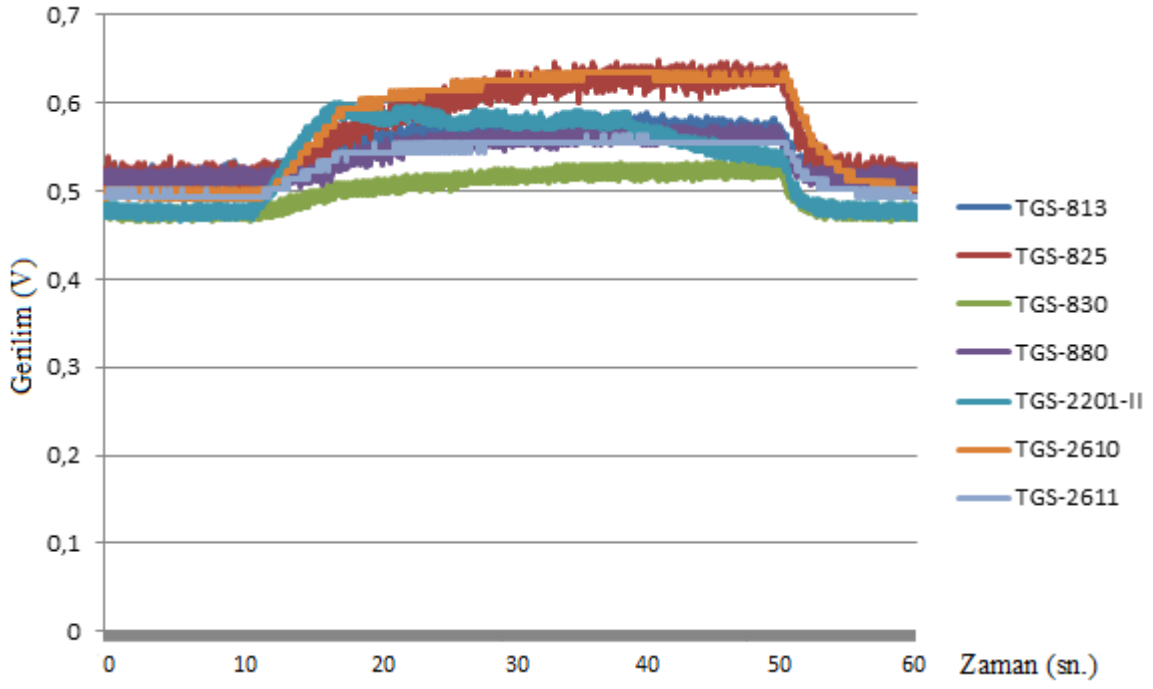
Çalışmada kullanılan bütün gaz algılayıcıların gerilim çıkışları tek tek incelenmiş olup, çay kokusu için TGS-826, TGS-2104, TGS-2201-I, TGS-2602, TGS-2620 gaz algılayıcılarının en yüksek iletkenlik değişimlerini verdiği, TGS-813, TGS-825, TGS-830, TGS-880, TGS-2201-I, TGS-2610 ve TGS-2611 gaz algılayıcılarının düşük iletkenlik değişimlerini verdiği ve TGS-2180 ile TGS-5042 gaz algılayıcılarının ise iletkenlik değişimi vermediği görülmüştür.

Şekil 2.19’da çay kokusu ile anlamlı bir gerilim değişimi veren algılayıcıların gerilim grafiği gösterilmektedir. TGS-826, TGS-2104, TGS-2201-I, TGS-2602, TGS-2620 gaz algılayıcıları çay kokusu için yüksek iletkenlik değişimi vermişlerdir.



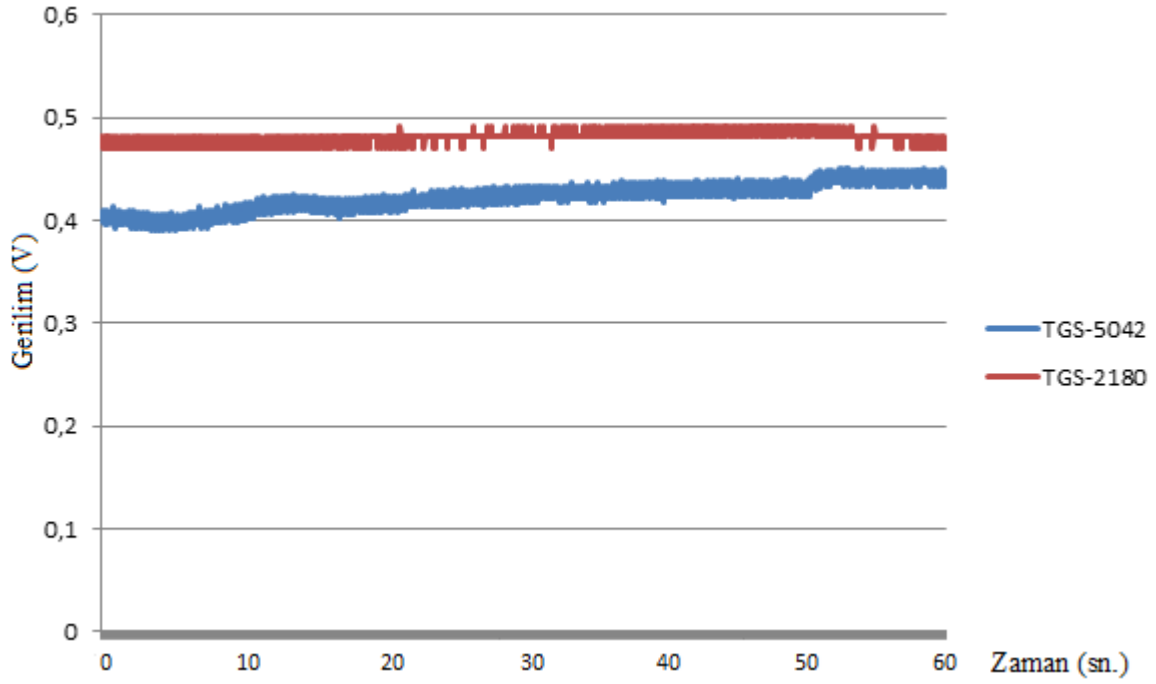
Şekil 2.19. İletkenlik değişimi anlamlı olan algılayıcıların gerilim grafiği

Şekil 2.20’de çay kokusu için değerlendirilebilecek bir gerilim değişimi veren algılayıcıların gerilim grafiği gösterilmektedir.



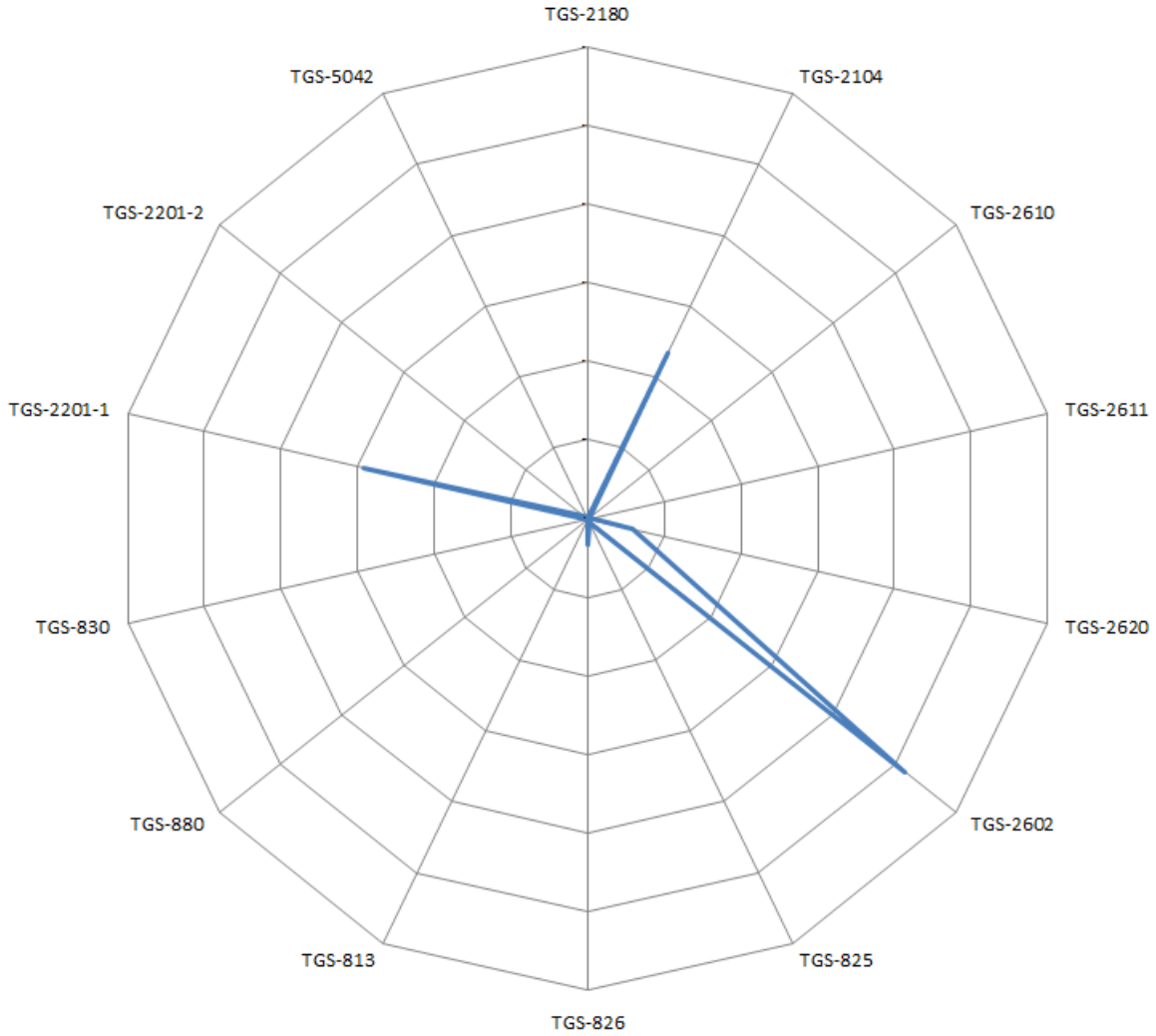
Şekil 2.20. İletkenlik değişimi değerlendirilebilecek olan algılayıcıların gerilim grafiği

Şekil 2.21'de ise çay kokusu için anlamsız bir gerilim değişimi veren algılayıcıların gerilim grafiği gösterilmektedir.

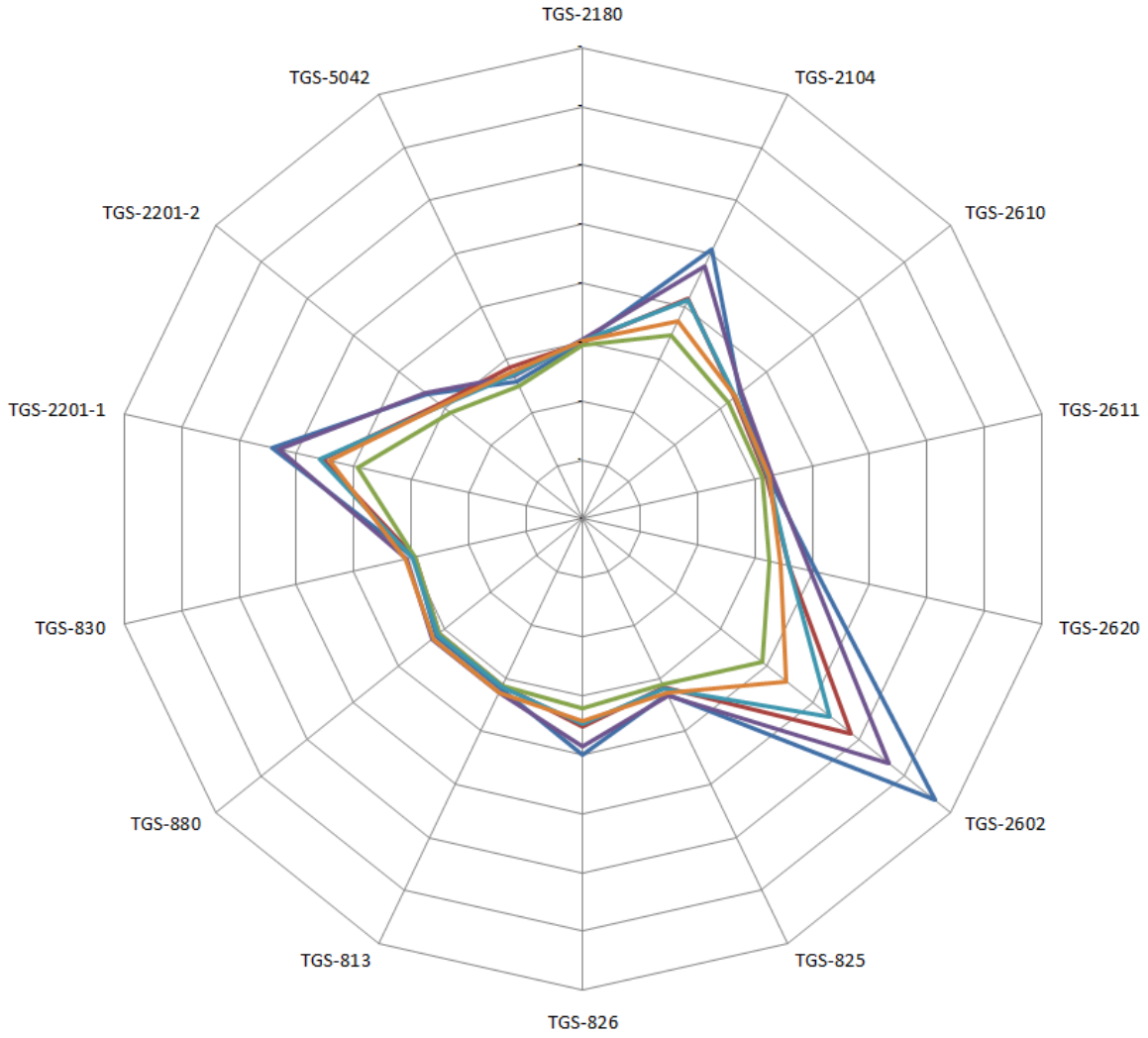


Şekil 2.21. İletkenlik değişimi anlamsız olan algılayıcıların gerilim grafiği

Çalışmada kullanılan 13 adet gaz algılayıcısının bir koklama döngüsündeki 3001 tane değerinin varyansı öznitelik olarak alındığında çizdirilen radar grafiği Şekil 2.22’de verilmiştir. Kullanılan 13 gaz algılayıcılarından sadece TGS-2602, TGS-2201-I, TGS-2104, TGS-2620 ve TGS-826’nın iletkenliklerinin varyans değişimlerinin çay kokusu için anlamlı olabileceği grafikte gösterilmiştir.

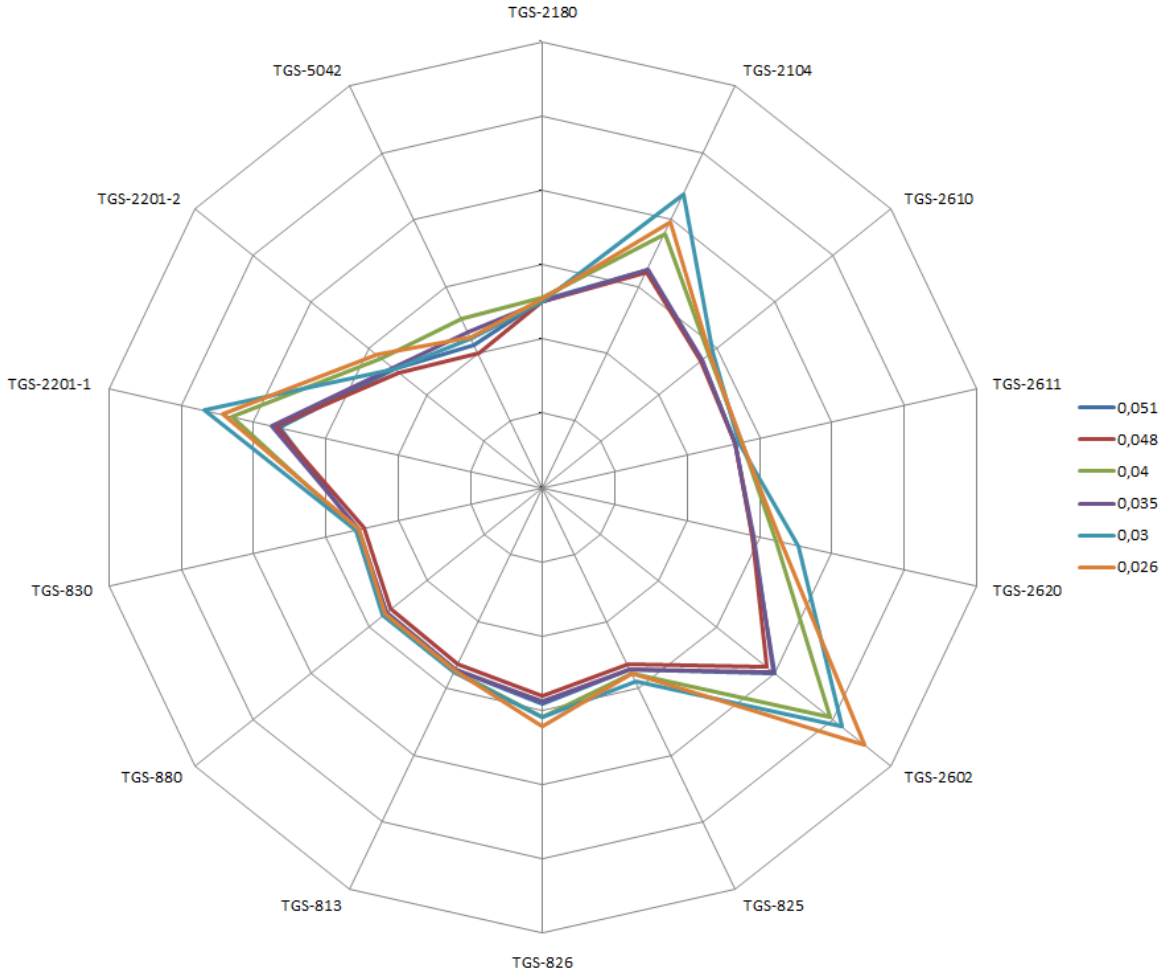


Şekil 2.22. Çay koklama döngüsünde 13 adet gaz algılayıcısının 3001 tane değerinin varyansı öznitelik olarak alındığında elde edilen radar grafiği



Şekil 2.23. Farklı çay fermantasyonlarındaki koklama döngülerinde 13 adet gaz algılayıcısının 3001 tane değerinin toplamlarının radar grafiği

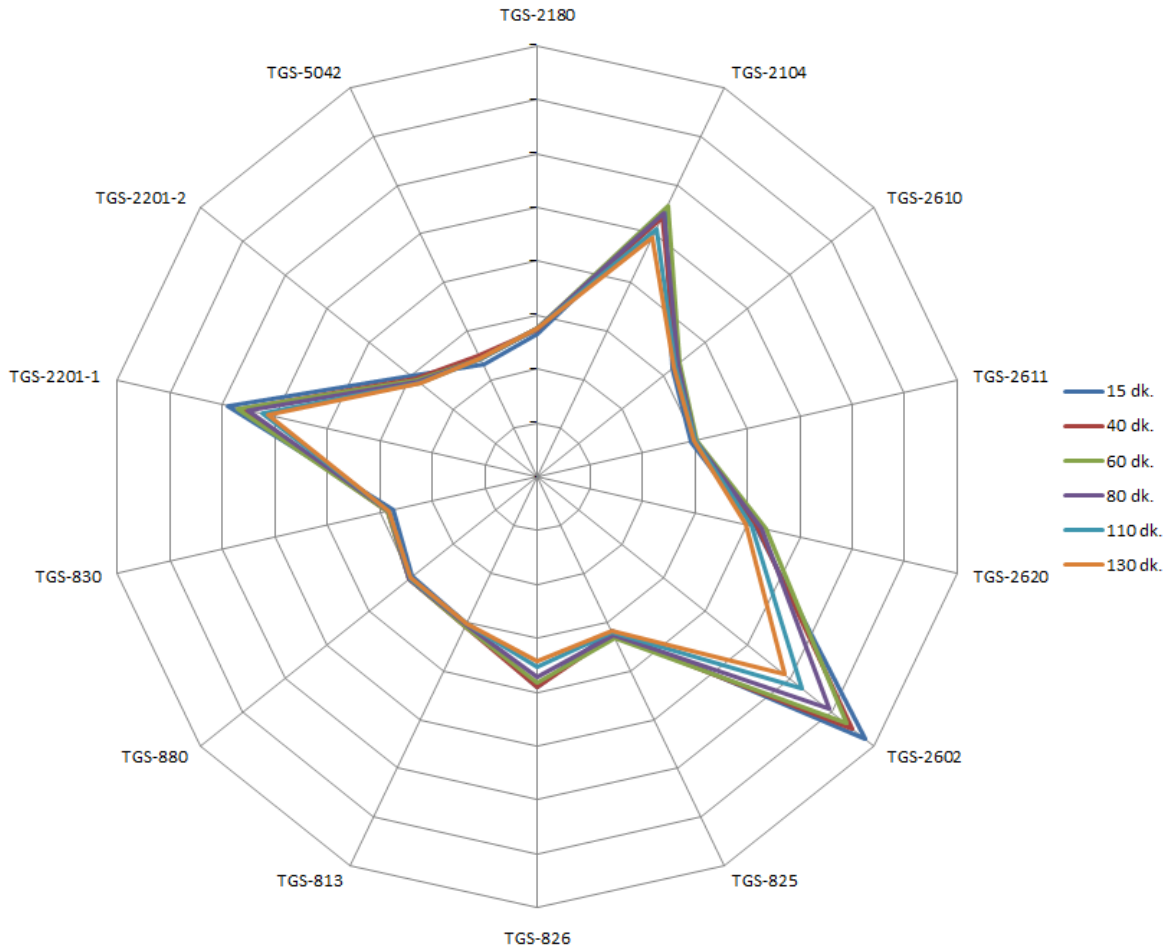
Şekil 2.23’de farklı çay fermantasyonlarındaki koklama döngülerinde 13 adet gaz algılayıcısının, 3001 tane gerilim değeri toplamları öznitelik olarak alınarak radar grafiği çizdirilmiştir. TGS-2602, TGS-2201-I, TGS-2104, TGS-2620 ve TGS-826 gaz algılayıcıları farklı çaylara farklı tepkiler verirken, bazı algılayıcılar çok az değişkenlik göstermiş, bazıları ise farklı çaylarda bir değişiklik göstermemişlerdir.



