

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BEYAZ EŞYADA (FIRIN ve BUZDOLABINDA)  
SENSÖR UYGULAMALARI**

Elektronik ve Haberleşme Müh. Ufuk Levan Yakut

**FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Elektronik Programında Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Vedat TAVŞANOĞLU**

İstanbul, 2006

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BEYAZ EŞYADA (FIRIN ve BUZDOLABINDA)  
SENSÖR UYGULAMALARI**

Elektronik ve Haberleşme Müh. Ufuk Levan Yakut  
04504014

**FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Elektronik Programında Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Vedat TAVŞANOĞLU**

İstanbul, 2006

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

|                                                                               |      |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| İÇİNDEKİLER .....                                                             | ii   |
| SİMGE LİSTESİ.....                                                            | vi   |
| KISALTMA LİSTESİ .....                                                        | vii  |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                            | viii |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                                         | xi   |
| ÖNSÖZ .....                                                                   | xii  |
| ÖZET .....                                                                    | xiii |
| ABSTRACT.....                                                                 | xiv  |
| 1. GİRİŞ .....                                                                | 1    |
| 2. NEM ve GAZ ALGILAMA LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....                            | 3    |
| 2.1 Nem ve Nem Algılama .....                                                 | 3    |
| 2.1.1 Nem Algılama İle İlgili Temel Kavramlar ve Terimler.....                | 3    |
| 2.1.1.1 Bağıl Nem .....                                                       | 3    |
| 2.1.1.2 Mutlak Nem .....                                                      | 3    |
| 2.1.1.3 Çiğ Noktası .....                                                     | 4    |
| 2.1.1.4 Özgül Nem .....                                                       | 4    |
| 2.1.1.5 Doygunluk Oranı .....                                                 | 4    |
| 2.1.1.6 Kuru ve Yaş Termometre Sıcaklıkları .....                             | 5    |
| 2.1.1.7 Psikrometrik Diyagram .....                                           | 5    |
| 2.2 Nem Algılama Yöntemleri ve Nem Sensörleri .....                           | 6    |
| 2.2.1 Rezistif Nem Sensörleri .....                                           | 7    |
| 2.2.1.1 Rezistif Nem Sensörleri İçin Kullanılan Sinyal İşleme Devreleri ..... | 9    |
| 2.2.2 Kapasitif Sensörler .....                                               | 10   |
| 2.2.2.1 Kapasitif Sensörler İçin Kullanılan Sinyal İşleme Yöntemleri.....     | 13   |
| 2.2.3 Isıl İletkenlik Nem Sensörleri .....                                    | 16   |
| 2.2.4 Spektroskopik Nem Sensörleri .....                                      | 17   |
| 2.2.5 Sayısal Nem Sensörleri .....                                            | 18   |
| 2.2.6 Piezorezistif Sensörler .....                                           | 19   |
| 2.2.7 MEMS (Mikro Elektro Mekanik Sistemler) .....                            | 19   |
| 2.3 Ticari Nem Sensörleri .....                                               | 20   |
| 2.3.1 Fırın ve/veya Buzdolabında Kullanılmaya Uygun Nem Sensörleri .....      | 23   |
| 2.3.2 Nem Sensörü Koruyucu Kılıfları .....                                    | 25   |
| 2.4 Gaz (Koku) Sensörleri .....                                               | 27   |
| 2.4.1 Temel Kavramlar .....                                                   | 27   |