Şekil 2.24. Farklı TF/TR değerlerine sahip farklı kalitede çayların koklama döngülerinde 13 adet gaz algılayıcısının ham işaretleri için, herbir algılayıcının 3001 örneğinin ortalamalarının radar grafiği

Şekil 2.24'de farklı TF/TR değerlerine sahip farklı kalitedeki çayların koklama döngülerinde 13 adet gaz algılayıcısının ham işaretleri için, herbir algılayıcının 3001 örneğinin ortalamalarının radar grafiği verilmiştir.

Farklı kalitedeki çaylar için algılayıcı verilerinin ortalama değer özneliklerinin TGS-2602, TGS-2201-I, TGS-2104, TGS-2620, TGS-826, TGS-2201-II ve TGS-5042 için anlamlı olabileceği Şekil 2.24'de görülmektedir.

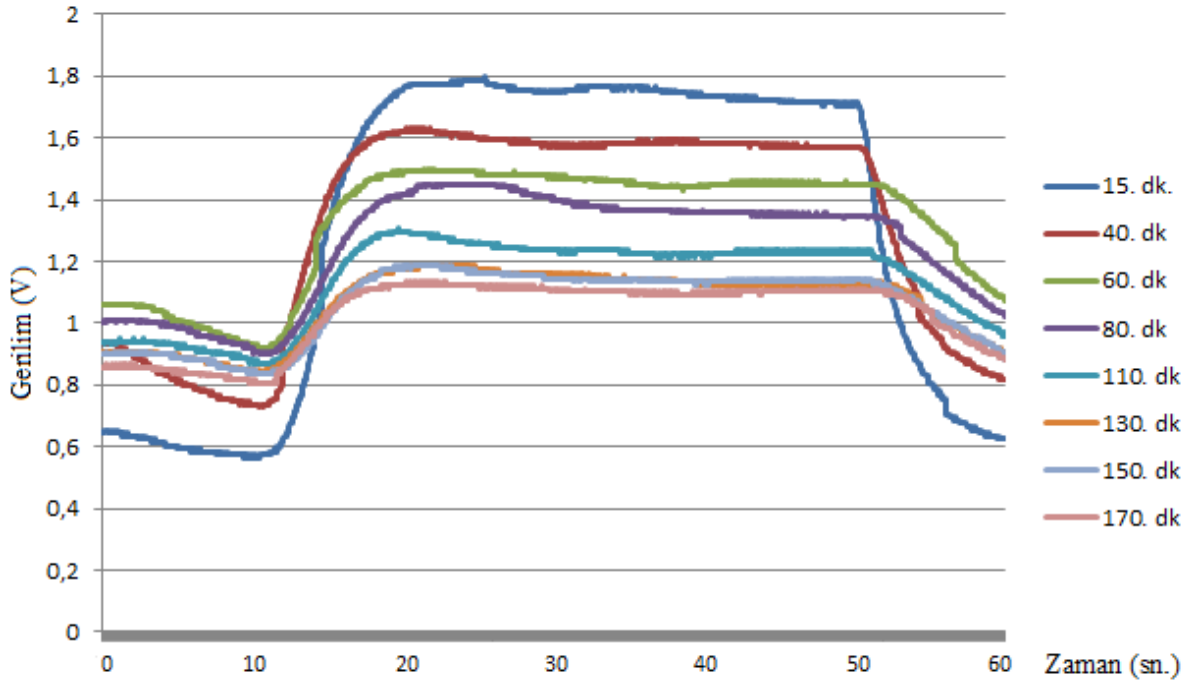


Şekil 2.25. Farklı fermantasyon sürelerine sahip çayların koklama döngülerinde 13 adet gaz algılayıcısının ham işaretlerinin 3001 örneğinin svd özneliğinin radar grafiği

Farklı fermantasyon süresine sahip çayların koklama döngülerinde 13 adet gaz algılayıcısının ham işaretlerinin 3001 örneğinin svd özneliğinin radar grafiği Şekil 2.25’de verilmiştir.

Şekil 2.25’de de görüldüğü gibi farklı çaylarda farklı öznelik vektörlerinin elde edildiği gaz algılayıcıları TGS-2602, TGS-2201-I, TGS-2104, TGS-2620 ve TGS-826 gaz algılayıcılarıdır.

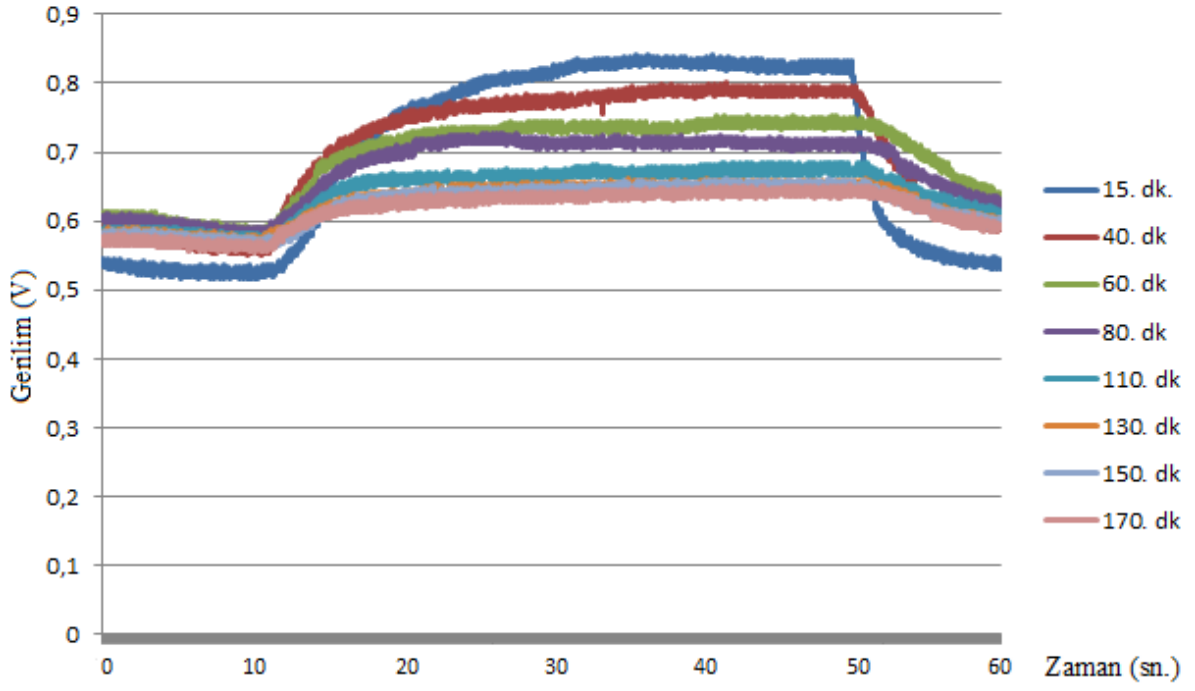
Şekil 2.26-2.39’da gaz algılayıcıların, çay fermantasyonunun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafikleri verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde, algılayıcı gerilimlerinin fermantasyon başında yüksek olduğu, fermantasyon ilerledikçe algılayıcı gerilimlerinin düştüğü görülmektedir.



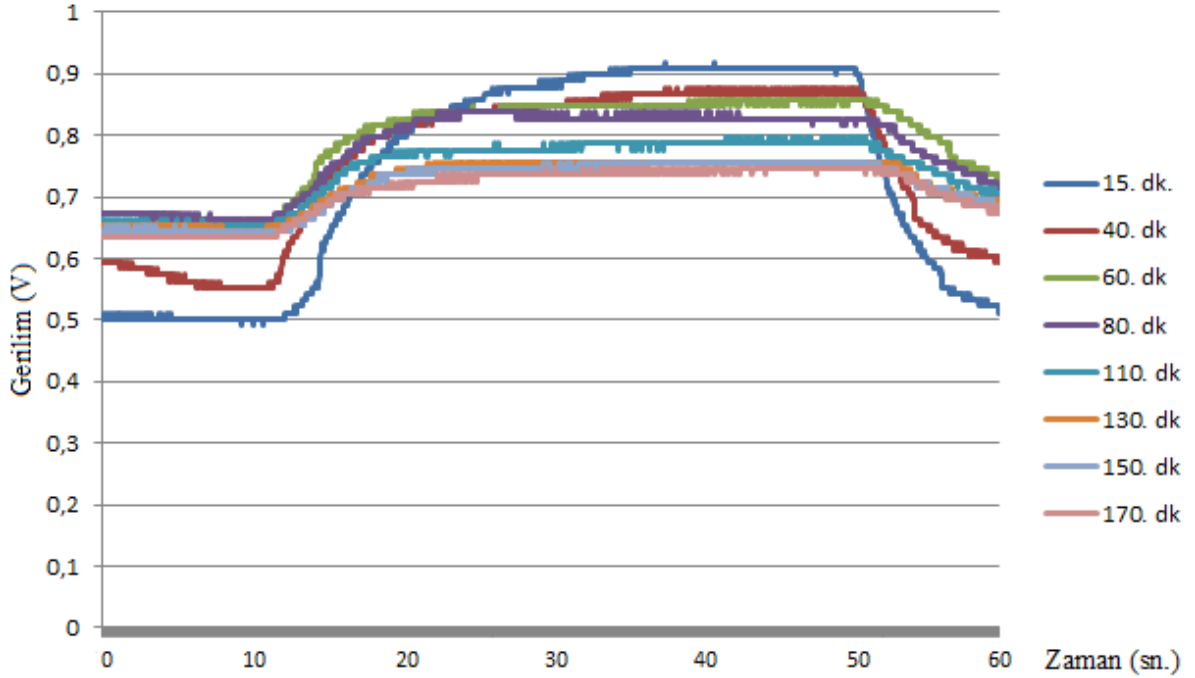
Şekil 2.26. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2602 gaz algılayıcısının gerilim grafiği

Şekil 2.26'da TGS-2602 gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Algılayıcıdan elde edilen işarete hiçbir ön işlem yapılmadan, işaretin ham halinin grafiği çizdirilmiştir. Grafikte TGS-2602 gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun 15. dakikasındaki tepkisi ile 40., 60. ve daha sonraki dakikalardaki tepkisinin farklı olduğu görülmektedir.

Şekil 2.27'de TGS-826 gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Grafikte TGS-826 gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun farklı dakikalarındaki tepkisinin farklı olduğu görülmektedir.



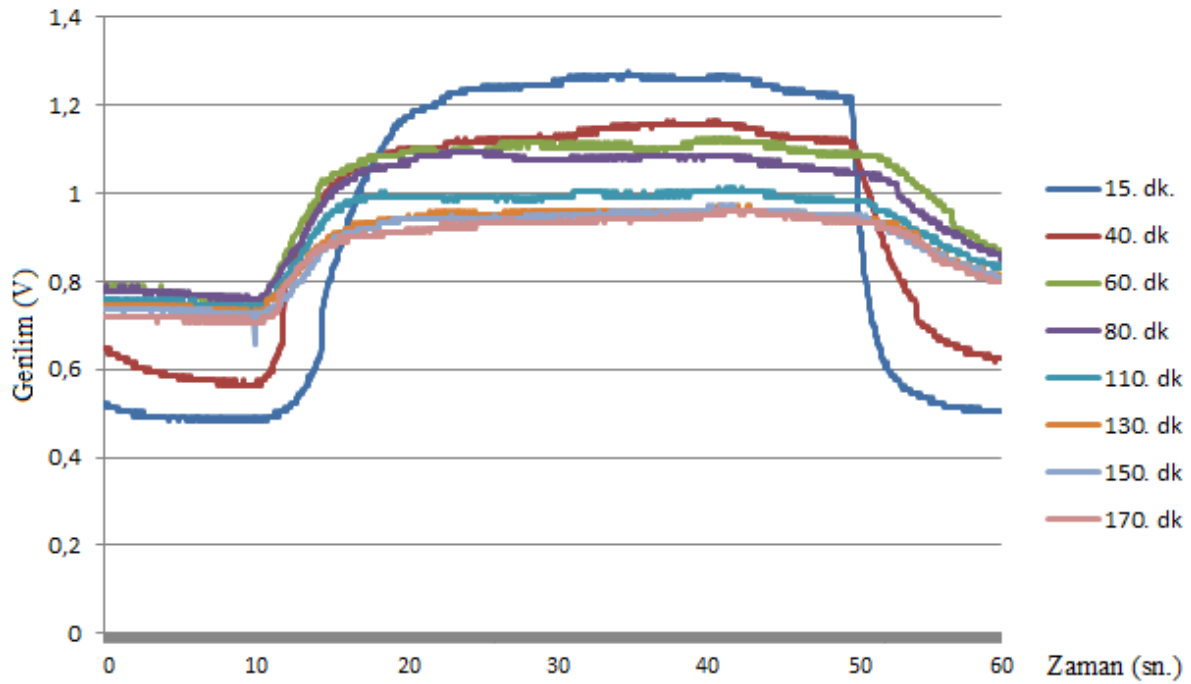
Şekil 2.27. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-826 gaz algılayıcısının gerilim grafiği



Şekil 2.28. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2620 gaz algılayıcısının gerilim grafiği

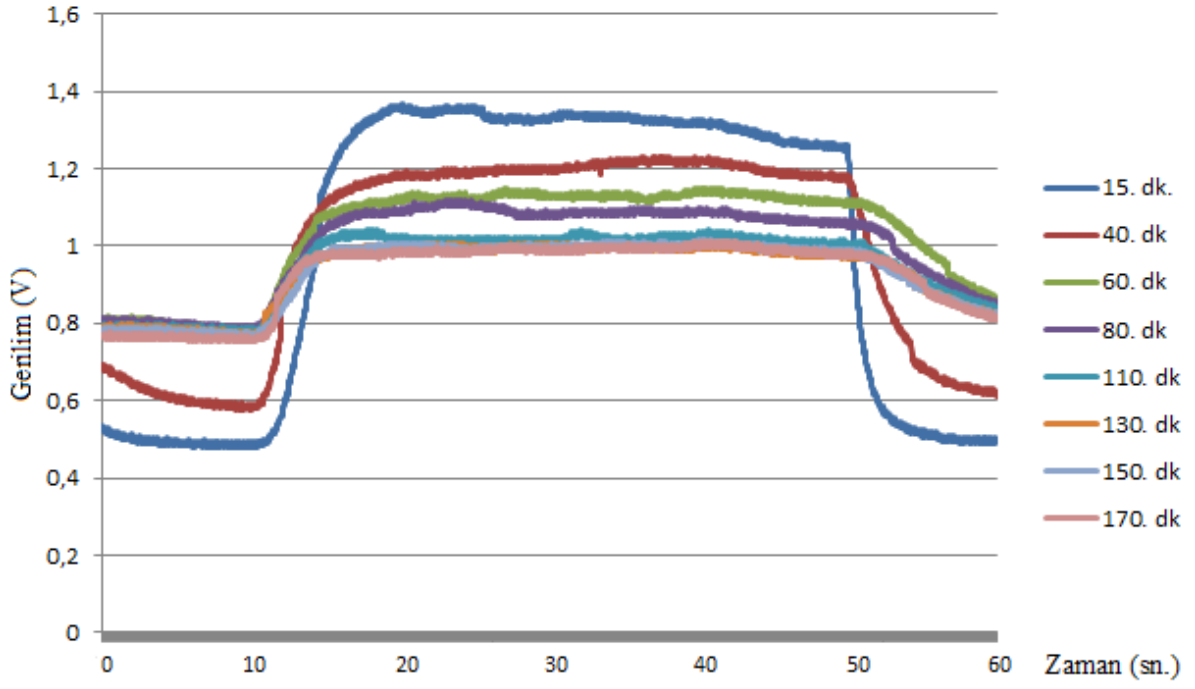
Şekil 2.28’de TGS-2620 gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Grafikte TGS-2620 gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun farklı dakikalarındaki tepkisinin farklı olduğu görülmektedir.

Şekil 2.29’de TGS-2104 gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Grafikte TGS-2104 gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun farklı dakikalarındaki tepkisinin farklı olduğu görülmektedir.

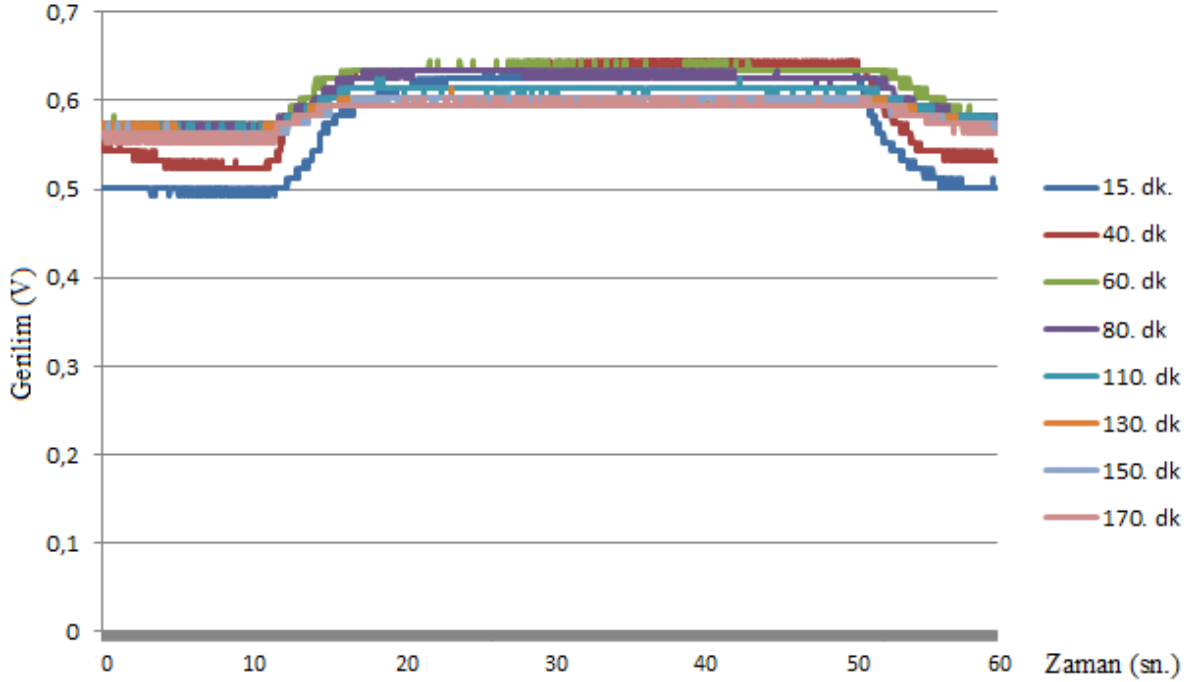


Şekil 2.29. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2104 gaz algılayıcısının gerilim grafiği

Şekil 2.30’da TGS-2102-I gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Grafikte TGS-2102-I gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun farklı dakikalarındaki tepkisinin farklı olduğu görülmektedir.

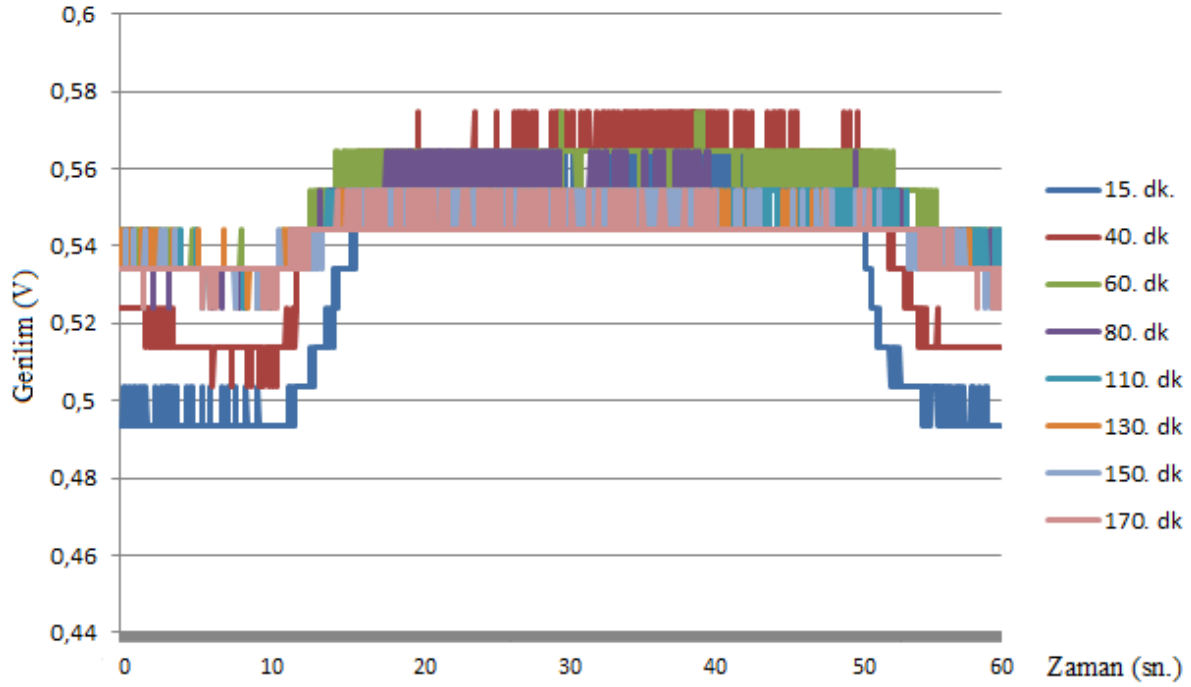


Şekil 2.30. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2102-I gaz algılayıcısının gerilim grafiği



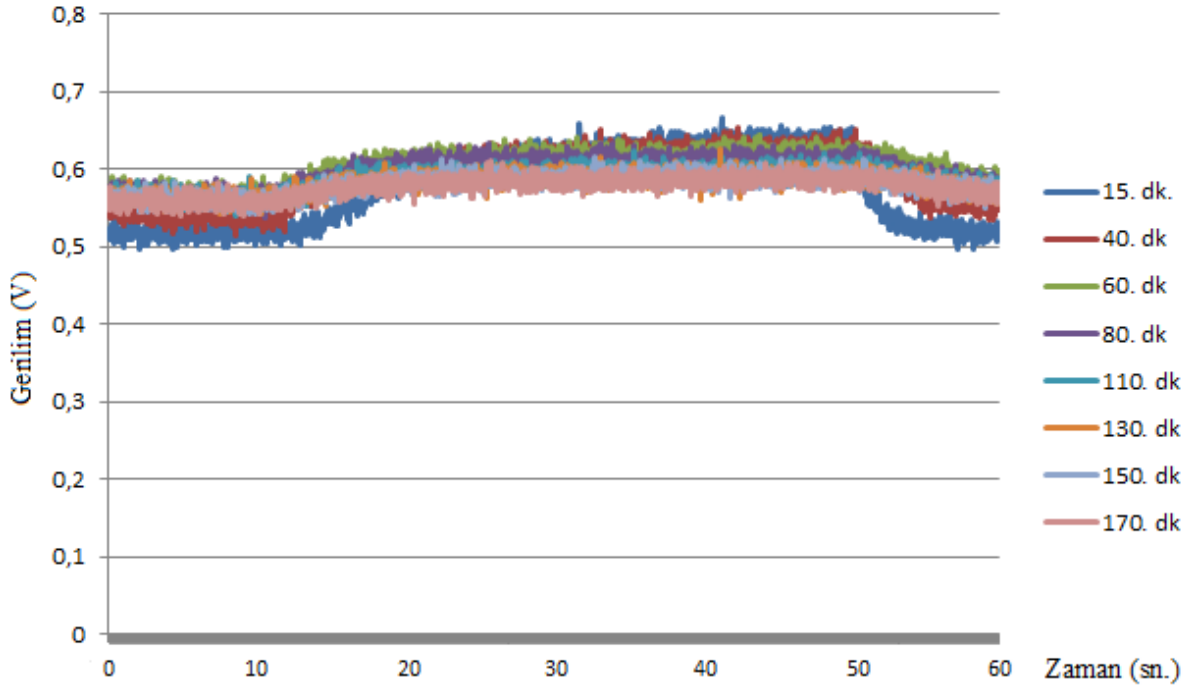
Şekil 2.31. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2610 gaz algılayıcısının gerilim grafiği

Şekil 2.31’de TGS-2610 gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Grafikte TGS-2610 gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun farklı dakikalarındaki tepkisinin büyük farklılıklar göstermediği görülmektedir.



Şekil 2.32. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2611 gaz algılayıcısının gerilim grafiği

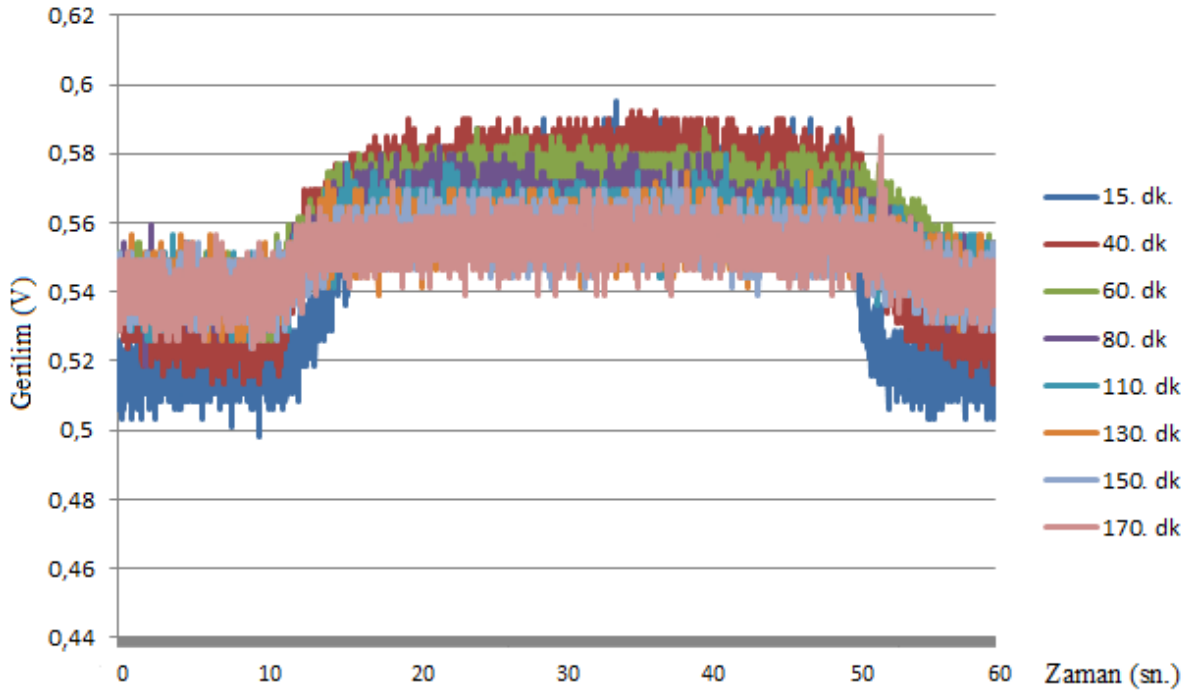
Şekil 2.32’de TGS-2611 gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Grafikte TGS-2611 gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun farklı dakikalarındaki tepkisinin büyük farklılıklar göstermediği görülmektedir.



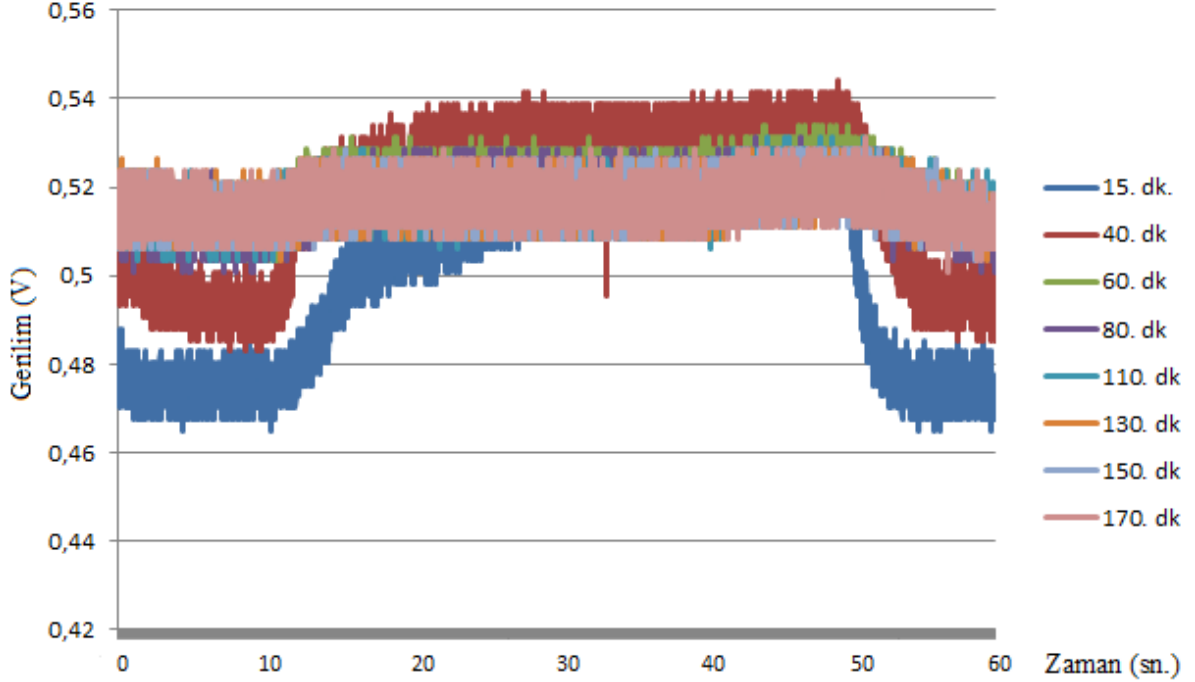
Şekil 2.33. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-825 gaz algılayıcısının gerilim grafiği

Şekil 2.33'de TGS-825 gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Grafikte TGS-825 gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun farklı dakikalarındaki tepkisinin büyük farklılıklar göstermediği görülmektedir.

Şekil 2.34'de TGS-813 gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Grafikte TGS-813 gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun farklı dakikalarındaki tepkisinin büyük farklılıklar göstermediği görülmektedir.

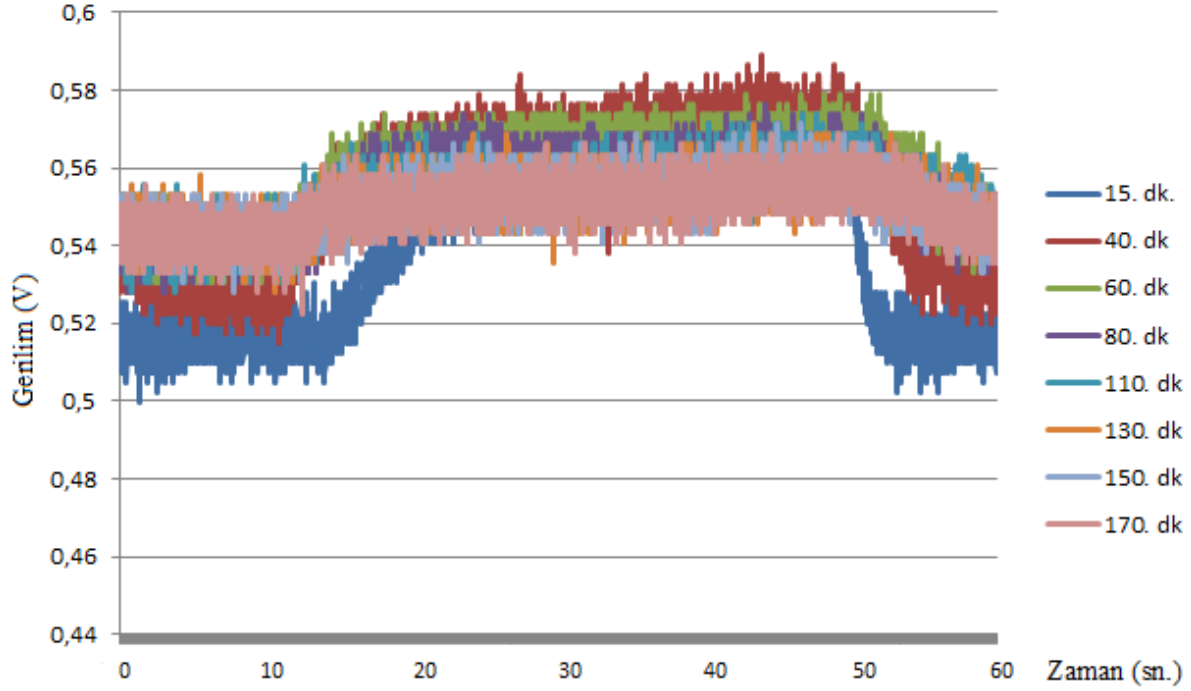


Şekil 2.34. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-813 gaz algılayıcısının gerilim grafiği



Şekil 2.35. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-830 gaz algılayıcısının gerilim grafiği

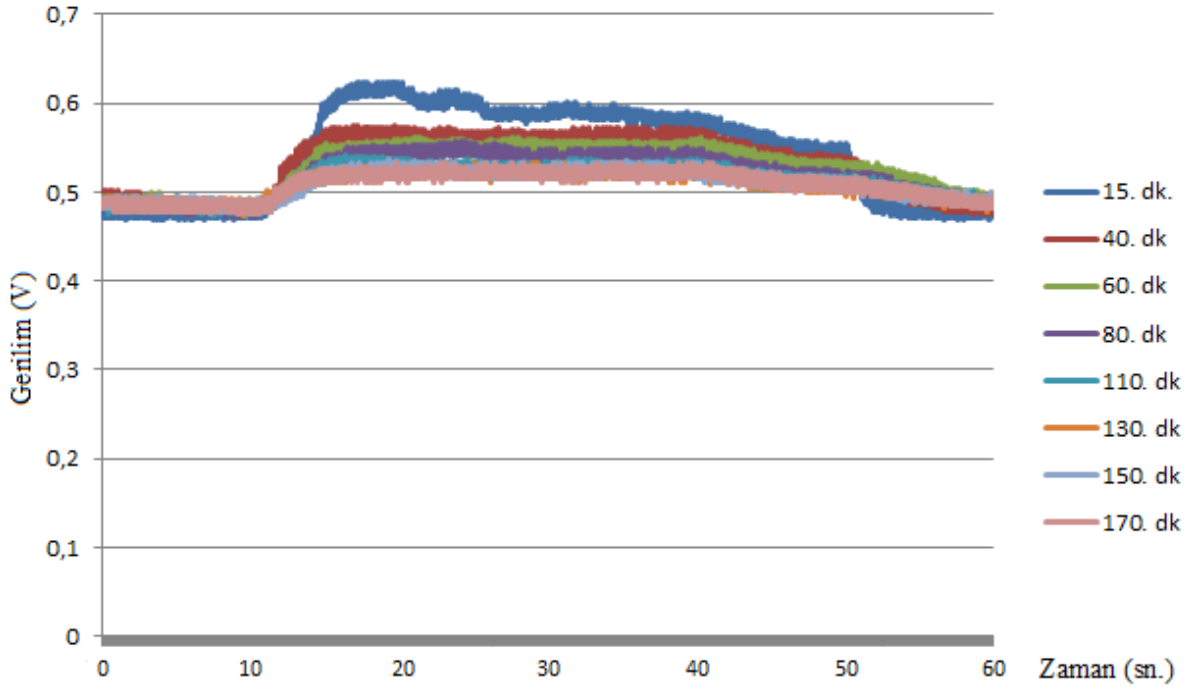
Şekil 2.35’de TGS-830 gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Grafikte TGS-830 gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun farklı dakikalarındaki tepkisinin büyük farklılıklar göstermediği görülmektedir.



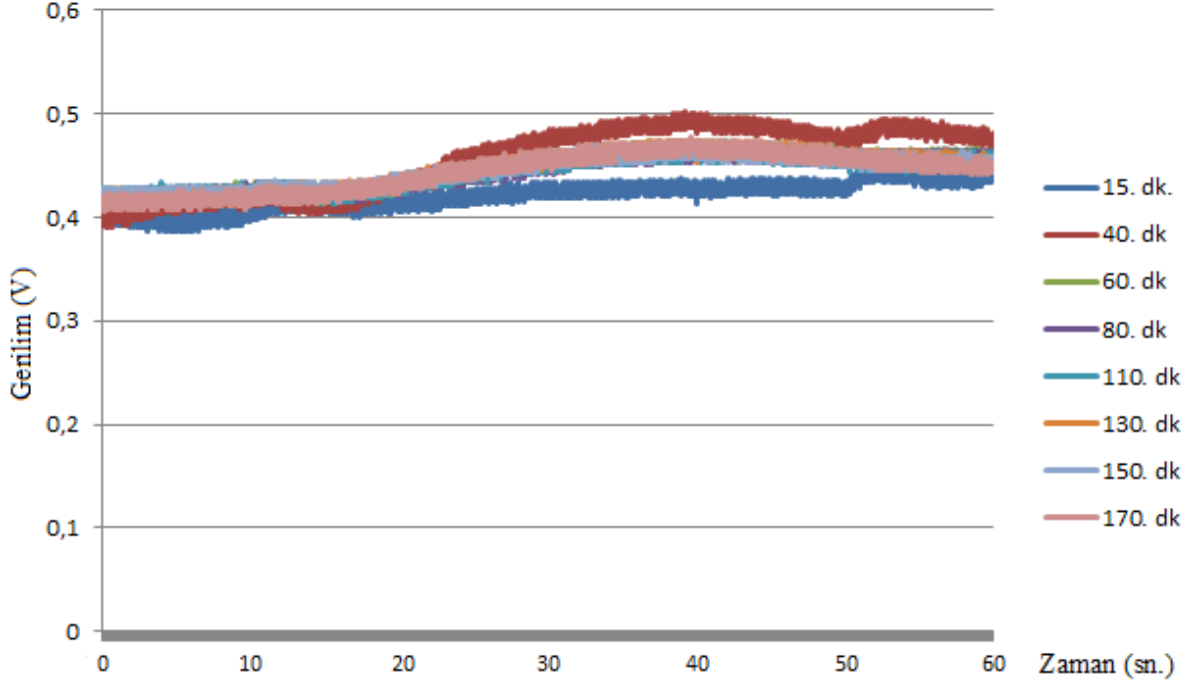
Şekil 2.36. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-880 gaz algılayıcısının gerilim grafiği

Şekil 2.36’da TGS-880 gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Grafikte TGS-880 gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun farklı dakikalarındaki tepkisinin büyük farklılıklar göstermediği görülmektedir.

Şekil 2.37’de TGS-2201-II gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Grafikte TGS-2201-II gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun farklı dakikalarındaki tepkisinin büyük farklılıklar göstermediği görülmektedir.