|         |                                                                                                                |           |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.2   | Gaz Sensörü Çeşitleri ve Yapıları.....                                                                         | 31        |
| 2.4.3   | Spektroskopik Gaz Sensörleri.....                                                                              | 32        |
| 2.4.4   | Katalitik Gaz Sensörleri.....                                                                                  | 34        |
| 2.4.5   | Elektrokimyasal Gaz Sensörleri.....                                                                            | 36        |
| 2.4.6   | Isıl İletkenlik Gaz Sensörleri.....                                                                            | 37        |
| 2.4.7   | Yarıiletken Gaz Sensörleri.....                                                                                | 39        |
| 2.4.7.1 | MOS (Metal Oksit) Yarıiletken Sensörler .....                                                                  | 39        |
| 2.4.7.2 | FE (Alan Etkili) Sensörler .....                                                                               | 43        |
| 2.4.8   | Optik Gaz Sensörleri.....                                                                                      | 44        |
| 2.4.9   | Piezoelektrik Nem Sensörleri .....                                                                             | 46        |
| 2.5     | Ticari Gaz Sensörleri .....                                                                                    | 47        |
| 2.5.1   | Gaz Sensörlerine ait Önemli Parametreler.....                                                                  | 53        |
| 2.6     | Nem ve Gaz Algılamaya İlişkin Literatür Araştırması Sonuçları.....                                             | 54        |
| 3.      | <b>PİŞİRİCİ CİHAZLAR VE BUZDOLABINDA NEM, GAZ ALGILAMA UYGULAMALARI PATENT ARAŞTIRMASI .....</b>               | <b>57</b> |
| 3.1     | Piştirici Cihazlarda Nem Algılama İlgili Patentler .....                                                       | 60        |
| 3.1.1   | Neme Bağlı Pişirme Süresi Ayarlama Aparatı .....                                                               | 60        |
| 3.1.2   | Nem Sensörlü Pişirme Cihazı .....                                                                              | 61        |
| 3.1.3   | Nem ve Duman Algılayan Bir Sensörle Akıllı Pişirme .....                                                       | 62        |
| 3.1.4   | Nem, Alkol ve Optik Algılayıcılı Akıllı Pişirme Cihazı.....                                                    | 64        |
| 3.1.5   | Nem Sensörlü Bir Mikrodalga Fırın ve Nemi Sabit Tutma Metodu.....                                              | 65        |
| 3.1.6   | Akıllı Isıtma için Nem Sensörü Kullanımı .....                                                                 | 66        |
| 3.1.7   | Gaz ve Nem Sensörlü Fırın.....                                                                                 | 67        |
| 3.1.8   | Gaz, Nem ve Sıcaklık Algılayarak Pişirme Kontrolü.....                                                         | 68        |
| 3.1.9   | Nem Değerine Bağlı Pişirme Süresi Tayini Algoritması.....                                                      | 69        |
| 3.2     | Piştirici Cihazlarda Gaz Algılama İlgili Patentler.....                                                        | 71        |
| 3.2.1   | Kombi Fırında Gaz Sensörü Yardımıyla Isıtıcı Seçimi .....                                                      | 71        |
| 3.2.2   | Gaz Sensörü ile Pişirme Süresini Belirleyen Fırın .....                                                        | 72        |
| 3.2.3   | Otomatik Kendi Kendini Temizleme.....                                                                          | 73        |
| 3.2.4   | Akıllı Kendi Kendini Temizleme.....                                                                            | 74        |
| 3.2.5   | Kendi Kendini Temizleme Süresinin ve Sıcaklığının Belirlenmesinde Gaz Sensörü ve Bulanık Mantık Kontrolü ..... | 75        |
| 3.3     | Akıllı Pişirme İle İlgili Bazı Patentler .....                                                                 | 75        |
| 3.3.1   | Otomatik Pişirme İçin Gerekli Elemanlar Ve Metotlar .....                                                      | 75        |
| 3.3.2   | Fırında Ön Isıtma ile İlgili Metot ve Aparatlar .....                                                          | 77        |
| 3.3.3   | Optimum Pişirme İçin Yapay Sinir Ağı İle Pişirme Süresi Tayini.....                                            | 78        |
| 3.3.4   | Buhar (Nem) Üretme Üniteli Fırın .....                                                                         | 80        |
| 3.3.5   | Yavaş Pişirme Modu (Güveç Modu) .....                                                                          | 81        |
| 3.4     | Buzdolabında Gaz Ve Nem Sensörlerinin Kullanımı .....                                                          | 82        |
| 3.4.1   | Buzdolabında Meyve-Sebze Bozulma Algılama Ve Tazelik Kontrolü .....                                            | 82        |
| 3.4.2   | Gaz Sensörlü Soğutucu .....                                                                                    | 83        |
| 3.4.3   | Buzdolabı İçerisindeki Havayı Sterilize Etme/Koku Giderme Birimi.....                                          | 83        |
| 3.4.4   | Çürüme Gazlarını Algılama Elemanı Ve Uygulamaları .....                                                        | 84        |
| 3.4.5   | Saklama Ortamındaki Gazları/Kokuyu Algılayan Ve Seviyesini Düzenleyen Buzdolabı .....                          | 85        |
| 3.4.6   | Koku Sensörlü Ve Soğuk Katot Ultraviyole Lambalı Koku Filtresi Olan Buzdolabı .....                            | 86        |
| 3.4.7   | Sebze/Meyve Bölmesinde Bozulma Olduğunda Kullanıcıyı Uyarın Buzdolabı ..                                       | 87        |
| 3.4.8   | Sebze/Meyve İçin Tazelik Kontrolü .....                                                                        | 87        |