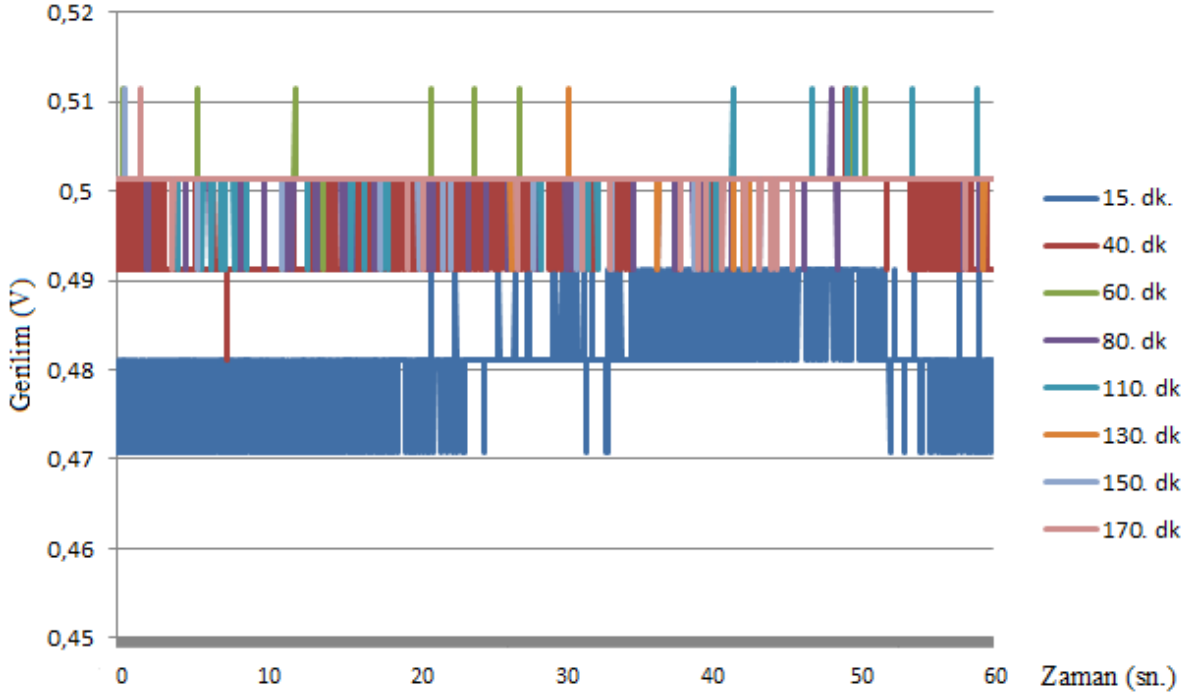


Şekil 2.37. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2201-II gaz algılayıcısının gerilim grafiği



Şekil 2.38. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-5042 gaz algılayıcısının gerilim grafiği

Şekil 2.38’de TGS-5042 gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Grafikte TGS-5042 gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun farklı dakikalarındaki tepkisinin anlamlı bir değişiklik göstermediği görülmektedir.



Şekil 2.39. Bir çay fermantasyonunun farklı zamanlarındaki koku döngülerinde TGS-2180 gaz algılayıcısının gerilim grafiği

Şekil 2.39’da TGS-2180 gaz algılayıcısının bir fermantasyonun farklı zamanlarında yapılan koklama döngülerindeki gerilim grafiği verilmiştir. Grafikte TGS-2180 gaz algılayıcısının çay fermantasyonunun farklı dakikalarındaki tepkisinin anlamlı bir değişiklik göstermediği görülmektedir.

2.6. Sınıflandırma Çalışması

Çay kalitesinde TF/TR analizi sonuçları referans alınmıştır. Elektronik burun ile fermantasyon anındaki kokuları bilgisayara kaydedilen 64 adet çayın TF/TR değerleri 0,026 ile 0,051 arasında olup, bu çayların TF/TR değerleri;

- 0,026 ile 0,034 aralığında olan 19 tanesi düşük kalite,
- 0,035 ile 0,038 aralığında olan 21 tanesi orta kalite,

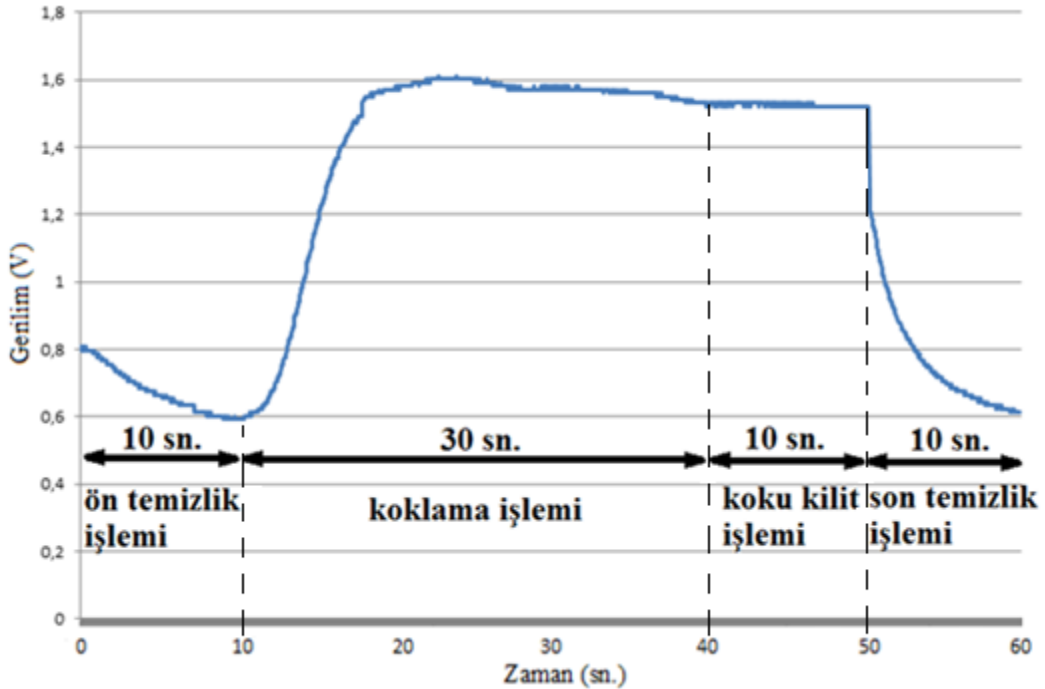
- 0,039 ile 0,051 aralığında olan 24 tanesi yüksek kalite olarak değerlendirilmiştir.

Bu verilerin yaklaşık yarısı eğitim verisi olarak, diğer yarısı ise test verisi olarak kullanılmıştır. Kullanım sayıları Tablo 2.6’de verilmiştir.

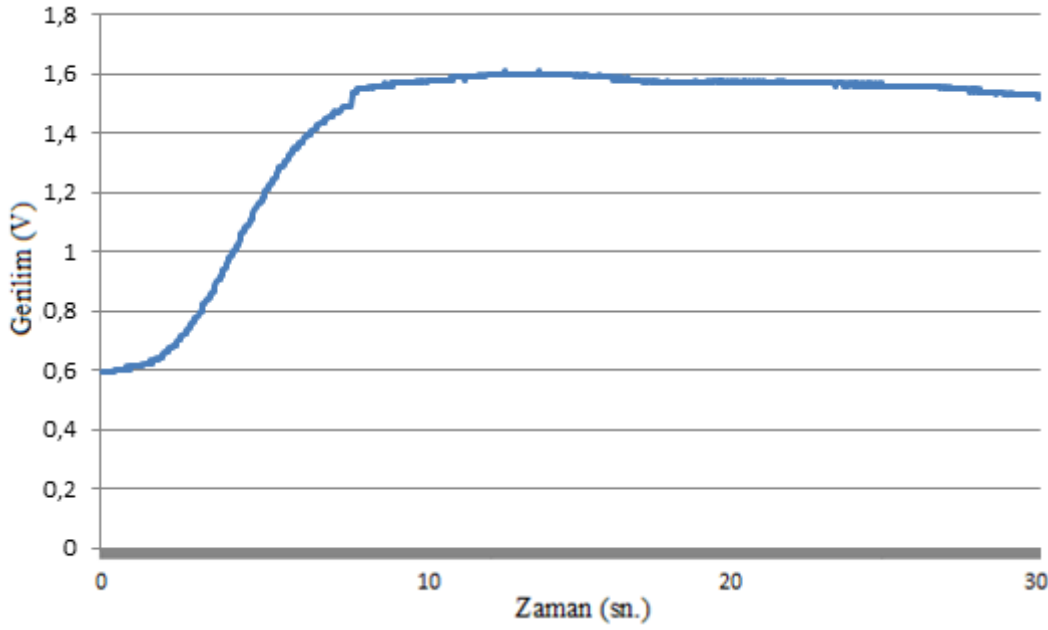
Tablo 2.6. Sınıflandırma verileri kullanım dağılımı

Kalite Sınıfı	Eğitim Verisi	Test Verisi
Düşük Kalite	10	9
Orta Kalite	11	10
Yüksek Kalite	12	12
TOPLAM	33	31

Şekil 2.40’da görülen algılayıcı ön temizlik, koku kilit ve algılayıcı son temizlik işlemlerinin sınıflandırma için bir anlam ifade etmeyeceği, tam aksine özellikle temizlik kısımlarındaki bu işlemlerin bütün kayıtlar için ortak olmasından ötürü bu değerlerin sınıflandırmayı zorlaştıracığı düşünülerek, bu kısımlar silinmiş ve matris [64x14x1500] boyutuna düşürülmüştür. Algılayıcı verisinin yeni hali Şekil 2.41’de görülmektedir.



Şekil 2.40. Bir koklama döngüsünde TGS-2602 gaz algılayıcısının gerilim değişimi (VL)



Şekil 2.41. Bir koklama döngüsünde TGS-2602 gaz algılayıcısının yalnızca koklama işlemindeki gerilim değişimi (VL)

Elde edilen [64x14x1500] boyutlu yeni üç boyutlu matrisdeki 5 gaz algılayıcı verisine (TGS-826, TGS-2104, TGS-2201-I, TGS-2602, TGS-2620) Tablo-2.7'deki öznitelik çıkartma işlemleri uygulanmıştır.

Tablo-2.7. Sınıflandırmada kullanılan gaz algılayıcılarına uygulanan öznitelik çıkartma yöntemleri

Algılayıcı Numarası	Kullanılan Öznitelik Çıkartma Yöntemleri
TGS-2104	Kurtosis, Varyans, Skewness
TGS-2620	Svd, Toplam, Ortalama
TGS-826	Ortalama, Varyans
TGS-2602	Ortalama, Varyans
TGS-2201-I	Ortalama, Varyans

Tablo 2.7'de verilen öznitelik çıkartma yöntemleri, ilgili gaz algılayıcı verilerine uygulanarak bu verilerin öznitelik vektörleri çıkartılmıştır. Çıkartılan öznitelik vektörleri DAA, Bayes, kNN-3, kNN-5, kNN-7 ve kNN-9 sınıflandırma algoritmaları ile sınıflandırılmıştır.

Eğitim verisi olarak kullanılan verilerle sınıflandırıcılar eğitilmiştir. Daha sonra test verisi olarak ayrılan diğer verileri sınıflandırıcılar kendi algoritmalarıyla uygun gördükleri

sınıfa atamışlardır. Bu sınıflandırma neticesinde elde edilen, test verilerinin sınıflandırma başarımları Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo-2.8. Farklı Algoritmaların Sınıflandırma Başarımları

kNN-3	:	%	74,19
kNN-5	:	%	64,52
kNN-7	:	%	48,39
kNN-9	:	%	45,16
LDA	:	%	41,94
Bayes	:	%	35,48

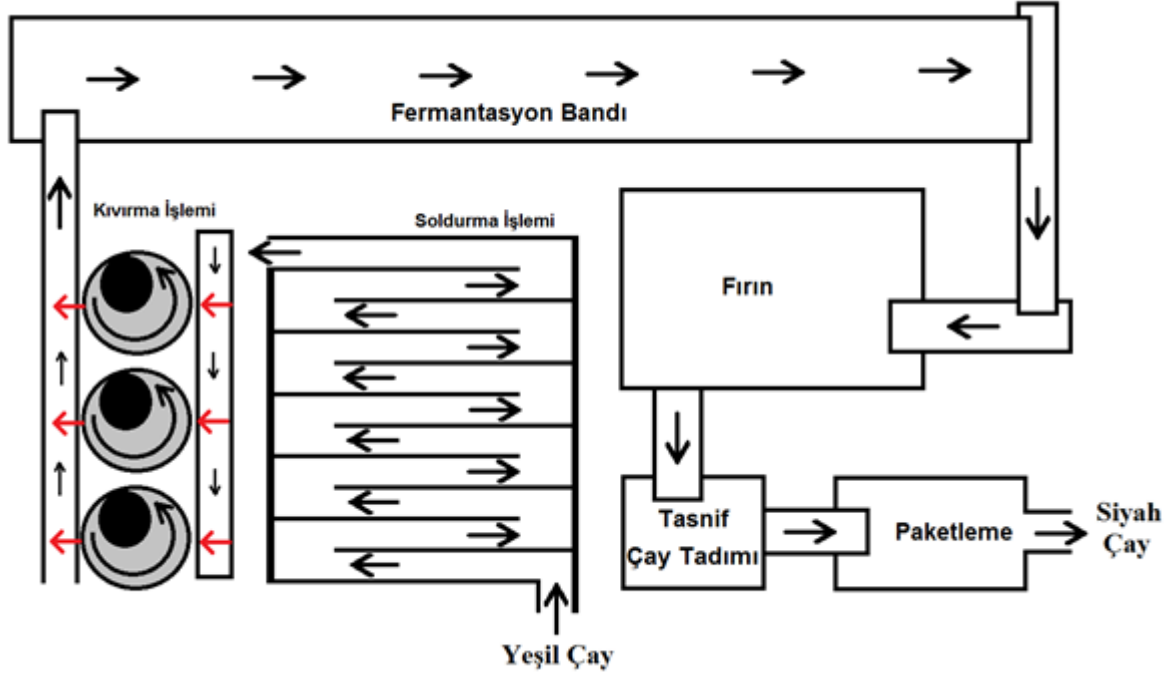
Elektronik burun ile fermantasyon bandından, gerçek zamanlı olarak alınan çay kokusundan çayın kalitesini tespit edebilme üzerine yapılan sınıflandırma çalışmasında, kNN-3 sınıflandırma algoritması ile % 74,19 sınıflandırma başarımları sağlanmıştır. LDA algoritmasının sınıflandırma başarımlarının düşük olmasının nedeni olarak LDA’nın sınıflandırmayı doğrusal çizgilerle ayırarak yapmasıdır. Bayes sınıflandırma başarımlarının düşük olmasının nedeni ise örneklerin içiçe geçmiş olduğundandır. Bu çalışmada elde edilen veriler üzerinde en başarılı sınıflandırma kNN-3 algoritması ile gerçekleştirilmiştir.

Bu sınıflandırma başarımları ile fermantasyon denetimli fabrika otomasyonu çalışmasına geçilmiştir.

3. ÇAY FERMANTASYONU DENETİM OTOMASYONU

3.1. Donanım ve Fermantasyon Sistemleri

Günümüzde Türkiye'deki mevcut çay fabrikası üretim akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çay fabrikalarındaki mevcut üretim akış şeması

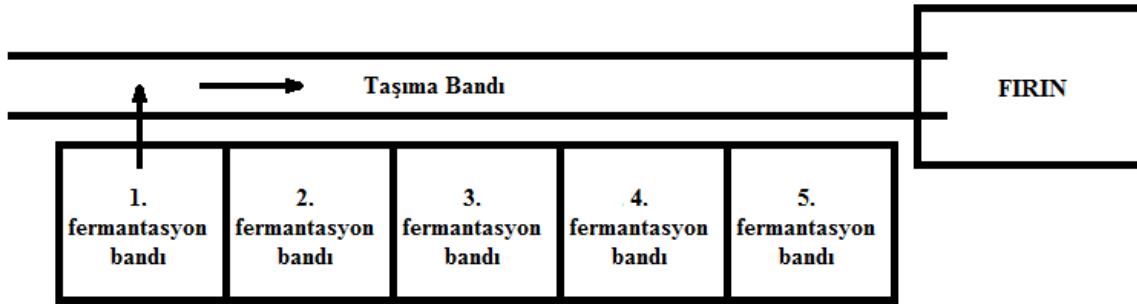
Fabrikaya getirilen yeşil çay yaprakları önce Soldurma Ünitesinde 7-8 saat suni soldurma ile soldurulmaktadır. Sonrasında soldurulan yeşil çay yaprakları, Kıvrma Ünitesinde 45 dk. kıvrma işlemine tabi tutularak parçalanmaktadır. Daha sonra, kıvrma işleminde çay yaprağının parçalanmasıyla başlayan çay fermantasyonu, Fermantasyon Bandında 2 saat 15 dakika devam etmektedir. Sürenin 45 dakika kıvrma ve 2 saat 15 dakika fermantasyon olarak belirlenmesi geleneksel çay üretiminden kaynaklanmaktadır. Çay üreticileri tarafından fabrikasyon bir üretimde en kaliteli üretimin bu şekilde yapılabileceği kabul edilmektedir. Çay kalitesi birçok parametreye bağlı olmakla birlikte kalitenin esas oluşumu fermantasyon sürecinde sıcaklık, nem ve süreye bağlı olarak değişmektedir. Bu bantta fermantasyon sıcaklığı 26-27 °C ve fermantasyon nemi % 90-95 arasında tutulmaya çalışılmaktadır. Fermantasyon sürecindeki çayın kalitesini kimyasal analizle veya çay

tadımcılarına tattırarak belirlemek ve tespit edilen kaliteye göre fırına göndermek mevcut çay fabrikalarındaki seri üretim için mümkün görünmemektedir.

Yapmış olduğumuz çalışma ile siyah çay kalitesi fermantasyon aşamasında e-burun ile tespit edilebilmektedir. Gerçekleştirilen e-burun sistemi ile fermantasyon sürecinde gerçek zamanlı kalite tespitinin, çay üretim sistemine dahil edilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede çay fermente olurken istenilen kalite yakalandığı anda fırına gönderilecektir. Bu sayede hem daha kaliteli çay üretimi sağlanacak hem de aynı sürede daha fazla üretim yapılabilecektir.

Çay koku kayıtlarının yapıldığı Okumuş Çay Sanayi'ndeki fermantasyon bandı 1.80 m eninde ve 28 metre boyundadır. Bu bant üzerinde ortalama 5,5 ton çay fermente edilmektedir. Böyle bir fermantasyon bandının orta noktasındaki çayın kalitesi yüksek olarak tespit edilse bile bu çay fırına taşınamayacaktır. Çünkü önünde tonlarca miktarda fermente olan çay bulunmaktadır.

Bu problemi aşmak için ayrı ayrı fermantasyon bantları olan bir fermantasyon ünitesi tasarlanmıştır. Daha küçük ölçekli fermantasyon bantları olacak ve bir bantdaki çayın fırına taşınması diğerlerini etkilemeyecektir. Oluşturulması planlanan yeni fermantasyon bant sistemi Şekil 3.2'de verilmiştir. Bu sistemle hangi fermantasyon bandındaki çayın fırına alınması istenirse o bantdaki çay taşıma bandına dökülecek ve sadece fırına gitmesi istenen çayın fırına gitmesi sağlanacaktır.



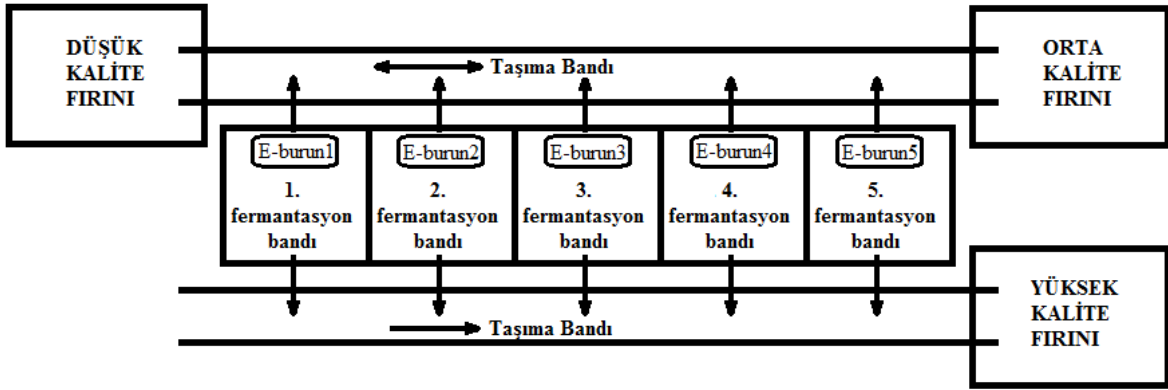
Şekil 3.2. Yeni fermantasyon bant sistemi

Oluşturulan yeni fermantasyon bantlarının gerçekte 2m x 2m yani 4m² olması planlanmıştır. Yanyana koyulan 5 tane fermantasyon bandı ile 2x10 m² olmuştur. Mevcut fermantasyon bandı ile karşılaştırıldığında fabrikaya 5 tane yeni fermantasyon bandı yeterli gelmeyecektir ancak benzetim çalışmasında 5 tane fermantasyon bandı yeterli görülmüştür.

Sistem mantığı bir kez oluşturulduktan sonra bant sayısını, dolayısıyla üretim kapasitesini artırmak kolay olacaktır.

Fermantasyon bandı üzerinden çay kokusu alınırken kullanılan koku iletim sisteminden bütün fermantasyon bantları için kurulacak, algılayıcılara koku iletimi ise koku odası girişinde selenoid vanalarla her bant için ayrı ayrı yapılacaktır.

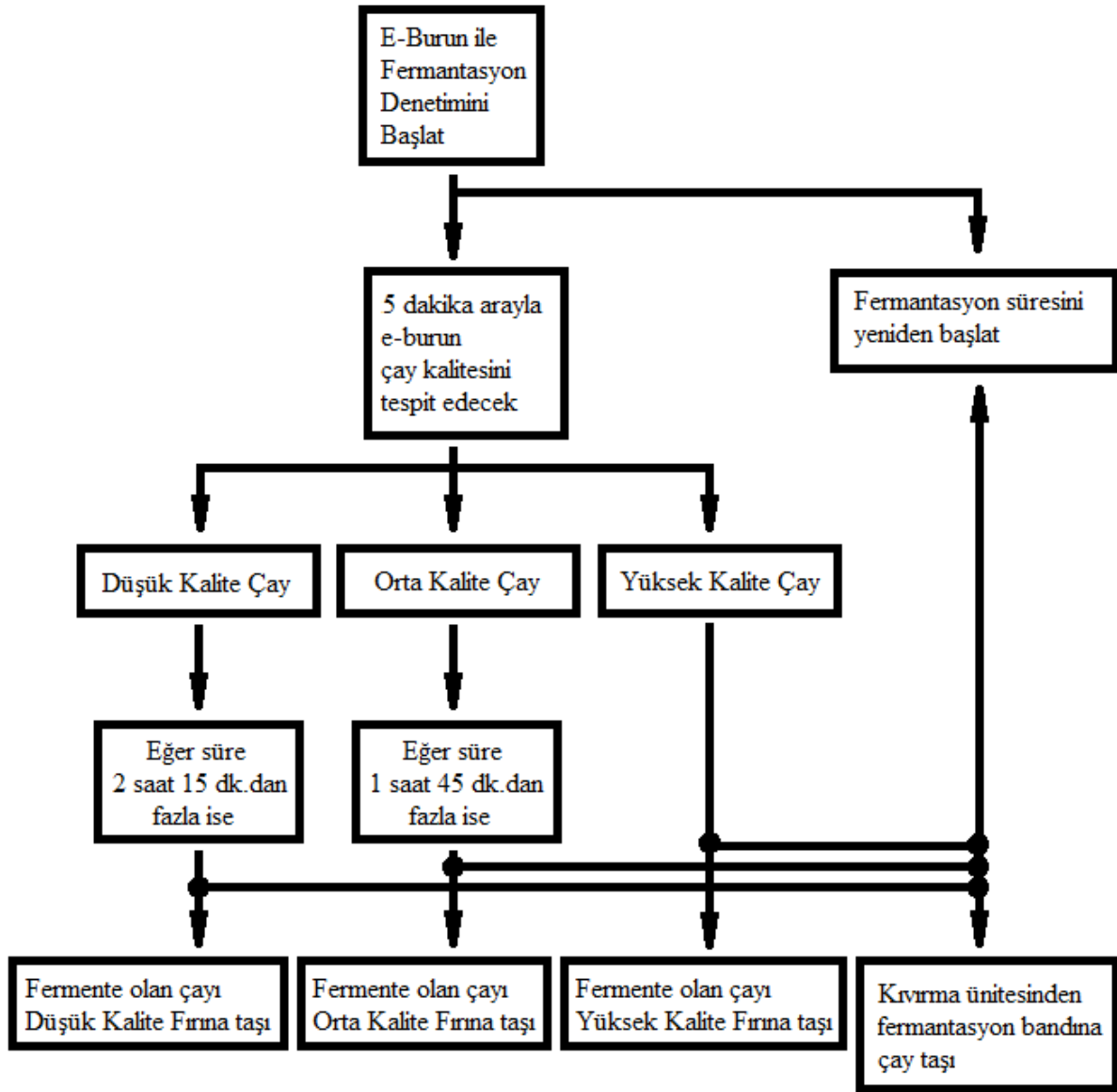
Çay 3 sınıf olarak sınıflandırıldığı için, fermantasyon anında koklanan çayın kalitesi düşük, orta veya yüksek kalite olarak belirlenecektir. Aynı kalitede çayların aynı fırında kurutulmasından ayrı fırınlarda kurutulmasının, iş karmaşasını azaltacağı düşünülerek farklı kalitedeki çayların Şekil 3.3’de gösterildiği gibi farklı kalite fırınlarında kurutulması planlanmıştır.



Şekil 3.3. Farklı kaliteler için çay kurutma sistemi

Fermantasyon bantlarının orta noktalarına konacak e-burun koku iletim sistemleri ile bantdaki çayın kokusu belli aralıklarla koku odasına iletilecek ve algılayıcıların kokuya gösterdikleri tepkiler bilgisayarda değerlendirilerek çayın kalitesi tespit edilecektir. Çay kalitesi tespit edildikten sonra fermantasyonun tamamlanıp tamamlanmadığına Şekil 3.4’de akış şeması verilen algoritma ile her bant için ayrı ayrı karar verilecek ve fermantasyonu tamamlanan çaylar kalitesine göre ilgili fırına taşınacaktır.

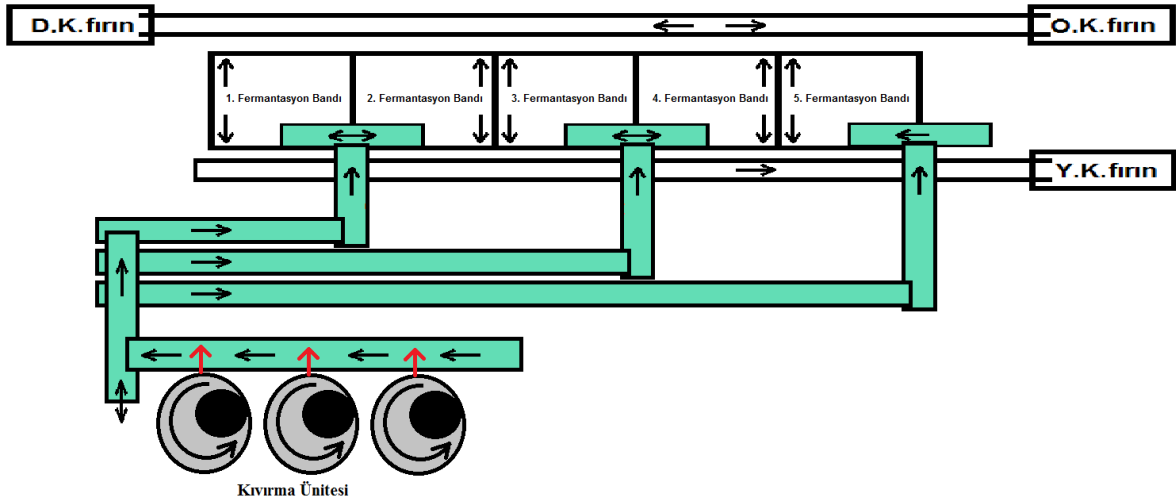
Fermantasyonu tamamlanan çay ilgili fırına giderken aynı zamanda kıvrırma ünitesinden de fermantasyon bandına yeni çay gelecek ve yeni bir fermantasyon başlayacaktır.



Şekil 3.4. Kaliteye Göre Fermantasyon Akış Şeması

Tasarlanan sistemde eskiye nazaran bir tane fermantasyon bandı yerine çok sayıda fermantasyon bandı bulunduğu için kıvrırma ünitesinden bu bantların her birine çay getirmek için ayrı ayrı çay taşıma sistemi gerekecektir. Sistem gerçekleştirildiği zaman, hazırlanan bu çay taşıma sistemi değiştirilerek daha ekonomik hale getirilebilir.

Kıvrırma ünitesinden fermantasyon bantlarına çay taşıyacak sistem Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kıvrırma ünitesinden fermantasyon bantlarına çay taşıma sistemi

Fabrikalardaki mevcut fermantasyon bantlarında nem ve sıcaklık değerleri okunmaktadır. İdeal nem ve sıcaklık değerleri, bant başındaki vananın elle açılıp kapatılması ile ayarlanmaya çalışılmaktadır. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de bu durum görülmektedir.



Şekil 3.6. Fermantasyon bandı nem ve sıcaklık değerlerinin fotoğrafı



Şekil 3.7. Fermantasyon sıcak buhar girişinin fotoğrafı

Fermantasyonu ilgilendiren bu aşama da denetim çalışmasına dahil edilmiş olup kullanıcı paneline fermantasyon bantlarının nem ve sıcaklık değerlerini veren bilgi ekranları konulmuştur. Her fermantasyon bandının ayrı bir nem girişi, nem çıkışı, sıcak hava girişi ve soğuk hava girişi bulunacaktır. Sıcaklık ve nem giriş-çıkışları benzetim kullanıcı panelinde gösterilmemiş olup ledlerle ifade edilmiştir. Sıcaklık veya nem istenilen değer aralığında (nem için %90-95, sıcaklık için 26-27°C) değilse, denetim sistemi sıcak hava, soğuk hava, nem giriş ve nem çıkış klepelerini açarak gerekli giriş veya çıkışı sağlayacaktır.

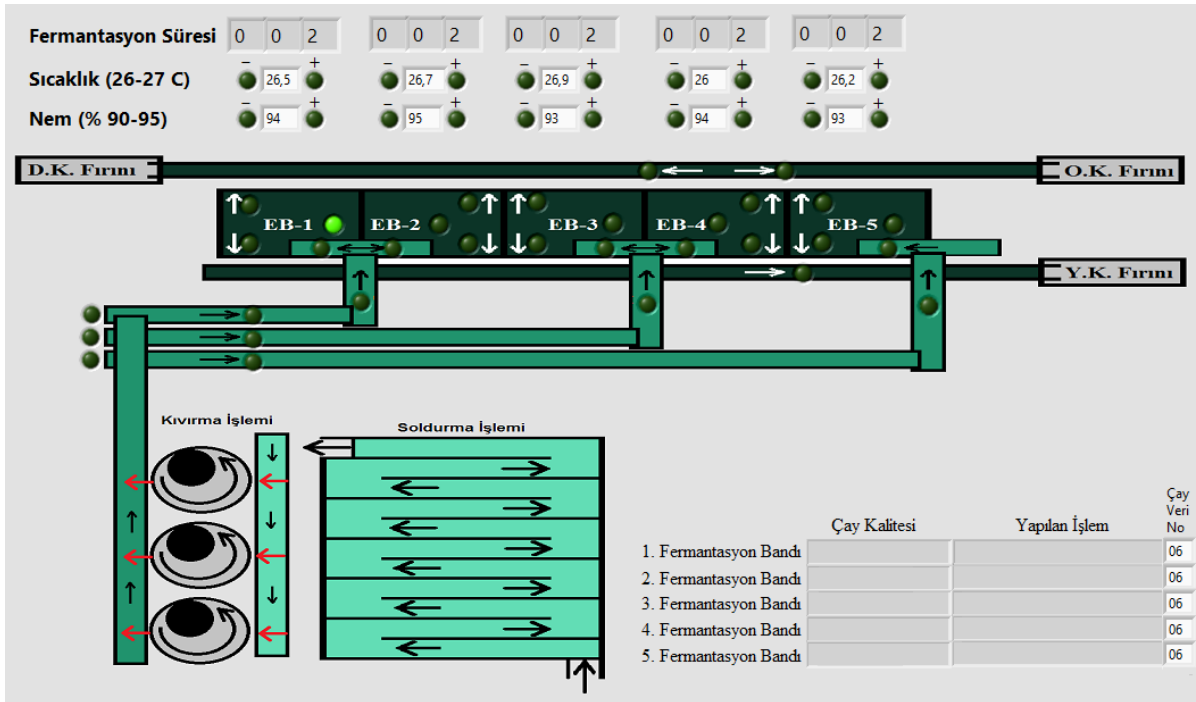
3.2. Benzetim Çalışmaları

Yapılan benzetimde sadece sistemin otomasyonu değil, aynı zamanda kullanıcı için arayüz de yapılmıştır. Bu panelde fabrikadaki üretim resmedilmiş, fermantasyon durumları hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Her bant için ayrı ayrı bilgi ekranları konulmuş ve bu ekranlarda fermantasyon durumu ile ilgili bilgiler kullanıcıya verilmiştir.

Çalışma benzetim tabanlı olduğundan, e-burun gerçekte çalıştırılmamış ve koku alıp değerlendirme yapılmamıştır. Bunun yerine daha önce alınan 64 koku kullanılmıştır. Benzetim ekranında bütün fermantasyon bantlarına ait birer veri girişi konulmuş ve oraya girilen değer ile e-burunun mevcut kayıtlardan ilgili numaralı çayı kokladığı varsayılmıştır.

Gerçek bir çay fermantasyonu yapılmadığı için sıcaklık ve nem değerleri de otomasyona kullanıcı tarafından girilmektedir. Sıcaklık değeri 26-27 °C'nin üzerinde ise fermantasyon bandını soğutma çıkışı çalışmakta, eğer sıcaklık değeri 26-27 °C'nin altında ise fermantasyon bandını ısıtma çıkışı çalışmaktadır. Nem değeri %90-95'in üzerinde ise nem azaltma çıkışı çalışmakta, eğer nem değeri %90-95'in altında ise banda nem girişini sağlayan çıkış çalışmaktadır. Bu çıkışlar ledlerle gösterilmiştir.

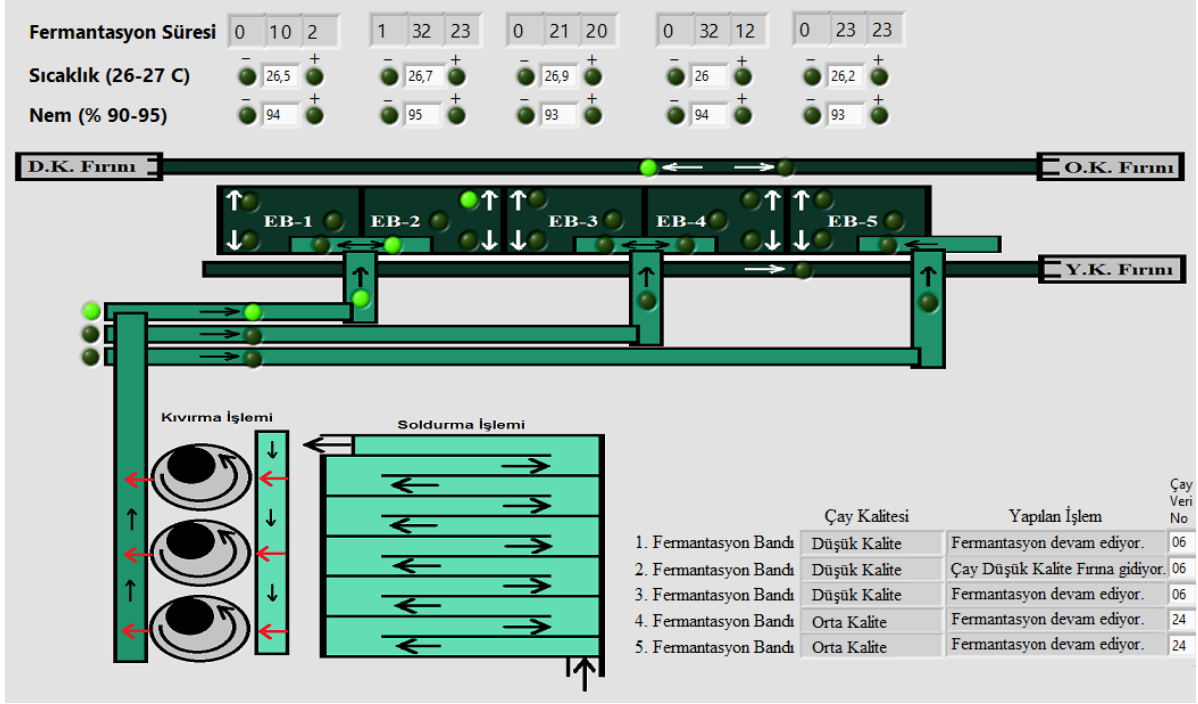
Şekil 3.8'de fabrikadaki üretim resmedilmiş ve yapılan fermantasyon denetimi ile ilgili bilgiler kullanıcı panelinde verilmiştir.



Şekil 3.8. Kullanıcı paneli

Şekil 3.8’de sıcaklık, nem ve hareketleri birbirinden bağımsız 5 adet fermantasyon bandı verilmiştir. Elektronik burun 1. fermantasyon bandındaki çayın kokusunu alıyor kabul edilmektedir. Bütün fermantasyon bantlarındaki çaylar için 06 numaralı düşük kalite çay verisi girilmiş olup, bu bantlardaki çaylar düşük kalite olarak girilmiştir. Elektronik burun fermantasyon bantlarındaki çayların kalitelerini her dakika sırasıyla değerlendirmektedir. E-burunun çayın kalitesini tespit etmesiyle; çayın yüksek kalite olması durumunda çay hemen Yüksek Kalite Fırınına gönderilmektedir. Çayın orta kalite olması durumunda, çay, fermantasyonun son yarım saatine kadar fermente olmaya devam etmekte, eğer son yarım saat içinde orta kalite olarak tespit edildi ise çay, Orta Kalite Fırına gönderilmektedir. Çay, düşük kalite olarak belirlendiğinde, çay kalitesinin yükselebileceği fermantasyon süresinin üst limitine kadar fermente olmaya devam etmekte, bu sürenin sonunda kalitesi halen düşük ise Düşük Kalite Fırınına gönderilmektedir.

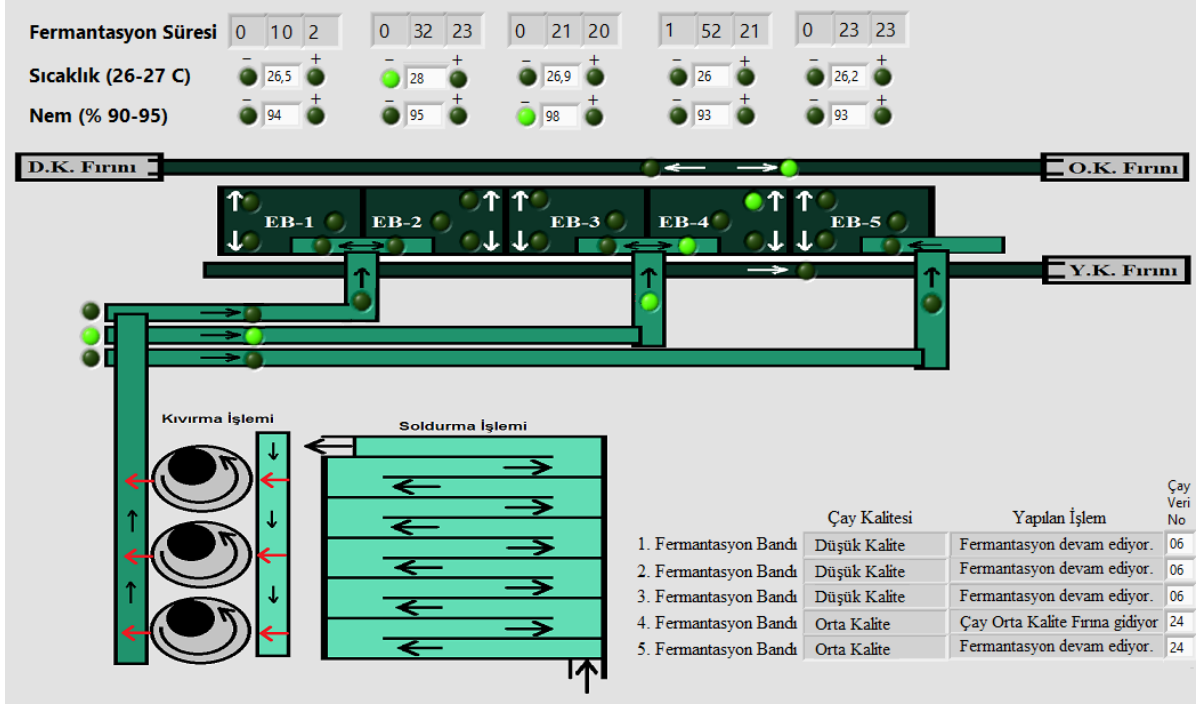
Şekil 3.9’da 1., 2., ve 3. fermantasyon bantlarındaki çaylar için 06 numaralı düşük kalite çay bilgisi girilmiş, 4. ve 5. fermantasyon bantları için 24 numaralı orta kalite çay bilgisi girilmiştir. 1. fermantasyon bandındaki çay 10 dakika fermente olmuştur ve düşük kalitededir, fermente olarak kalitesi yükselebileceği için fermantasyon işlemi devam etmektedir. 2. fermantasyon bandındaki çay 2 saat 17 dakika boyunca, e-burunun her 5 dakikadaki bir denetiminde düşük kalite çay olarak değerlendirilmiştir. Kabul edilen en yüksek fermantasyon süresi olan 2 saat 15 dakika tamamlandıktan sonraki ilk koklama döngüsünde çay kalitesi yine düşük kalite olarak tespit edildiğinde, çay Düşük Kalite Fırınına gönderilmiştir. 3. fermantasyon bandındaki çay 21 dakika fermente olmuştur ve düşük kalitededir, fermantasyon işlemi devam etmektedir. 4. fermantasyon bandındaki çay 32 dakika fermente olmuştur ve orta kalitededir, fermente olarak kalitesi yükselebileceği için fermantasyon işlemi devam etmektedir. 5. fermantasyon bandındaki çay ise 23 dakika fermente olmuştur ve orta kalitededir, fermantasyon işlemi devam etmektedir.