|         |                                                                           |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.9   | Sebzelikte Saklanan Yiyecekler Bozulmadan Önce Uyarı Veren Buzdolabı..... | 87  |
| 3.4.10  | Buzdolabı İçin Gaz/Koku Kontrolörü.....                                   | 88  |
| 3.4.11  | Buzdolabında Biyosensörler .....                                          | 88  |
| 3.5     | Patent Araştırması Sonuçları.....                                         | 89  |
| 4.      | NEM VE GAZ ALGILAMA YAPAN BİR TİCARİ FIRININ İNCELENMESİ.....             | 91  |
| 4.1.1   | De Dietrich DP490X/Arçelik PF860 .....                                    | 91  |
| 4.1.2   | Kavramsal İnceleme.....                                                   | 91  |
| 4.1.3   | Nem Sensörün İncelenmesi.....                                             | 91  |
| 4.1.4   | De Dietrich DP490X Fırının Kullanıma İlişkin Bilgiler.....                | 92  |
| 4.1.5   | Ölçüm Sistemi.....                                                        | 93  |
| 4.1.6   | Yapılan Ölçümler.....                                                     | 95  |
| 4.1.7   | Ölçüm Sonuçları .....                                                     | 96  |
| 4.2     | AEG Competence .....                                                      | 99  |
| 4.3     | İnceleme Sonuçları.....                                                   | 99  |
| 5.      | ELEKTRİKLİ ANKASTRE FIRINDA NEM ALGILAMANIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....       | 102 |
| 5.1     | Sensör Yerleşkesinin Belirlenmesi .....                                   | 102 |
| 5.2     | Fırın Veri Toplama Sistemi .....                                          | 104 |
| 5.3     | Ölçüm Koşulları.....                                                      | 105 |
| 5.4     | ABS-300 Nem Sensörü İle Mutlak Nemin Algılanması.....                     | 106 |
| 5.4.1   | Sinyal İşleme Donanımı.....                                               | 106 |
| 5.4.2   | ABS-300 Sensör Sinyalinin Değerlendirilmesi .....                         | 108 |
| 5.4.2.1 | Baca Koşullarında ABS-300.....                                            | 108 |
| 5.4.2.2 | Fırın Orta Noktası Koşullarında ABS-300 .....                             | 108 |
| 5.5     | Ölçüm Sonuçları .....                                                     | 112 |
| 5.5.1   | Mutlak Nem Açısından Kavite/Baca İlişkisi .....                           | 113 |
| 5.5.2   | Nem/Yiyecek Miktarı İlişkisi.....                                         | 114 |
| 5.6     | Yapılan ölçümlere ilişkin değerlendirme.....                              | 115 |
| 6.      | FIRIN NEM ÖLÇME ENSTRUMENTASYONU .....                                    | 118 |
| 6.1     | Kullanılan Birimler ve Uygulama.....                                      | 118 |
| 6.1.1   | HP Agilent 34970A DAQ Veri Toplama Cihazı .....                           | 119 |
| 6.1.2   | Labview ve Geliştirilen Yazılım .....                                     | 121 |
| 6.1.3   | Sisteme Eklenebilecek Özellikler .....                                    | 128 |
| 7.      | SENSÖR SİNYALİNİN İŞLENMESİ .....                                         | 129 |
| 7.1     | Texas Instruments PGA309 .....                                            | 130 |
| 7.1.1   | PGA309’ un Özellikleri ve Yapısı.....                                     | 131 |
| 7.1.1.1 | Donanım Yapısı .....                                                      | 131 |
| 7.1.1.2 | Özellikler/Fonksiyonlar .....                                             | 132 |
| 7.1.2   | PGA309 Geliştirme Modülü .....                                            | 136 |
| 7.1.3   | Uygulama.....                                                             | 136 |
| 7.1.3.1 | PGA309 Parametre Hesaplama Araçları.....                                  | 137 |
| 7.1.3.2 | Kurulan Test Düzenegi .....                                               | 139 |
| 7.1.3.3 | PGA309 Fonksiyonlarının Konfigürasyonu .....                              | 140 |
| 7.1.3.4 | Alınan Ölçümler.....                                                      | 143 |
| 7.1.4   | PGA309’ a İlişkin Değerlendirme .....                                     | 147 |

|                 |                                                          |     |
|-----------------|----------------------------------------------------------|-----|
| 7.2             | Programlanabilir Tek Çip Sistem (PSoC™).....             | 147 |
| 7.2.1           | Kullanılan PSoC Entegresi ve Özellikleri.....            | 148 |
| 7.2.2           | PSoC Designer Geliştirme Ortamı.....                     | 150 |
| 7.2.3           | PSoC Konfigürasyonları ve Kullanılan Modüller.....       | 151 |
| 7.2.4           | PSoC İle Yapılan Çalışmalara İlişkin Değerlendirme ..... | 155 |
| 8.              | SONUÇLAR .....                                           | 157 |
| KAYNAKLAR ..... |                                                          | 162 |
| ÖZGEÇMİŞ .....  |                                                          | 164 |

## SİMGE LİSTESİ

|                 |                                          |
|-----------------|------------------------------------------|
| A               | Elektrotların alanı                      |
| C               | Kapasite elemanı, kapasitif sığa         |
| d               | Elektrotlar arası mesafe                 |
| f               | Frekans                                  |
| $f_{out}$       | Çıkış işaretinin frekansı                |
| G               | Kazanç                                   |
| H               | Nem                                      |
| $K_{EXC}$       | Uyarı işareti doğrusallaştırma katsayısı |
| $K_{LIN}$       | Doğrusallaştırma Katsayısı               |
| L               | Endüktans elemanı                        |
| $m_{air}$       | Havanın kütlesi                          |
| $m_{vap}$       | Su buharının kütlesi                     |
| R               | Direnç elemanı                           |
| $R_L$           | Yük direnci                              |
| $R_s$           | Algılama direnci                         |
| S               | Standart sapma                           |
| T               | Sıcaklık                                 |
| t               | zaman                                    |
| V               | Hacim                                    |
| $V_{EXC}$       | Uyarı işareti                            |
| $V_{out}$       | Çıkış gerilimi                           |
| $V_s$           | Besleme gerilimi                         |
| $V_{in}$        | Giriş gerilimi                           |
| $V_{br}$        | Köprü direnci gerilimi                   |
| $\Delta f$      | Frekans değişimi                         |
| $\Delta m$      | Kütle değişimi                           |
| $\epsilon$      | Dielektrik geçirgenlik                   |
| $\epsilon_0$    | Boşluğun dielektrik geçirgenliği         |
| $\epsilon_{RH}$ | Bağıl neme bağlı dielektrik geçirgenlik  |
| $\mu$           | Doygunluk oranı                          |
| $\rho$          | Mutlak nem                               |
| $\omega$        | Özgül nem                                |
| $\omega_s$      | Aynı sıcaklıktaki havanın özgül nemi     |
| $\Phi$          | Bağıl nem                                |