Şekil 3.9. Düşük Kalite Çay Değerlendirmesi

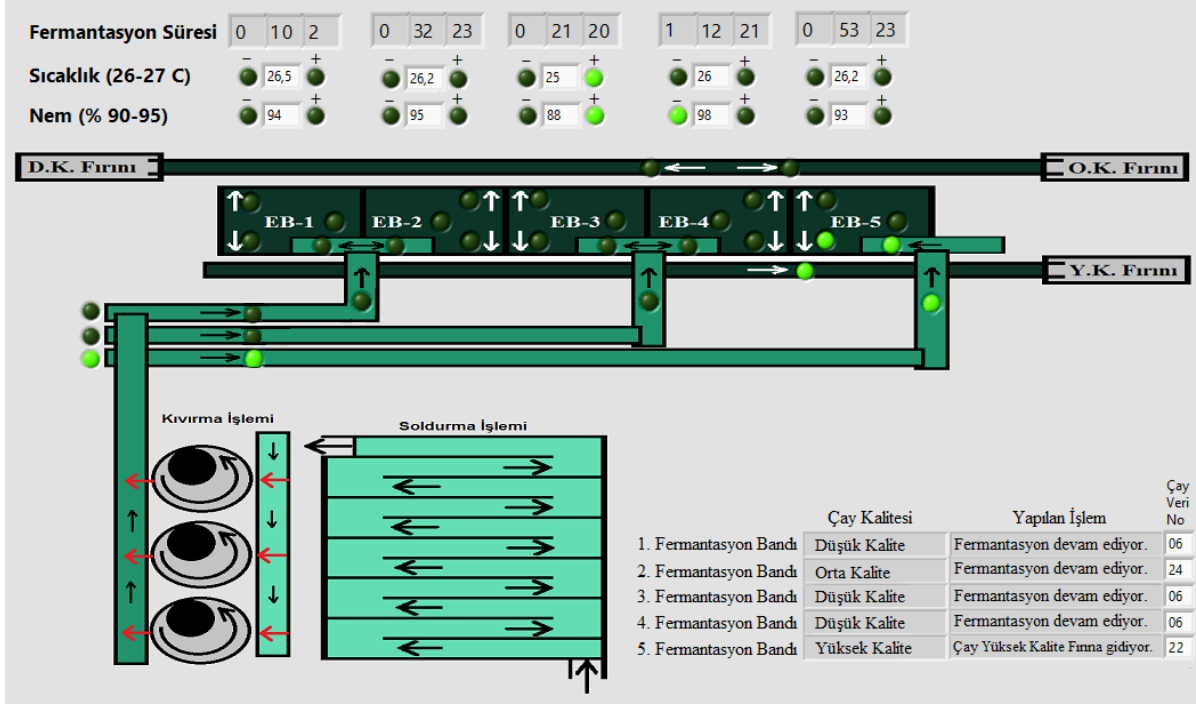
Şekil 3.10'da 4. fermantasyon bandındaki çay orta kalite olarak değerlendirilmiştir. Bu banttaki çay 1 saat 52 dakika fermente olmuştur. Geleneksel fermantasyon süresi olan 2 saat 15 dakikanın son yarım saatine kadar (1 saat 45 dakika) kalitesinin yükselmesi beklenmiş olup, son yarım saate girildiğinde elde edilen orta kalite riske atılmamış ve çay Orta Kalite Fırınına gönderilmiştir.

Şekil 3.10'da 2. fermantasyon bandının fermantasyon sıcaklığı 28 °C olarak ölçülmüş ve soğutma işlemi başlatılmıştır, 3. fermantasyon bandının fermantasyon nemi %98 olarak ölçülmüş ve bant nemini azaltacak çıkış çalıştırılmıştır.



Şekil 3.10. Orta Kalite Çay Değerlendirmesi

Şekil 3.11’de 1., 3., ve 4. fermantasyon bantlarındaki çaylar için 06 numaralı düşük kalite çay bilgisi, 2. fermantasyon bandı için 24 numaralı orta kalite çay bilgisi ve 5. fermantasyon bandı için 22 numaralı yüksek kalite çay bilgisi girilmiştir. 5. fermantasyon bandındaki çay, fermantasyonun 53. dakikasında yüksek kalite olarak değerlendirilmiş ve yüksek kalite yakalandığı anda süre dikkate alınmaksızın Yüksek Kalite Fırınına gönderilmiştir.



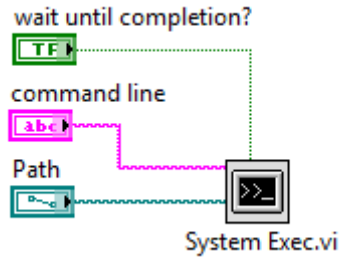
Şekil 3.11. Yüksek Kalite Çay Değerlendirmesi

E-burunun koku alma ve sınıflandırma algoritmaları Matlab yazılım ortamında yapılmıştır ancak fermantasyon denetimi otomasyon çalışması Labview programında hazırlanmıştır. Çalışması istenen çıkışlar panelde gösterildiği gibi benzetim programında ledlerle ifade edilmiştir. Gerçek bir fermantasyon sisteminin otomasyonu oldukça maliyetli olacağı için çalışma gerçek bir sistem üzerinde değil, bilgisayar üzerinde benzetim çalışması olarak yapılmıştır. Ancak benzetimdeki ledler DAQ karttaki çıkışlara atanarak istenilen gerçek çıkışlar alınabilir ve bu sayede gerçek bir fabrika otomasyonu gerçekleştirilebilir.

Çalışmada Matlab algoritmalarını Labviewde yeniden hazırlamak yerine Labviewden Matlab algoritmalarını koşturmak tercih edilmiştir.

Labview'in Matlab dosyası çalıştırmak gibi bir özelliği yoktur ancak .exe uzantılı dosyaları çalıştırabilmektedir. Kullanılan Matlab programı .exe uzantılı dosyaya dönüştürülmüş olup Labview ile çalıştırılmıştır.

Şekil 3.12'de Labview programından .exe dosyası çağırmak için kullanılan blok diyagram gösterilmiştir.



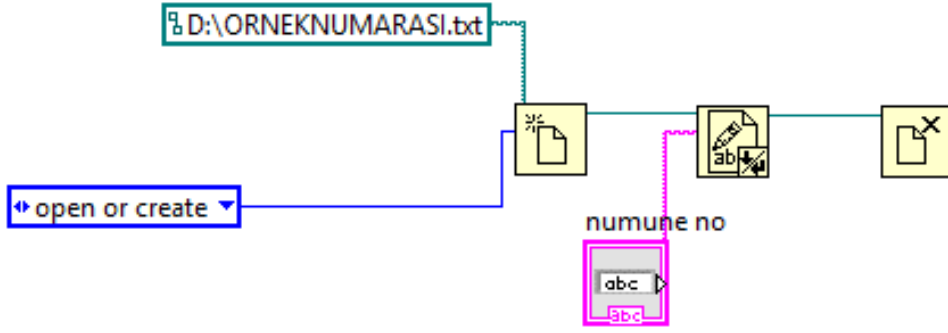
Şekil 3.12. Labviewden .exe dosyası çalıştıran programın blok diyagramı

Bu komut ile Labviewde hazırlanan benzetim programı (vi) içerisinde .exe'ye çevrilen Matlab dosyası çalışmaktadır.

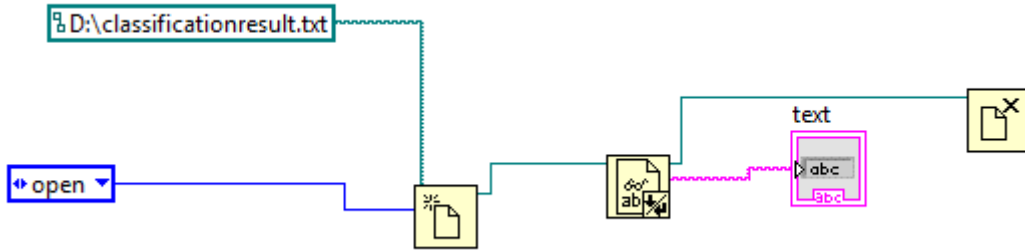
Matlab'de hazırlanan sınıflandırma algoritmasında, sınıflandırılması istenen veri numarası algoritmaya girilmekte ve algoritma koşurulduğunda o verinin sınıflandırma sonucu Matlab tarafından verilmektedir. Otomasyon Labview'den yürütüleceği için, bu verilerin Labview ortamından Matlab ortamına girilmesi ve sınıflandırma sonuç bilgisinin Matlab'den Labview'e alınması gerekmektedir. Bunun için Matlab'deki sınıflandırma algoritması, sınıflandırılacak veri bilgisini text belgesinden okuyacak ve sınıflandırma sonucunu başka bir text belgesine yazacak şekilde hazırlanmıştır.

Hazırlanan benzetimdeki Şekil 3.11'de gösterilen bant bilgi ekranlarının yanında yazan "çay veri no"ya girilen değer, ORNEKNUMARASI.txt belgesine kaydedilmekte ve daha sonra Matlab'ın .exe uzantılı sınıflandırma programı çalıştırılmaktadır. Matlab'ın .exe uzantılı sınıflandırma programı ise ORNEKNUMARASI.txt belgesinden veri numarasını çekip, o veriyi sınıflandırmakta ve sonucu classificationresult.txt belgesine kaydetmektedir. Daha sonra Labviewdeki benzetim programı 5 sn. bekledikten sonra classificationresult.txt belgesinden sınıflandırma sonucunu almaktadır.

Labview'den .txt yazma ve .txt okuma blok diyagramları sırasıyla Şekil 3.13 ve 3.14'de gösterilmiştir.

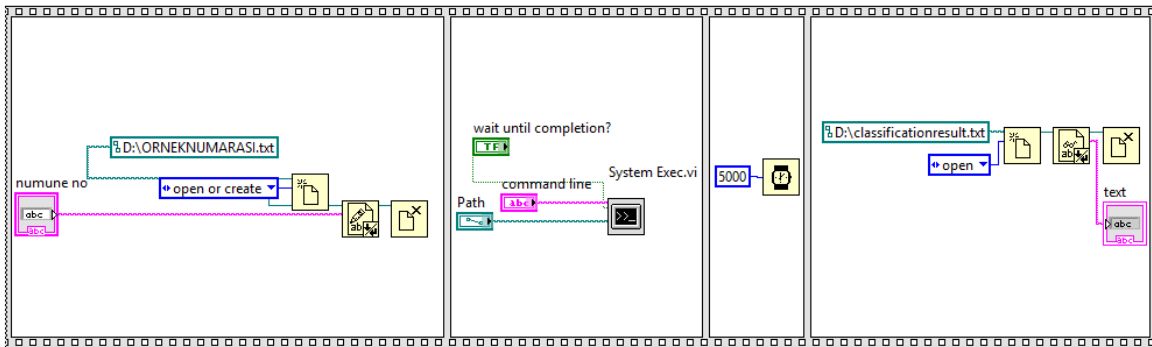


Şekil 3.13. Labviewden .txt dosyasına veri girişi blok diyagramı



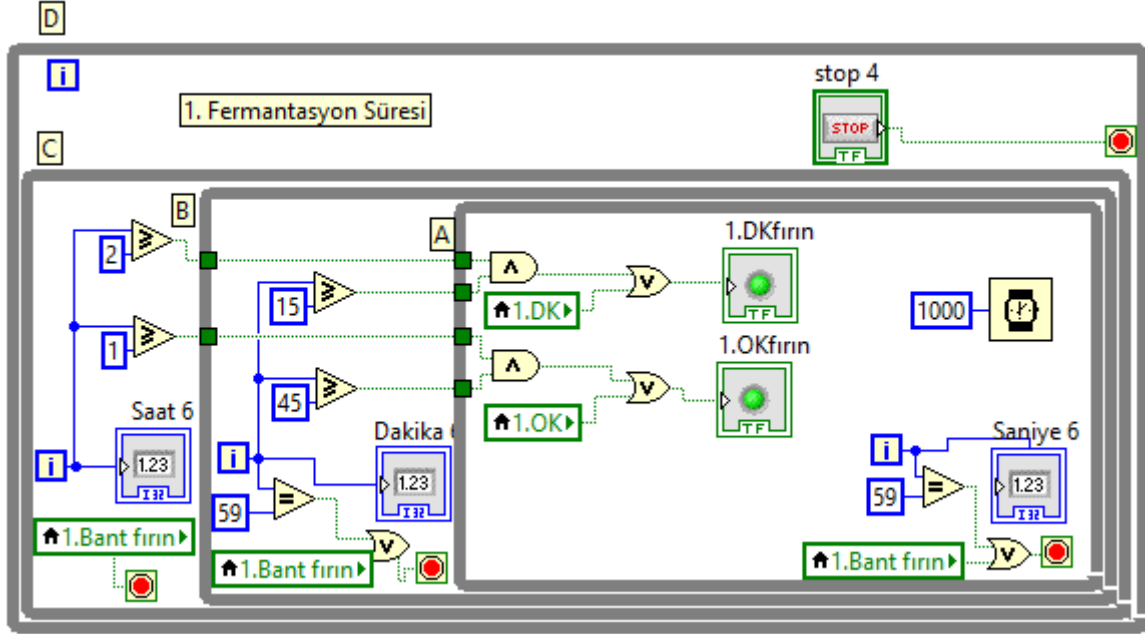
Şekil 3.14. Labviewe .txt dosyasından veri alma blok diyagramı

Bu işlemlerin sırasıyla yapılması için “Flat Sequence Structure” (sıralı yapı) kullanılmış ve exe dosyası çalıştırıldıktan sonra 5 saniyelik bir bekleme süresi koyulmuştur. Blok diyagram Şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.15. Sıralı yapı ile veri numarasını txt’ye yazan, exe çalıştırıp sonucu labviewe txt’den alan blok diyagram

1. Fermantasyon bandının süresini tutmak için Şekil 3.16'daki blok diyagramı hazırlanmıştır.



Şekil 3.16. 1. Fermantasyon Bandı için fermantasyon süresi

Burada en içteki A isimli while döngüsü “wait” operatörünün 1000 ms. sayması ile yani 1 saniyede bir döner ve i sayısını döngü adedince artırır. A döngüsünün i sayısı her saniye 1 tane artmaktadır. A döngüsünün i sayısı 59’a eşit olduğunda döngü stopla durdurulur ve B döngüsünün i sayacı 1 artar, A döngüsü tekrar 0’dan başlatılır ve tekrar 59 olduğunda durdurularak B döngüsünün sayacı 1 daha artırılır. Bu şekilde A döngüsüyle saniye, B döngüsüyle dakika oluşturulmuştur.

Aynı çalışma mantığı B ve C döngülerinde de vardır ve 60 dakika ile C döngüsündeki saat sayacı 1 artacaktır. Bu şekilde bütün fermantasyon bantları için birbirinden bağımsız saatler oluşturulmuştur. D döngüsü ise saat bir kez durdurulduktan sonra tekrar başlasın diye konulmuştur. Saati durdurmak yani yeniden başlatmak için ise Şekil 2.74’de gösterilen, döngülerin stoplarına OR kapısıyla bağlanmış, “1.bant fırın” isimli lokal değişkenler bulunmaktadır.

Şekil 3.15’de en sağ çerçevede sınıflandırma sonucu “text” bilgi ekranına yazdırılmıştır. Matlabda hazırlanan sınıflandırma programında,

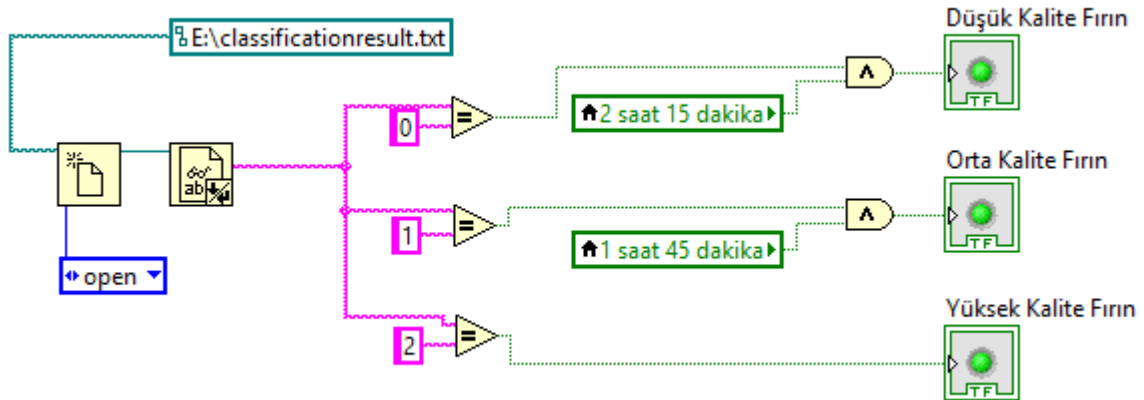
Düşük kalite çay	0
Orta kalite çay	1
Yüksek kalite çay	2

olarak atanmıştır ve sınıflandırma sonucu bu rakamlardan biri olarak verilmektedir.

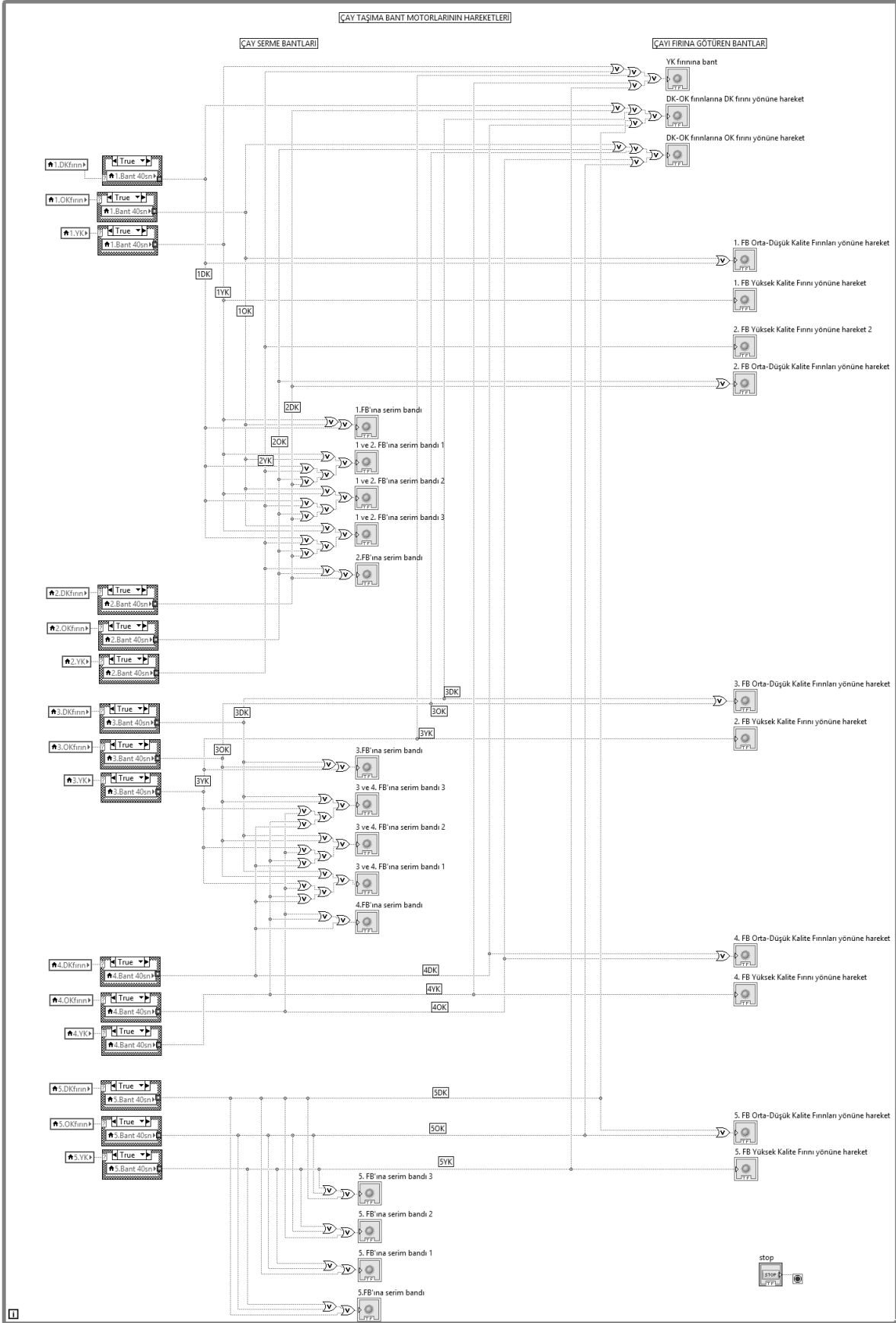
Şekil 3.4’de gösterilen karar algoritmasında, e-burunun kokladığı çay;

- Yüksek kalite ise, çay hemen yüksek kalite fırınına taşınır ve fermantasyon bandına kıvrırma ünitesinden çay getirilir.
- Orta kalite ise, fermantasyon süresine bakılır. Eğer süre 1 saat 45 dakikayı geçmemişse fermantasyon devam eder, 1 saat 45 dakikayı geçmişse toplam fermente süresi olan 2 saat 15 dakika sonu beklenerek orta kalite riske edilmez ve orta kalite çay da orta kalite fırına götürülür. Aynı zamanda kıvrırma ünitesinden fermantasyon bandına çay getirilir.
- Düşük kalite ise, yine fermantasyon süresine bakılır. Eğer süre 2 saat 15 dakikayı geçmemişse fermantasyon devam eder, kalitenin yükselme ihtimaline karşın beklenir. Eğer süre 2 saat 15 dakikayı geçmişse çayın daha fazla fermente olup bozulmasına müsaade edilmez ve çay düşük kalite fırınına götürülür ve boşalmakta olan banda kıvrırma ünitesinden çay getirilir.

Yukarıda sayılan kurallar Labviewde Şekil 3.17’de gösterildiği gibi uygulanmıştır.



Şekil 3.17. Çay kalitesine göre fırın kararı blok diyagramı



Şekil 3.18. Çay Taşıma Bantlarının Hareketi için Hazırlanan Labview Blok Diyagramı

Herhangi bir bant için fırın kararı verildikten sonra o banddaki çayı kararı verilen fırına götürecek bant motorları ve kıvrırma ünitesinden o banda çay getirecek motorlar 40 saniye süreyle çalıştırılırlar. Bant motorlarının hareketleri Şekil 3.18'de verilen blok diyagram ile sağlanmıştır. Sürenin 40 saniye olarak belirlenmesindeki amaç bir sonraki e-burun çalışma süresine girmemek ve bantların işlemlerini birbirinden mümkün olduğunca uzak tutmaktır.

Çayın özgül ağırlığı sürgünden sürgüne göre 220-240 kg/m³ arasında değişmektedir. Tasarlanan fermantasyon bantları 4 m² olup, çay serim kalınlığı fabrikalarda 20-25 cm. arasında değişmektedir. Çayın özgül ağırlığı ortalama 230 kg/m³ ve serme kalınlığı 20 cm. olarak kabul edilirse, bir fermantasyon bandında fermente olan çay miktarı aşağıdaki gibi yaklaşık 200 kg olarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Banttaki çay ağırlığı} = 230 \times 4 \times 0,2 = 184 \text{ kg} \quad (2.5)$$

Bunu sağlamak için de bantların saniyede 5 kg çay taşınması gerekmektedir. Sistemin gerçekte de çalışabilmesi için, bant hızları sisteme göre ayarlanmalıdır ya da gerçek sistemdeki taşıma süresi labview benzetim programında ayarlanan 40 saniye ile değiştirilmelidir.

Benzetimde her fermantasyon bandı için, 1 dakikalık koklama ve kalite değerlendirme süresi ayrılmıştır. Kalitesi belirlendikten sonra yukarıda anlatılan karar verme algoritmasına göre fermantasyon bantlarındaki çaylar fırınlara gidecek ya da fermantasyona devam edeceklerdir. Fırına gitmesine karar verilen çay 40 saniye içinde fırına giderken boşalan fermantasyon bandı da aynı 40 saniye içinde dolacaktır. Bu sayede zayıf bir ihtimal olmasına rağmen 2 fermantasyon bandı için ardarda fırın kararı alınsa bile sistem karışmadan çalışabilecektir.

4. SONUÇLAR

Yarı iletken teknolojisinin gelişmesi ile iletkenliği gazlara duyarlı kimyasal algılayıcılar üretilmiş ve geçtiğimiz yüzyılda alkolmetre, gaz dedektörleri gibi her gaz algılayıcısının duyarlı olduğu gaza yönelik bir elektronik devre yapılmış ve bu gaz algılayıcı elektronik devreler insan hayatını kolaylaştırmıştır. Daha sonra farklı gazlara duyarlı gaz algılayıcıları üretilmiş ve tek gaz algılayıcısının değil de birkaç gaz algılayıcısının birlikte kullanımıyla elektronik burunlar oluşturularak artık tek çeşit gazlar değil, birkaç gazın bileşkesi olan kokular tanınmıştır. Henüz gelişiminin çok başlarında bir teknoloji olan elektronik burun teknolojisi geliştikçe insan hayatına çok büyük kolaylıklar sağlamaya devam edecektir.

Bu çalışmada; çay fabrikalarındaki kalite tespitinde kullanılan pahalı ve yavaş kimyasal analiz ve göreceli çay tadımı yöntemlerinin yerine, daha verimli, daha hızlı, düşük maliyetli ve kişiye bağlı olmayan, elektronik bir sistemle kalite tespitinin yapılması gerçekleştirilmiştir. Elektronik sistem olarak e-dil, e-burun ve e-görüntüleme yöntemleri arasından, gerek maliyeti, gerek fabrika sistemine entegrasyonu ve gerekse başarımı açısından e-burun tercih edilmiştir.

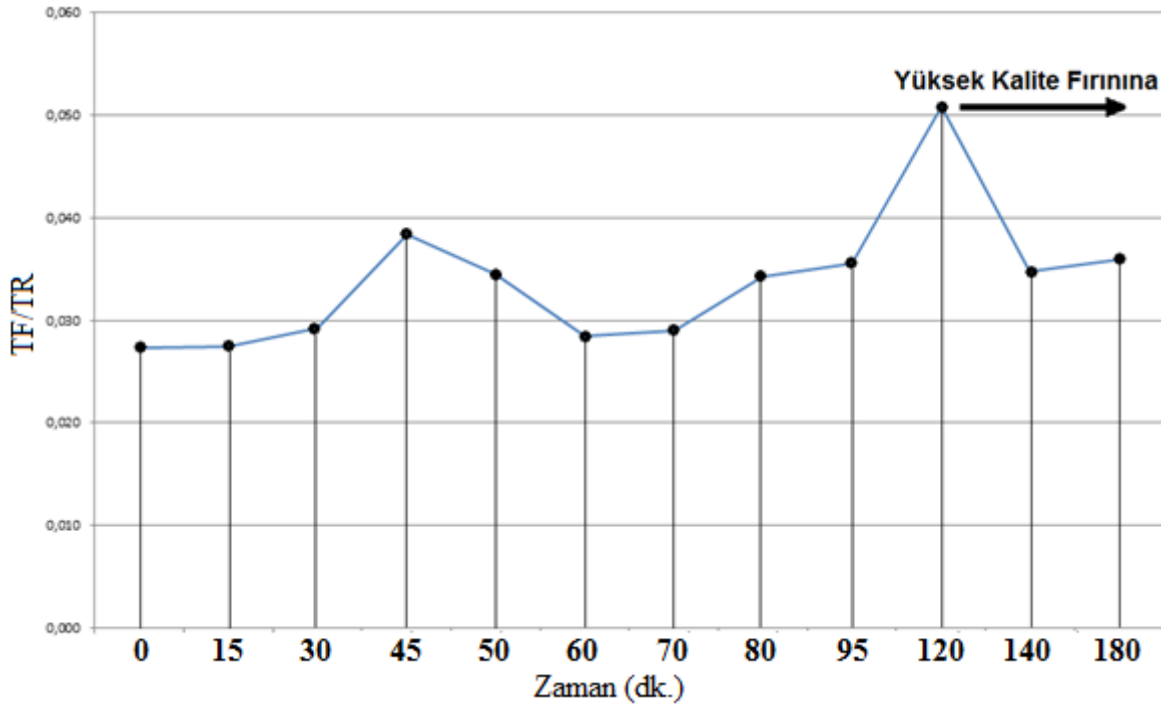
Çalışmada 13 gaz algılayıcı taşıyabilir bir e-burun sistemi yapılmış ve Rize'nin Çayeli İlçesi Abdullah Hoca Köyü'nde Okumuş Çay Sanayi'nde üretim esnasında fermantasyon bandı üzerinden 64 farklı çay kokusu alınmıştır. Bu çaylardan belli miktarlarda hemen kurutulmuş daha sonra bu çayların, bir kalite parametresi olan TF/TR kimyasal analizi yapılmıştır. Elde edilen TF/TR analizi sonuçlarına göre düşük kalite, orta kalite ve yüksek kalite olarak derecelendirilen 64 çay numunesinin yarısı eğitim verisi, diğer yarısı test verisi olarak kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar neticesinde 13 gaz algılayıcısının yalnızca 5'inin (TGS-2602, TGS-2201-I, TGS-2104, TGS-2620 ve TGS-826) verilerinin çay için anlamlı olduğu görülmüştür.

Bu çalışma ile yürüyen bir fermantasyon bandı üzerinden çay kokuları alınmış ve yapılan sınıflandırmada %74.19 sınıflandırma başarımı elde edilmiştir.

Çalışmanın gerçek zamanlı yapılması ve e-burundan alınan bilgi ile yapılması önerilen fermantasyon denetimi sayesinde, daha kısa sürede daha kaliteli çay üretiminin sağlanabileceği gösterilmiştir.

1. Bu çalışma, çay kalitesini sınıflandırmayı fermantasyon bandında gerçek zamanlı olarak yapan ilk çalışmadır. Yapılan çalışmada çay kalitesi ilk kez fermantasyon bandı üzerinden alınan koku ile değerlendirilmiş olup %75 başarı ile çay kalitesi tespit edilebilmiştir. Literatürdeki diğer e-burunla çay kalitesi tespiti çalışmalarında, gerek işlemleri tamamlanmış gerekse fermantasyon aşamasındaki çay numuneleri laboratuvar ortamına taşınmak suretiyle, e-burunun örnek haznesine konarak kalite tespiti yapılmıştır.
2. Çay tadımı yönteminde kalitesi tespit edilmek istenen çay demlenerek oluşturulan çay likörü tadılmakta ve çay tadımcısının o anki duyuşal değerlendirmesi ile kalite tespit edilmektedir. Önerilen yöntem çay tadımı yöntemine göre çok daha hızlı ve görecelilikten uzaktır.
3. Kimyasal analizde, çayın TF/TR değeri laboratuvar ortamında izo bütül metil keton ve metil alkol kullanılarak tespit edilmekte ve bu değeri çayın kalitesini belirlemektedir. Önerilen yöntemle, çay kalitesi tespiti kimyasal analiz yöntemine göre çok daha hızlı ve çok daha düşük maliyetle yapılabilmektedir.
4. Yukarıda bahsedilen iki yöntemle de fabrikasyon bir üretim sürecine müdahale etmek mümkün değildir. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere çay kalitesi toplam fermantasyon süresi olarak kabul edilen 3 saat boyunca değışiklikler arz etmektedir. Çay fermantasyonunun standart 3 saat yapılması yerine, önerilen gerçek zamanlı kalite tespit sistemiyle yapılması halinde, yüksek kalite tespit edildiği anda çay fırına gönderilecek ve çay kalitesi Şekil 4.1’deki gibi yüksek kalitede saklanabilecektir.



Şekil 4.1. Seçilen çay fabrikasında bir fermantasyon süresi boyunca çay kalitesi değişimi

5. Önerilen sistemle fermantasyon süresi bütün çaylar için standart 3 saat kabul edilmeyecek olup, bu süre yüksek kalitenin yakalandığı anda son bulacak ve fermantasyonun tamamlandığı bant için yeni çayın gelmesiyle yeni fermantasyon başlayacaktır. Bu sayede toplam üretim süresi kısalmış olup, üretim miktarı artacaktır. Böylelikle aynı elektrik-su-insan gücü kullanımıyla daha fazla üretim yapılacak olup, üretim maliyeti kayda değer miktarda düşecektir .
6. Yapılan çalışma ile, kullanılan gaz algılayıcılarından TGS-826, TGS-2104, TGS-2602, TGS-2201 ve TGS-2620 gaz algılayıcılarının fermantasyon aşamasındaki çay kokusuna daha duyarlı olduğu ve bu algılayıcılar kullanılarak oluşturulacak e-burun düzeneği ile fermantasyon aşamasındaki çay kokusu ile çay kalitesi tespiti yapılabileceği görülmüştür.
7. Yapılan çalışmada e-burundaki algılayıcı verileri belli bir önışlemeden geçirilerek bu verilere; toplam, ortalama, varyans, skewness ve kurtosis gibi öznelik çıkartma yöntemleri uygulanmış ve çıkan öznelik vektörleri; DAA, Bayes, kNN-3, kNN-5, kNN-7 ve kNN-9 sınıflandırma yöntemleriyle sınıflandırılmıştır.
8. Yapılan sınıflandırma çalışmasında, kullanılan algoritmalar arasında en yüksek sınıflandırma başarımını kNN-3 algoritması % 74,2 ile sağlamıştır. Burada LDA

sınıflandırma başarımının düşük olmasının nedeni LDA'nın sınıflandırmayı doğrusal çizgilerle ayırarak yapmasıdır. Bayes sınıflandırma başarımının düşük olmasının nedeni ise örneklerin içiçe geçmiş olduğundandır.

Tüm bu sonuçlar ışığında yapılan çalışmanın; gerçek hayata uygulanabilirliği, insan hayatına getirebileceği kolaylıklar ve ürün kalite standardının yakalanması yönüyle faydalı olacağı düşünülmektedir.

5. ÖNERİLER

Günümüzde e-burun sayesinde birçok tanı koku ile koyulabilmektedir. Ancak yine de e-burun teknolojisi gelişiminin çok başlarındadır. Hem donanım hem de yazılım olarak geliştirmeye muhtaç bir konu olan e-burun teknolojisi üzerine yapılacak olan yeni çalışmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

1. E-burunun temeli olan gaz algılayıcı teknolojisi iyi takip edilerek, yeni çıkan algılayıcılar e-burun sistemine eklenerek yeni kokular tanınabilir veya tanınan eski kokuların tanıma başarısı artırılabilir.
2. Çalışmamızda yapmış olduğumuz taşınabilir e-burun sistemleri için de hava debisi düzenleyici kullanılarak ölçüm hassasiyeti artırılabilir.
3. Algılayıcılardan elde edilen verilere uygulanan ön işleme yöntemleri geliştirilebilir.
4. Ön işlemde geçmiş verilere daha farklı öznelik çıkartma yöntemleri uygulanabilir.
5. Çıkartılan öznelik vektörlerini sınıflandıran daha farklı sınıflandırma algoritmaları kullanılabilir.
6. Çalışma öncelikle küçük ölçekli çay fabrikalarında hayata geçirilerek, geliştirilen e-burunun verimliliği tespit edilebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Groosman, M., Tea Sector Overview, The Sustainable Trade Initiative, The Netherlands, 2011.
2. Kacar, B., Çayın Biyokimyası ve İşleme Teknolojisi, Çay-Kur Yayını No:6, Ankara, 1987.
3. http://www.lipton.com.tr/cayin_oykusu.asp, Çayın Öyküsü, 2 Haziran 2014.
4. Özdemir, F. ve Gökalp, H.Y., Siyah Çayda Kalite Karakteristikleri ve Etki Eden Faktörler, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, No: 20, 2, (1989) 135-145.
5. Tekeli, S.T., Çay Yetiştirme-İşleme-Pazarlama, Dönüm Yayınları, No:5, Ankara Basım ve Ciltevi, Ankara, 1976.
6. Çelik, F., Çay (*Camellia sinensis*); İçeriği, Sağlık Üzerindeki Koruyucu Etkisi ve Önerilen Tüketimi, Türkiye Klinikleri J Med Sci, 26, 2006 642-648.
7. Cooper, R., Morre J. ve Morre. D.M., Medicinal Benefits of Green Tea: Part I. Review of Noncancer Health Benefits, The Journal of Alternative and Complementary Medicine, 11 (2005) 521-528.
8. Hodgson, J.M., Tea Flavonoids and Cardiovascular Disease, Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 17 (2008) 288-290.
9. <http://www.biriz.biz/cay/>, Çay, 28 Nisan 2014.
10. Sarıca, Ş., Karataş, Ü. ve Diktaş, M., Çay (*camellia sinensis*); İçeriği, Metabolizma ve Sağlık Üzerine Etkileri, Antioksidan Aktivitesi ve Etlik Piliç Karma Yemlerinde Kullanımı, GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi, 25 (2008) 79-85.
11. Euromonitor International Ltd, “Who Drinks What: Identifying International Drinks Consumption Trends”, 2nd edition, 60-61 Britton Street, United Kingdom, 2011.
12. Ozden, V. D., Türkiye Siyah Çay Sektor Raporu, Enterprise Europe Network, Karadeniz, 2009.
13. Çalıkoğlu, E. ve Bayrak A., Çay İşleme Sırasında Aroma Maddelerindeki Değişim, Gıda, 34 (2009) 115-119.
14. Doymaz, I. ve Pala, M., The Thin-Layer Drying Characteristics of Corn, Journal of Food Engineering, 60 (2003) 125-130.

15. Zihnioğlu, A., Bir Yeşilin Peşinde, 2. Basım 63, Pelin Ofset, Ankara, 1998.
16. <http://www.hancicay.com.tr/pages/caykulturu.html>, ay Tadımı, 14.05.2014.
17. Obanda, M., Owuor, P.O. ve Mang'oka, R., Changes in The Chemical and Sensory Quality Parameters of Black Tea Due to Variations of Fermentation Time and Temperature, Food Chemistry, 75 (2001) 395-404.
18. Kacar, B., ay ve ay Topraklarının Kimyasal Analizleri, ay-Kur Yayımı No:14, Ankara, 1991.
19. Poyrazoğlu, E. S. ve Gurses .L., ay Deminin Bileşimine Etkili Bazı Faktörler zerinde Araştırma, Gıda Mühendisliği Dergisi, 17, 2004 38-45.
20. Tüfekci, M. ve Güner, S., The Determination of Optimum Fermentation Time in Turkish Black Tea Manufacture, Food Chemistry, 60, 1, (1997) 53-56.
21. zdemir, F., Nas, S. ve Gökalp, H.Y., Siyah ay İmalatında Farklı Kıvrırma Metotlarının  Sürgün Dönemi ayın İşlenmesi zerindeki Etkinliği ve üretilen Siyah ayların Bazı Karakteristik zellikleri, Ekonomik ve Teknik Dergi Standart, 32 (1993) 46-50.
22. aykur Atatürk ay ve Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, ayda Tiflavin (TF) ve Tirubigin (TR) Belirlenmesi, Rize.
23. Bayındır, M., Yaman, M. ve Yıldırım, A., Koku Bilimine Doğru Elektronik ve Fotonik Burunlar, Bilim ve Teknik, 136 2011 34-39.
24. Chiu, S.W. ve Tang, K.T., Towards a Chemiresistive Sensor-Integrated Electronic Nose: A Review, Sensors, 13,10 (2013) 14214-14247.
25. Moncrieff, R.W., An Instrument for Measuring and Classifying Odours, Journal of Applied Physiology, 16 (1961) 742-749.
26. Wilkens, W.F. ve Hartman, J.D., An Electronic Analog for the Olfactory Processes, Journal of Food Science, 29 (1964) 372-378.
27. Buck, T.M., Allen, F.G. ve Dalton, M., Detection of Chemical Species by Surface Effects on Metals and Semiconductors, In Surface Effects in Detection, Spartan Books Inc., USA, 1965.