## KISALTMA LİSTESİ

|        |                                                     |
|--------|-----------------------------------------------------|
| ABD    | Amerika Birleşik Devletleri                         |
| AC     | Alternative Current                                 |
| ADC    | Analog to Digital Converter                         |
| AH     | Absolute Humidity                                   |
| CMOS   | Complementary Metal Oxide Semiconductor             |
| DAC    | Digital to Analog Converter                         |
| DAQ    | Data Acquisition                                    |
| DC     | Direct Current                                      |
| EEPROM | Electrically Erasable Programmable Read Only Memory |
| EVM    | Evaluation Module                                   |
| FET    | Field Effect Transistor                             |
| GND    | Ground                                              |
| HC     | Hydrocarbons                                        |
| HVAC   | Heating Ventilating & Air Conditioning              |
| ICE    | In Circuit Emulator                                 |
| ICS    | Intelligent Cooking System                          |
| INSAMP | Instrumentation Amplifier                           |
| IR     | Infrared                                            |
| LEL    | Lower Explosive Limit                               |
| LPF    | Low Pass Filter                                     |
| LPG    | Liquid Petrol Gas                                   |
| MEMS   | Micro Electromechanical Systems                     |
| MMOS   | Mixed Metal Oxide Semiconductor                     |
| MOS    | Metal Oxide Semiconductor                           |
| NTC    | Negative Temperature Coefficient (Resistor)         |
| QMD    | Quartz Microbalance                                 |
| PBG    | Photonic Band Gap                                   |
| PC     | Personal Computer                                   |
| PGA    | Programmable Gain Amplifier                         |
| PWM    | Pulse Width Modulation                              |
| RH     | Relative Humidity                                   |
| RTD    | Resistive Temperature Detector                      |
| SRAM   | Static Random Access Memory                         |
| UART   | Universal Asynchronous Receiver Transmitter         |
| VCSEL  | Vertical Cavity Surface Emitting Laser              |
| VOCs   | Volatile Organic Compounds                          |
| VI     | Virtual Instrument                                  |
| VTs    | Veri Toplama Sistemi                                |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 Psikrometrik diyagram. ....                                                                                                                                   | 5  |
| Şekil 2.2 Farklı üreticilerin rezistif nem sensörleri.....                                                                                                              | 7  |
| Şekil 2.3 Rezistif nem sensörü yapısı. ....                                                                                                                             | 8  |
| Şekil 2.4 Rezistif nem sensörü.....                                                                                                                                     | 8  |
| Şekil 2.5 Rezistif nem sensörlerine ait direnç-nem değişimi ve logaritmik olarak değişen direnç değerinden elde edilebilen logaritmik çıkış .....                       | 9  |
| Şekil 2.6 İnce film rezistif nem sensörünün yapısı.....                                                                                                                 | 9  |
| Şekil 2.7 Kapasitif sensör yapısı.....                                                                                                                                  | 10 |
| Şekil 2.8 Kapasitif nem sensörüne ait alt tabakalardan görünüm. ....                                                                                                    | 11 |
| Şekil 2.9 Oksit ince film tabakalı kapasitif nem sensörü.....                                                                                                           | 12 |
| Şekil 2.10 Kapasitif sensörlerde bağıl nem-sığa değişimi. ....                                                                                                          | 13 |
| Şekil 2.11 Farklı kapasitif nem sensörleri. ....                                                                                                                        | 13 |
| Şekil 2.12 Bağıl nem-frekans dönüştürücü devre. ....                                                                                                                    | 14 |
| Şekil 2.13 Bağıl nemi 0-5 V arasında oransal olarak veren bir topoloji.....                                                                                             | 15 |
| Şekil 2.14 PWM ve DC gerilim çıkışlı nem algılama devresi.....                                                                                                          | 15 |
| Şekil 2.15 Isıl iletkenlik sensörlerine ait görünüm. ....                                                                                                               | 16 |
| Şekil 2.16 Isıl iletkenlik mutlak nem sensörü. ....                                                                                                                     | 16 |
| Şekil 2.17 Isıl iletkenlik nem sensöründen farklı sıcaklıklarda elde edilen çıkış sinyali. ....                                                                         | 17 |
| Şekil 2.18 Spektroskopik (IR) nem sensörü yapısı. ....                                                                                                                  | 18 |
| Şekil 2.19 Algılama elmanı ve sensörün blok diyagramı. ....                                                                                                             | 18 |
| Şekil 2.20 MEMS teknolojisi ile üretilen nem sensörlerine ilişkin diyagram. ....                                                                                        | 19 |
| Şekil 2.21 Sensirion SHT1x/7x serisinin tipik uygulama devresi. ....                                                                                                    | 24 |
| Şekil 2.22 Humirel HTB1300UC kılıf yapısı. ....                                                                                                                         | 25 |
| Şekil 2.23 Sensör modülünün hava akış kanalına bağlantısı. ....                                                                                                         | 26 |
| Şekil 2.24 Standart bir hidrojen sensörü; hidrojen ve hidrojen dışındaki bazı gazlara çapraz seçiciliği. ....                                                           | 28 |
| Şekil 2.25 Organik çözücü buharına duyarlı bir gaz sensörünün, bu gruba dahil farklı gazlara ait karakteristikleri.....                                                 | 29 |
| Şekil 2.26 Microarray nosechip ve elektronik burun kartı. ....                                                                                                          | 29 |
| Şekil 2.27 Farklı gazlar için sensör dizisinden elde edilen örüntü. ....                                                                                                | 30 |
| Şekil 2.28 Farklı oranlarda kızartılmış et parçalarına ait sensör dizisi cevapları. ....                                                                                | 30 |
| Şekil 2.29 Sensörlerin gaz grupları ve uygulamalara bağlı olarak kullanımı. ....                                                                                        | 32 |
| Şekil 2.30 Farklı gazların kızılötesi ışınımı soğurma karakteristikleri. ....                                                                                           | 33 |
| Şekil 2.31 Hedefi CO <sub>2</sub> ve CO gazları olan bir sensörün gazla etkileşimi. ....                                                                                | 33 |
| Şekil 2.32 Kaynak ve alıcısı karşılıklı yerleştirilmiş IR gaz sensörü. ....                                                                                             | 33 |
| Şekil 2.33 Referans elemanları ile kompanzasyona imkan veren kaynak ve alıcı ile vericinin algılama ortamının aynı tarafında olduğu kızılötesi gaz sensörü yapısı. .... | 34 |
| Şekil 2.34 Pellistor yapısı. ....                                                                                                                                       | 35 |
| Şekil 2.35 Tek pellistorlu bir katalitik gaz sensörünün yapısı ve dış görünüşü.....                                                                                     | 35 |
| Şekil 2.36 Tipik katalitik gaz sensörü yapısı. ....                                                                                                                     | 36 |
| Şekil 2.37 Elektro kimyasal gaz sensörü yapısı ve ölçme prensibi. ....                                                                                                  | 37 |
| Şekil 2.38 Isıl iletkenlik gaz sensörü yapısı.....                                                                                                                      | 39 |
| Şekil 2.39 Tipik MOS gaz sensörü yapısı.....                                                                                                                            | 40 |
| Şekil 2.40 Adsorpsiyon ve kemisorpsiyon .....                                                                                                                           | 41 |
| Şekil 2.41 Metal oksit yüzeyinde karbon monoksit soğurumuna bağlı iletkenlik değişimi. ....                                                                             | 41 |
| Şekil 2.42 MOS sensör katmanları. ....                                                                                                                                  | 42 |
| Şekil 2.43 Çift sensör yapısı ve çipin kılıf içinde yerleşimi. ....                                                                                                     | 42 |
| Şekil 2.44 MOS sensörlü gaz algılama devresi. ....                                                                                                                      | 43 |
| Şekil 2.45 FE (Alan etkili) sensör yapısı. ....                                                                                                                         | 43 |