28. Gardner, J.W., Bartlett, P.N., Dodd, G.H. ve Shurmer, H.V., Pattern Recognition in the Warwick Electronic Nose, In Proceedings of the 8th International Congress of European Chemoreception Research Organisation, 18–22 July 1988, University of Warwick, UK.
29. Natale, C.D., Macagnano, A., Paolesse, R., Tarizzo, E., D’Amico, A., Davide, F., Boschi, T., Faccio, M., Ferri, G., Siensio, F., Bucarelli, F.M., Moneta, E. Ve Quaglia, G. B., A Comparison Between an Electronic Nose and Human Olfaction in a Selected Case Study, Solid-State Sensors and Actuators, International Conference on Transducers 97, Haziran 1997, Chicago, Bildiriler Kitabı: 1335-1338.
30. Talou, T., Sanchez, J.M. ve Bourrounet, B., New trends in electronic noses for flavour chemistry, Taylor, A.J., Mottram, D.S., Flavour Science: Recent Developments, s. 277–282, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1996.
31. Nix, M.B., Homer, M.L., Kisor, K.A., Soler, J., Torres, J., Manatt, K., Jewell, A. ve Ryan, M.A., Sniffing Out Problems for Humans In Space, IEEE Potentials, 26, 4 (2007) 18-24.
32. Ryan, M.A., Homer, M.L., Zhou, H., Manatt, K.S., Ryan, V.S. ve Jackson, S.P., Operation of an Electronic Nose Aboard the Space Shuttle and Directions for Research for a Second Generation Device, 30th International Conference on Environmental Systems, Temmuz 10-13, 2000. Toulouse, France,
33. Ryan, M.A., Homer, M.L., Buehler, M.G., Manatt, K.S., Zee, F. ve Graf, J., Monitoring the Air Quality in a Closed Chamber Using an Electronic Nose, 27th International Conference on Environmental Systems, Society of Automotive Engineers, Temmuz 1997, Nevada, Bildiriler Kitabı: 84-97.
34. Ryan, M.A., Homer, M.L., Buehler, M.G., Manatt, K.S., Lau, B., Karmon, D. ve Jackson, S., Monitoring Space Shuttle Air for Selected Contaminants Using an Electronic Nose, 28th International Conference on Environmental Systems, Society of Automotive Engineers, Temmuz 1998, Massachusetts, USA, Bildiriler Kitabı: 98-102.
35. Nimsuk, N. ve Nakamoto, T., Study of Odor Classification in Dynamically Changing Concentration Using QCM Sensor Array and Short-Time Fourier Transform, The 14th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, 10-14 Haziran 2007, Lyon, France, Bildiriler Kitabı: 2469-2472.
36. Pan, L., Liu, R., Peng, S., Chai, Y. ve Yang, S.X., An Wireless Electronic Nose Network for Odours around Livestock Farms, 14th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, 4-6 Aralık 2007, Xiamen, Çin, Bildiriler Kitabı: 211-216.

37. Pan, L., Liu, R., Peng, S., Yang, S.X. ve Gregori, S., Real-Time Monitoring System for Odours around Livestock Farms, IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, Nisan, 2007, Londra, İngiltere, Bildiriler Kitabı: 883-888.
38. Men, H., Li, X., Wang, J. ve Jing, G., Applies of Neural Networks to Identify Gases Based on Electronic Nose, IEEE International Conference on Control and Automation, Haziran, 2007, Guangzhou, Çin, Bildiriler Kitabı: 2699-2704.
39. Kurup, P.U., An Electronic Nose for Detecting Hazardous Chemicals and Explosives, IEEE International Conference on 2008 Technologies and Homeland Security, 12-13 Mayıs 2008, Waltham, USA, Bildiriler Kitabı: 144-149..
40. Morsi, I., Electronic Noses for Monitoring Environmental Pollution and Building Regression Model, 34th Annual Conference of IEEE, Industrial Electronics, 10-13 Kasım, 2008, USA, Bildiriler Kitabı: 1730 – 1735.
41. Haeringer, D. ve Goschnick, J., Characterization of Smelling Contaminations on Textiles Using a Gradient Micro Array as an Electronic Nose, 14th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, 10-14 Haziran, 2007, France, Bildiriler Kitabı: 2477-2480.
42. Zhang, X. ve Zhang, M., Design of a Bionic Electronic Nose for Robot, 2008 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, 3-4 Ağustos, 2008, Guangzhou, Çin, Bildiriler Kitabı: 18-23.
43. Zhang, H. ve Wang, J., Detection of Age and Insect Damage Incurred by Wheat, with an Electronic Nose, Journal of Stored Products Research, 43 (2007) 489-495.
44. Hu, J., Application of PCA Method on Pest Information Detection of Electronic Nose, 2006 IEEE International Conference on Information Acquisition, 20-23 Ağustos, 2006, Çin, Bildiriler Kitabı: 1465-1468.
45. Wongchoosuk, C., Lutz, M. ve Kerdcharoen, T., Correction of Humidity Effect for Detection of Human Body Odor, 5. International conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 14-17 Mayıs, 2008, Tayland, Bildiriler Kitabı: 845-848.
46. Wongchoosuk, C., Lutz, M. ve Kerdcharoen, T., Detection and Classification of Human Body Odor Using an Electronic Nose, Sensors, 9 (2009) 7234-7249.

47. Teo, A.W., Garg, H.K. ve Puthusserypady, S., Detection of Humans Buried in Rubble: An Electronic Nose to Detect Human Body Odor, IEEE Second Joint EMBS/BMES Conference, 23-26 Ekim, 2002, USA, Bildiriler Kitabı: 1811-1812.
48. Blatt, R., Bonarini, A., Calabr'ò, E., Torre, M.D., Matteucci, M. ve Pastorino, U., Lung Cancer Identification by an Electronic Nose Based on an Array of MOS Sensors, International Joint Conference on, Neural Networks, Ağustos, 2007, USA, Bildiriler Kitabı: 1423-1428.
49. Natale, C.D., Macagnano, A., Martinelli, E., Paolesse, R., D'arcangelo, G., Roscioni, C., Agro, A.F. ve D'amico, A., Lung Cancer Identification by the Analysis of Breath by Means of an Array of Non-Selective Gas Sensors, Biosensors and Bioelectronics, 18 (2003) 1209-1218.
50. Philips, M., Gleeson, K., Hughes, J.M., Greenberg, J., Catoneo, N.R. ve Baker, L., Volatile Organic Compounds in Breath as Markers of Lung Cancer: A Cross-Sectional Study, The Lancet, 353 (1999) 1930-1933.
51. Dragonieri, S., Annema, J.T., Schot, R., Schee, M.P.C., Spanevello, A., Carratu, P., Resta, O., Rabe, K.F. ve Sterk, P.J., An Electronic Nose in the Discrimination of Patients with Non-Small Cell Lung Cancer and COPD, Lung Cancer, 64, (2009) 166-170.
52. D'amico, A., Pennanza, G., santónico, M., Martinelli, E., Roscioni, C., Galluccio, G., Paolesse, R. ve Natale, C.D., An Investigation on Electronic Nose Diagnosis of Lung Cancer, Lung Cancer, 68 (2010) 170-176.
53. Ryabtsev, S.V., Shaposhnick, A.V., Lukin, A.N. ve Domashevskaya E.P., Application of Semiconductor Gas Sensors for Medical Diagnostics, Sensors and Actuators B, 59 (1999) 26-29.
54. Ping, W., Yi, T. Haibao, X. ve Farong, S., A Novel Method for Diabetes Diagnosis Sased on Electronic Nose, Biosensors & Bioelectronics, 12 (1997) 1031-1036.
55. Fend, R., Bessant, C., Williams, A.J. ve Woodman, A.C., Monitoring Haemodialysis Using Electronic Nose and Chemometrics, Biosensors and Bioelectronics, 19 (2004) 1581-1590.
56. Kodogiannis, V.S., Lygouras, J.N., Tarczynski, A. ve Chowdrey, H.S., Artificial Odor Discrimination System Using Electronic Nose and Neural Networks for the Identification of Urinary Tract Infection, IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 12, 6 (2008) 707-713.

57. Lin, Y.J., Guo, H.R., Chang, Y.H., Kao, M.T., Wang, H.H. ve Hong, R., Application of the Electronic Nose for Uremia Diagnosis, Sensors and Actuators B, 76 (2001) 177-180.
58. Natale, C.D., Mantini, A., Macagnano, A., Antuzzi, D., Paolesse, R. ve D'Amico A., Electronic Nose Analysis of Urine Samples Containing Blood, Physiological Measurement, 20, 4 (1999) 377-384.
59. Natale, C.D., Paolesse, R., D'Arcangelo, G., Comandini, P., Pennazza, G., Martinelli, E., Rullo, S., Roscioni, M.C., Roscioni, C., Agrò, A.F. ve D'Amico, A., Identification of Schizophrenic Patients by Examination of Body Odor Using Gas Chromatography-Mass Spectrometry and A Cross-Selective Gas Sensor Array, Med Sci Monit, 11, 8 (2005) 367-375.
60. Schaller, E., Bosset, E.O. ve Escher, F., 'Electronic Noses' and Their Application to Food, Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie, 31 (1998) 305-316.
61. Keller, P.E., Kangas, L.J., Liden, L.H., Hashem, S. ve Kouzes, R.T., Electronic Noses and Their Applications, IEEE Northcon/Technical Applications Conference (TAC'95), 12 Ekim, 1995, USA, Bildiriler Kitabı: 116-119.
62. Green, G.C., Chan, A.D.C., ve Goubran, R.A., An Investigation into the Suitability of Using Three Electronic Nose Instruments for the Detection and Discrimination of Bacteria Types, 28th IEEE EMBS Annual International Conference, 30 Ağustos-3 Eylül, 2006, USA, Bildiriler Kitabı: 1850-1853.
63. Panigrahi, S., Chang, Y., Khot, L.R., Glower, J. ve Logue, C.M., Integrated Electronic Nose System for Detection of Salmonella Contamination in Meat, SAS 2008 – IEEE Sensors Applications Symposium, 12-14 Şubat, 2008, USA, Bildiriler Kitabı: 85-88.
64. Brezmes, J., Fructuoso, M.L.L., Llobet, E., Vilanova, X., Recasens, I., Orts, J., Saiz, G. ve Correig, X, Evaluation of an Electronic Nose to Assess Fruit Ripeness., IEEE Sensors Journal, 5, 1 (2005) 97-108.
65. Hosseini, H.G., Luo, D., Liu, H. ve Xu, G., Intelligent Processing of E-nose Information for Fish Freshness Assessment, 3rd International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information, Aralık, 2007. Avustralya, Bildiriler Kitabı: 173-177.

66. Natale, C.D., Macagnano, A., Mantini, A., Davide, F., D'Alnico, A., Paolesse, R., Boschi, T., Faccio, M. ve Ferri, G., Advances in Food Analysis by Electronic Nose, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 7-11 Temmuz, 1997, Portekiz, Bildiriler Kitabı: 122-127.
67. Rajamaki, T., Alakomi, H.L., Ritvanen, T., Skytta, E., Smolander, M. ve Ahvenainen, R., Application of An Electronic Nose for Quality Assessment of Modified Atmosphere Packaged Poultry Meat, Food Control, 17 (2006) 5-13.
68. Varnamkhasti, M.G., Mohtasebi, S.S., Siadat, M. ve Balasubramanian, S., Meat Quality Assessment by Electronic Nose (Machine Olfaction Technology), Sensors, 9 (2009) 6058-6083.
69. Torria, L., Sinellib, N. ve Limbob, S., Shelf life evaluation of fresh-cut pineapple by using an electronic nose, Postharvest Biology and Technology, 56 (2010) 239–245.
70. Natale, C.D., Macagnano, A., Martinelli, E., Paolesse, R., Proietti, E. ve D'Amico, A., The Evaluation of Quality of Post-Harvest Oranges and Apples by Means of an Electronic Nose, Sensors and Actuators B, 78 (2001) 26-31.
71. Reinhard, H., Sager, F. ve Zoller, O., Citrus Juice Classification by SPME-GC-MS and Electronic Nose Measurements, LWT - Food Science and Technology, 41 (2008) 1906-1912.
72. Labreche, S., Bazzo, S., Cade, S. ve Chanie, E., Shelf Life Determination by Electronic Nose: Application to Milk, Sensors and Actuators B, 106 (2005) 199–206.
73. Ampuero, S. ve Bosset, J.O., The Electronic Nose Applied to Dairy Products: a Review, Sensors and Actuators B, 94 (2003) 1–12.
74. Garc'ia, M, Aleixandre, M, Gutierrez, J. ve Horrillo M.C., Electronic Nose for Wine Discrimination, Sensors and Actuators B, 113 (2006) 911–916.
75. Lozano, J., Santos, J.P. ve Horrillo, M.C., Classification of White Wine Aromas With An Electronic Nose, Talanta, 67 (2005) 610–616.
76. Natale, C.D., Davide F.A.M., D'Amico, A., Nelli, P., Groppelli, S. ve Sberveglieri., G., An electronic Nose for the Recognition of the Vineyard of A Red Wine, Sensors and Actuators B, 33 (1996) 83-88.

77. Falasconi, M., Pardo, M., Sberveglieri, G., Ricco, I., Nardini, F., Torre, M.D. ve Bresciani, A., The Novel EOS835 Electronic Nose Sniffs Out The Italian Espresso Coffee Quality, Sensors, 1 (2003) 26-29.
78. Dutta, R., Hines, E. L., Gardner, J. W., Kashwan, K. R. ve Bhuyan, M., Determination of Tea Quality by Using A Neural Network Based Electronic Nose, 20-24 Temmuz 2003, Bildiriler Kitabı: 404-409.
79. Bhattacharyya, N., Tudu, B., Bandyopadhyay, R., Bhuyan, M. ve Mudi, R., Aroma Characterization of Orthodox Black Tea with Electronic Nose, 2004 IEEE Region 10 Conference (TENCON 2004), 2004, Chiang Mai, Tayland, Bildiriler Kitabı: 427-430.
80. Bhattacharyya, N., Seth, S., Tudu, B., Tamuly, P., Jana, A., Ghosh, D., Bandyopadhyay, R. ve Bhuyan, M., Monitoring of Black Tea Fermentation Process Using Electronic Nose, Journal of Food Engineering, 80 (2007) 1146–1156.
81. Tudu, B., Jana, A., Das, B., Ghosh, D., Bhattacharyya, N. ve Bandyopadhyay, R., Smell Peak Prediction during Black Tea Fermentation Process using Time-Delay Neural Network on Electronic Nose Data, Proceedings of the International Conference on Computing: Theory and Applications (ICCTA'07), 2007, Kolkata, Hindistan, Bildiriler Kitabı: 257-260.
82. Bhattacharyya, N., Bandyopadhyay, R., Bhuyan, M., Tudu, B., Ghosh, D. ve 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.
83. Tudu, B., Kow, B., Bhattacharyya, N. ve Bandyopadhyay, R., Comparison of Multivariate Normalization Techniques as Applied to Electronic Nose Based Pattern Classification for Black Tea, 3rd International Conference on Sensing Technology, 2008, Tainan, Tayvan, Bildiriler Kitabı: 254-258.
84. Chowdhuryl, S. S., Tudu, B., Bandyopadhyay, R. ve Bhattacharyya, N., Portable Electronic Nose System for Aroma Classification of Black Tea, IEEE Region 10 Colloquium and the Third ICIS, 2008, Kharagpur, INDIA, Bildiriler Kitabı: 1-5.
85. Tudu, B., Jana, A., Metla, A., Ghosh, D., Bhattacharyya, N. ve Bandyopadhyay, R., Electronic Nose for Black Tea Quality Evaluation by An Incremental RBF Network, Sensors and Actuators B, 138 (2009) 90–95.

86. Tudu, B., Jana, A., Metla, A., Ghosh, D., Bhattacharyya, N. ve Bandyopadhyay, R., Electronic Nose For Black Tea Quality Evaluation by An Incremental RBF Network, Sensors and Actuators B, 138 (2009) 90–95.
87. Tudu, B., Kow, B., Bhattacharyya, N. ve Bandyopadhyay, R., Normalization Techniques For Gas Sensor Array as Applied to Classification For Black Tea, International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, 2, 1 (2009) 176-189.
88. Tudu, B., Metla, A., Das, B., Bhattacharyya, N., Jana, A., Ghosh, D. ve Bandyopadhyay, R., Towards Versatile Electronic Nose Pattern Classifier for Black Tea Quality Evaluation: An Incremental Fuzzy Approach, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 58, 9 (2009) 3069-3078.
89. Dutta. A., Tudu. B., Bandyopadhyay. R. ve Bhattacharyya. N., Black Tea Quality Evaluation Using Electronic Nose: An Artificial Bee Colony Approach, 2011 IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems RAICS 2011, 2011, Kerala, Hindistan, Bildiriler Kitabı: 143-146.
90. Tripathy, A., Mohanty, A. K. ve Mohanty, M. N., Electronic Nose For Black Tea Quality Evaluation Using Kernel Based Clustering Approach, International Journal of Image Processing (IJIP), 6, 2 (2012) 86-93.
91. Pearce, T.C., Schiffmann, S.S., Nagle, H.T. ve Gardner, J.W., Handbook of Machine Olfaction, Second Edition, s. 80, WILEY-VCH, Almanya, 2003.
92. Mansour, A., Jutten, C. ve Ohnishi, N., Kurtosis: Definition and Properties, Fusion '98 International Conference, 6-9 Temmuz, 1998, USA, Bildiriler Kitabı: 40-46.
93. Güney, S., Karma Yapılı İkili Karar Ağacı Tabanlı Koku Tanıma Sistemi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2013.
94. Aydemir, Ö., İmlecın İki Boyutlu Hareketinin Hayali Sırasında Kaydedilmiş EEG İşaretlerinin Karar Ağaç Yapısı Esaslı Sınıflandırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2013.
95. DeCarlo, L.T., On the Meaning and Use of Kurtosis, Psychological Methods, 2, 3 (1997) 292-307.
96. Mantalos, P., Three Different Measures of Sample Skewness and Kurtosis and their Effects on the Jarque-Bera Test for Normality, Jönköping International Business School, Jönköping University, JIBS Working Papers, No.9, 2010.

97. Press, W. H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W. T. ve Flannery, B. P., Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, 1992.
98. Kim, T. H. ve White, H., On More Robust Estimation of Skewness and Kurtosis, Finance Research Letters, 1 (2004) 56–73.
99. Klema, V. C. ve Laub, A. J., The Singular Value Decomposition: Its Computation and Some Applications, IEEE Transactions on Automatic Control, 25, 2 (1980) 164-176.
100. Orhan, U., Ders Notu, Makine Öğrenmesi 11. Hafta, <http://bmb.cu.edu.tr/uorhan/DersNotu/Ders11.pdf>, 04.06.2014.
101. Aydemir, O. ve Kayikcioglu, T., Comparing Common Machine Learning Classifiers in Low-Dimensional Feature Vectors For Brain Computer Interface Applications, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 9, 3 (2013) 1145-1157.
102. Lowd, D. ve Domingos, P., Naive Bayes Models for Probability Estimation, http://www.cs.washington.edu/ai/nbe/nbe_icml.pdf, 03.05.2014.
103. Fook, C. Y., Muthusamy, H., Chee, L. S., Yaacob, S. B. ve Adom, A. H. B., “Comparison of Speech Parameterization Techniques For the Classification of Speech Disfluencies”, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 21 (2013) 1983-1994.

ÖZGEÇMİŞ

Bilge Han TOZLU 1983 yılında Bursa'da doğdu. Bursa'da başladığı ilkokul eğitimini Van'da tamamladı. Ortaokul ve lise öğrenimini de aynı şehirde tamamladı. 2001 yılında Trabzon KTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2006'da buradan mezun oldu. 2006-2007 yıllarında Adıyaman'da bir tekstil fabrikasının yöneticiliğini yaptı. 2007-2008'de kısa dönem deniz er olarak askerlik görevini tamamladı. 2008 yılında İstanbul Şah-El Elektrik firmasında şantiye şefi olarak çalıştı. İstanbul Eyüp Koçtaş, Gebze Organize Sanayi Koçtaş ve Konya Koçtaş Projelerini tamamladı. Daha sonra 2008 yılı sonunda Kocaeli Türk Telekom İl Müdürlüğünde Fiber Optik Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans Programına başladı. 2010 yılında Artvin Çoruh Üniversitesi MYO'da Öğretim Görevlisi oldu. 2011 Şubat döneminde KTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde Doktora Programına başladı. 2013 yılında Hitit Üniversitesi Osmancık Ömer Derindere Meslek Yüksekokuluna Öğretim Görevlisi olarak atandı. Halen bu göreve devam etmekte olup evli ve 2 çocuk babasıdır.

Uluslararası dergilerde yayımlanan makaleler

1. Tozlu, B., Okumuş, H.İ., Şimşek, C., Online Quality Classifying with Electronic Nose for Black Tea Production, International Journal of Academic Research, 6, 4 (2014) 158-163.