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.46 PBG malzeme yüzeyi ve MEMS teknolojisi ile üretilmiş optik bir sensörün görünümü. ....                                     | 44 |
| Şekil 2.47 Gaz ile ortaya çıkan kızılötesi yansıtma. ....                                                                             | 45 |
| Şekil 2.48 VCSEL yarı iletken lazer kaynağına ait bir görünüm ve yapısı. ....                                                         | 45 |
| Şekil 2.49 2X2 lazer dizisi ve algılama düzeneğinin yapısı. ....                                                                      | 46 |
| Şekil 2.50 Quartz kristal sensör. ....                                                                                                | 46 |
| Şekil 2.51 Piezoelektrik sensörün eşdeğer devresi. ....                                                                               | 47 |
| Şekil 2.52 Ölçüm devresi ve bazı gazlar için çıkışı. ....                                                                             | 47 |
| Şekil 3.1 Patentlerin ürün bazında dağılımı. ....                                                                                     | 57 |
| Şekil 3.2 Patentlerin üreticilere göre dağılımı. ....                                                                                 | 58 |
| Şekil 3.3 Patentlerin başvuru yılına göre dağılımı. ....                                                                              | 59 |
| Şekil 3.4 Farklı tür yiyeceklere ilişkin nem-zaman değişimleri. ....                                                                  | 60 |
| Şekil 3.5 Fırının kesiti ve nem sensörünün yeri. ....                                                                                 | 61 |
| Şekil 3.6 Nem sensörlü mikrodalga fırından bir perspektif. ....                                                                       | 62 |
| Şekil 3.7 Sensörlü ısıtıcı kontrolü. ....                                                                                             | 62 |
| Şekil 3.8 İki fonksiyonlu sensör. ....                                                                                                | 63 |
| Şekil 3.9 Sensör fonksiyonunun seçilmesi. ....                                                                                        | 64 |
| Şekil 3.10 Gaz, nem, sıcaklık ve foto sensörlü bir fırının kontrol biriminin blok diyagramı. ....                                     | 65 |
| Şekil 3.11 Marine edilmiş ve edilmemiş balığın pişirilmesi için uygulanan sıcaklık kontrolü. ....                                     | 65 |
| Şekil 3.12 Nem kontrolü ile pişirme optimizasyonu sırasında nem-zaman grafiği. ....                                                   | 66 |
| Şekil 3.13 Nem ve sıcaklık eğrileri. ....                                                                                             | 67 |
| Şekil 3.14 Bacasına gaz sensörü yerleştirilmiş fırın. ....                                                                            | 68 |
| Şekil 3.15 Isıtma sırasında nem oranının değişimi. ....                                                                               | 68 |
| Şekil 3.16 Isıtıcı gücünün sıcaklık ve nem oranına bağlı ayarlanması. ....                                                            | 69 |
| Şekil 3.17 Nem oranına bağlı ısıtıcı kontrolü. ....                                                                                   | 70 |
| Şekil 3.18 Gaz sensörü çıkışına bağlı ısıtıcı seçimi. ....                                                                            | 71 |
| Şekil 3.19 Gaz algılayıcı otomatik pişirme zamanlaması yapan fırına ait blok diyagram. ....                                           | 72 |
| Şekil 3.20 Gaz konsantrasyon eğrisi ve türevi. ....                                                                                   | 73 |
| Şekil 3.21 Üç gaz sensörü ile iki farklı yemek(M1 ve M2) için elde edilen paternler. ....                                             | 73 |
| Şekil 3.22 Gaz sensörü çıkışına bağlı temizleme sıcaklık ve süreleri. ....                                                            | 75 |
| Şekil 3.23 Kızıl ötesi sensörlü mikrodalga fırın. ....                                                                                | 76 |
| Şekil 3.24 Yansıtıcı sensör. ....                                                                                                     | 77 |
| Şekil 3.25 Ön ısıtma (preheating) sisteminin blok diyagramı. ....                                                                     | 78 |
| Şekil 3.26 Ön Isıtmada referans ve sensör çıkışları. ....                                                                             | 78 |
| Şekil 3.27 Isıtıcı gücü ve pişirme süresi ayarlamasının yapay sinir ağı tarafından yapıldığı otomatik pişirme algoritması. ....       | 79 |
| Şekil 3.28 Farklı yiyecekler için nem-zaman eğrileri. ....                                                                            | 79 |
| Şekil 3.29 Otomatik pişirme için yapay sinir ağı kullanan sistemin blok diyagramı. ....                                               | 80 |
| Şekil 3.30 Pişirme kabindeki nemi takip ederek güveç gibi yemekler için yavaş pişirme sağlayan fırının kesiti ve blok diyagramı. .... | 81 |
| Şekil 3.31 Isıtıcı gücünün ayarlanması. ....                                                                                          | 81 |
| Şekil 3.32 Sebzelik içerisinde gaz algılayan buzdolabı. ....                                                                          | 82 |
| Şekil 3.33 İçerisindeki gazları takip eden buzdolabı. ....                                                                            | 85 |
| Şekil 3.34 Ultraviyole lambalı koku filtresi olan buzdolabından bir kesit. ....                                                       | 86 |
| Şekil 4.1 Ürün üzerinde bulunan sensör kartı. ....                                                                                    | 92 |
| Şekil 4.2 Fırın ekranında algılamanın gösterilmesi. ....                                                                              | 92 |
| Şekil 4.3. Bacanın üstten görünümü ve sensör yerleşimleri. ....                                                                       | 94 |
| Şekil 4.4 Kurulan ölçüm sistemi. ....                                                                                                 | 95 |
| Şekil 4.5 PİZZA modunda sıcaklık ve nem sensörü değişimi. ....                                                                        | 97 |
| Şekil 4.6 KEK modunda sıcaklık ve nem sensörün değişimi. ....                                                                         | 97 |
| Şekil 4.7 Pyrocontrol modunda fırın sensörünün çıkışı. ....                                                                           | 98 |

|                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 4.8 AEG Competence fırının iç ve dış görünümü. ....                                                                                                                                    | 99  |
| Şekil 5.1. Bacada sensör yerleştirilebilecek noktalar.....                                                                                                                                   | 103 |
| Şekil 5.2 Fırın Veri Toplama Sistemi blok diyagramı.....                                                                                                                                     | 105 |
| Şekil 5.3 Enstrümantasyon kuvvetlendiricisi devre şeması.....                                                                                                                                | 107 |
| Şekil 5.4 Sensör ve kuvvetlendirici çıkış sinyalleri.....                                                                                                                                    | 107 |
| Şekil 5.5 Yüksek nemde ABS300 mutlak nem sensörü sinyalinin değerlendirilmesi.....                                                                                                           | 109 |
| Şekil 5.6 AH1 ve AH2'nin değişimi.....                                                                                                                                                       | 111 |
| Şekil 5.7 Değerlendirilmiş sensör çıkışına göre kavitedeki mutlak nem değişimi.....                                                                                                          | 112 |
| Şekil 5.8 Fırın kavite-baca mutlak nem ilişkisi.....                                                                                                                                         | 113 |
| Şekil 5.9 Regresyon modeline ait artık sinyalin dağılımı.....                                                                                                                                | 114 |
| Şekil 5.10 Farklı miktarlarda su ile yapılan toplam 9 ölçüm için bacada nemin değişimi.....                                                                                                  | 115 |
| Şekil 6.1 Gerçeklenen enstrümantasyon uygulamasını oluşturan birimler.....                                                                                                                   | 119 |
| Şekil 6.2 HP Agilent 34970A DAQ veri toplama cihazının ön ve arka yüzlerinin<br>görünümleri.....                                                                                             | 119 |
| Şekil 6.3 HP Agilent 34901A genel amaçlı çoğullayıcı kartın görünümü.....                                                                                                                    | 121 |
| Şekil 6.4 Geliştirilen yazılımın ayarlar sekmesi.....                                                                                                                                        | 123 |
| Şekil 6.5 Geliştirilen yazılımın ayrıntılı grafik sekmesi.....                                                                                                                               | 123 |
| Şekil 6.6 Geliştirilen yazılımın genel değişim sekmesi.....                                                                                                                                  | 124 |
| Şekil 6.7 İçerisinde kayan noktalı sayı formatında değer saklanmış olan bir <i>string</i><br>değişkeninden <i>double</i> tipte aynı değerli sayıyı tutan değişkeni elde eden <i>vi</i> ..... | 125 |
| Şekil 6.8 Geliştirilen yazılımın (genel) akış diyagramı.....                                                                                                                                 | 126 |
| Şekil 6.9 Grafik programla ortamına geliştirilen yazılıma ait blok diyagramın.....                                                                                                           | 127 |
| Şekil 7.1 PGA309 blok diyagramı.....                                                                                                                                                         | 131 |
| Şekil 7.2 PGA309 kazanç katları blok diyagramı.....                                                                                                                                          | 132 |
| Şekil 7.3 Sensör çıkış işaretinin PGA309'a uyumlu hale getirilmesi.....                                                                                                                      | 133 |
| Şekil 7.4 Sensör uyarma ve doğrusallaştırma yapısı.....                                                                                                                                      | 134 |
| Şekil 7.5 PGA309 sıcaklık algılama bloğu.....                                                                                                                                                | 135 |
| Şekil 7.6 PGA309 EVM sistem yapısı.....                                                                                                                                                      | 136 |
| Şekil 7.7 <i>PGA309 Calculator</i> programından iki ekran görüntüsü.....                                                                                                                     | 137 |
| Şekil 7.8 <i>Calibration Spreadsheet</i> ' den bir görünüm.....                                                                                                                              | 139 |
| Şekil 7.9 Ölçüm için kurulan düzeneğe ilişkin diyagram.....                                                                                                                                  | 140 |
| Şekil 7.10 Direnç ile sıcaklık algılama bağlantı yapısı.....                                                                                                                                 | 142 |
| Şekil 7.11 Farklı sıcaklık ve basınç değerleri için sensör çıkış gerilimleri.....                                                                                                            | 145 |
| Şekil 7.12 Farklı sıcaklık ve basınç değerleri için PGA309 çıkış gerilimleri.....                                                                                                            | 145 |
| Şekil 7.13 PSoC CY8C29X66' nın blok diyagramı.....                                                                                                                                           | 148 |
| Şekil 7.14 PSoC uygulama geliştirme işlemleri akış diyagramı.....                                                                                                                            | 151 |
| Şekil 7.15 <i>PSoC Designer</i> programından bir görünüm.....                                                                                                                                | 153 |
| Şekil 7.16 Filtre modülüne ilişkin diyagram.....                                                                                                                                             | 154 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 2.1 Nem algılama teknikleri .....                                                                             | 6   |
| Çizelge 2.2 Beyazeşyalarda kullanıma uygun ticari nem sensörleri .....                                                | 21  |
| Çizelge 2.3 Humirel HTB1300UC sensör kılıfı fanının özellikleri .....                                                 | 26  |
| Çizelge 2.4 Gaz sensörlerinin çalışma prensipleri .....                                                               | 31  |
| Çizelge 2.5 Farklı sıcaklıklarda gazların ısı iletkenlikleri ( havaya göre ). .....                                   | 38  |
| Çizelge 2.6 Algıladıkları gazlara, çalışma aralıklarına ve keskinliklerine göre piyasada bulunan gaz sensörleri. .... | 49  |
| Çizelge 4.1 Yük miktarına bağlı pişirme süresi değişimi .....                                                         | 96  |
| Çizelge 5.1 Sensör yerleşkesi-kavite nem miktarı algılama doğrulukları. ....                                          | 103 |
| Çizelge 6.1 HP Agilent 34970A spesifikasyonları .....                                                                 | 120 |
| Çizelge 7.1 <i>Calibration Spreadsheet</i> tarafından hesaplanan look up table. ....                                  | 143 |
| Çizelge 7.2 Farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde sensör ve PGA309 çıkış gerilimleri. ....                           | 144 |
| Çizelge 7.3 Sabit basınç altında PGA309 çıkışının sıcaklığa bağlı değişimi. ....                                      | 144 |

## **ÖNSÖZ**

Bu yüksek lisans çalışmasını yöneten değerli hocam Sn. Vedat TAVŞANOĞLU' na teşekkür ederim.

“Endüstride Uygulama Destekli Tez Programı” kapsamında çalışmamın hayata geçirilmesini sağlayan ARÇELİK A.Ş. AR-GE Merkezi'ne teşekkür ederim.

Çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen, değerli fikirleri ve eleştirileriyle çalışmaya katkıda bulunan Sn. Halime USTA YOĞUN' a ve yardımları için Arçelik ARGE Elektronik Tasarım Ailesi çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca verdikleri destek için tüm Arçelik ARGE Yüksek Lisans Öğrencileri'ne teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her adımda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olduklarını hissettiğim sevgili aileme ve tüm dostlarıma şükranlarımı sunarım.

## ÖZET

Genel olarak beyaz eşya biçiminde isimlendirilen, çamaşır makinesi, buzdolabı, bulaşık makinesi, fırın, kurutucu v.b. makineler günümüz insanın hayatının vazgeçilmez bir parçası olmuş ve hemen her evde en az bir kaçı bulunur hale gelmiştir. Bu makinelerin temel işlevlerini gerçekleştirebilmeleri için hali hazırda barındırdıkları bazı sensörler bulunmaktadır. Ancak bu sensörler çok çeşitli ve gelişmiş olmayıp çoğunlukla sıcaklık algılama amaçlı basit elektronik elemanlar veya elektromekanik anahtarlar/sensörlerdir. Örneğin çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, fırın ve buzdolabında sıcaklık, NTC, PTC gibi sıcaklık duyarlı elemanlarla veya mekanik termostatlar ile algılanmaktadır.

Her geçen gün teknolojinin doğa ve kullanıcı dostu olması gerekliliği biraz daha fazla anlaşılmaktadır. Bu gereklilik mühendisliğin amacına da uygun olarak tüm endüstriyel ve evsel amaçlı cihazları/makineleri bugün olduklarından daha fonksiyonel, güvenli, verimli ve akıllı olmaya zorlamaktadır. Makinelerin istenilen bu özellikleri kazanması doğrudan üzerlerindeki veya çevrelerindeki fiziksel koşullara ilişkin bilgi sahibi olmaları yani kritik fiziksel değişiklikleri algılamaları ile ilgilidir. Bahsedilen bu algılama artık dilimize girmiş olan ve algılayıcı kelimesi ile eşanlamlı olarak kullanılan sensörler ile yapılmaktadır.

Sensörlerin bir çok elektronik komponent gibi yeni üretim teknolojileri sayesinde boyut olarak küçülmeleri, daha üstün özelliklere sahip hale gelirken ucuzlamaları ve beyaz eşyalarda ihtiyaç duyulan hassas ve ucuz algılama ihtiyacına cevap verir duruma gelmeleri ile sensörlerin beyaz eşyalara entegrasyonu süreci başlamıştır.

Bu çalışmada fırın ve buzdolabında nem ve gaz algılamanın gerçekleşmesi için bilgi birikimi ve tecrübenin elde edilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle buzdolabı ve/veya fırında kullanılabilecek sensörlerin ve teknolojilerinin öğrenilmesi, algılanan fiziksel büyüklüğün kontrol algoritmasına sağlayabileceği bilgilerin belirlenmesi amacıyla nemin termodinamiğini de içeren bir literatür araştırması yapılmıştır. Literatürden elde edilen bilgiler ışığında çalışmanın kapsamı elektrikli ankastre fırında nem algılama olarak daraltılmış ve belirlenen uygun sensör ile fırın üzerinde nem algılama gerçekleşmiştir. Bu gerçekleştirme esnasında fırın içerisine konulan yiyeceğin miktarının nem algılama ile belirlenebildiği ayrıca yiyeceğin cinsinin ve pişme durumunun da kestirilebileceği görülmüştür.

Çalışma beyaz eşyalarda kullanılabilecek sensörlerin ürettiği elektriksel işaretleri işleyecek; sıcaklık ve offset kompensasyonu, kuvvetlendirme, filtreleme gibi bir çok sensör için ortak ihtiyaç olan işlemleri gerçekleştirecek yenilikçi elektronik donanımlardan bazıları incelenmiştir. Bu bağlamda *Texas Instruments PGA309* ve *Cypress Semiconductor PSoC* entegrelerine ait geliştirme kitleri ile uygulamalar yapılmış ve donanımların performansları incelenmiştir.

Bu dokümanda çalışma boyunca yapılan araştırma ve uygulamalar ile öğrenilmiş bulunan sensörlerin var olan beyaz eşyalara entegrasyonun, beyaz eşya kontrol sistemine bağlanmasına kadar olan tüm aşamaları fırında nem algılama özelinde sergilenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sensör, Beyaz eşyada sensörler, Nem sensörü, Gaz sensörü, Basınç sensörü, Sensör teknolojileri, Nem algılama, Sensör sinyali işleme, Nem algılama enstrumantasyonu, Fırında nem algılama, Buzdolabında Nem algılama, Akıllı fırın, Akıllı buzdolabı, Isıl iletkenlik sensörü

## ABSTRACT

Appliances like washer, refrigerator, dishwasher, oven and dryer etc. which are known as white goods have become the essential part of human life today and at least some of them are available in any house. These machines have different types of sensors to perform their basic functions. But these sensors don't have various types and also don't have complex structures. Usually they are simple electronic components or electromechanical switches/sensors. For example, temperature at washing machine, dishwasher, oven and refrigerator is sensed by temperature sensitive elements such as NTC, PTC or mechanical thermostats, that is the most common sensing application on white goods.

Day by day, it is more clearly understood that the technology must be not only user friendly, but also be environment-friendly. This necessity, at the same scope with the aim of engineering, is obligating all home appliances to be safer, more functional, efficient and intelligent than today they are. For machines, owning these required qualifications is directly related with having knowledge about some critical physical conditions of on their own or around their environment.

The process of integration of sensors with white goods has been started with getting smaller dimensions as many other electronic components with the new material and manufacturing technologies. Besides, more superior qualifications, lower costs and being able to reply to the sensitive and cheap sensing necessity, made sensors necessary at home appliances.

The aim of this study is to supply know-how and experience for implementation of humidity and gas sensing in oven and refrigerator. In the beginning, a literature research containing also hygrometry (thermophysical properties of humidity) for learning sensors and technologies for their applicability in refrigerator and/or oven has been completed.

By using the information obtained from literature, scope of study limited with humidity sensing at built-in electric oven and realized with the determined suitable thermal conductivity sensor (absolute humidity sensor). During this study, the quantity of the food that placed in oven can be detected by humidity sensing. In addition it is possible to predict the kind of food (i.e. beverage, meal or pizza) and sense whether the food is cooked or not.

At the last period of the study, the innovative signal conditioning devices have been analyzed for the processing of sensor outputs and excitation of sensors. Regarding mentioned issue two mixed-signal integrated circuits have been scrutinized with electronics engineering approach, which are *Texas Instruments PGA309* ve *Cypress Semiconductor PSoC*. The ICs performs the all needed process on sensor signals like as temperature drift compensation of offset and span, amplifying, filtering etc. General white goods applications of sensors have been simulated by the applications with both evaluation modules of *PGA309* and *PSoC* for distinguish performances of the devices.

This document consists of humidity sensor integration especially with built-in electric oven, which is determined by research and several practices, including all periods including sensor plugging to the control system of the devices.

**Key Words:** Sensor, Sensors on white goods, Humidity sensors, Gas sensors, Pressure Sensor, Sensor technologies, Humidity sensing, Sensor signal conditioning, Humidity sensing instrumentation, Humidity sensing in electric oven, Humidity sensing in refrigerator, Intelligent oven, Intelligent refrigerator, Thermal conductivity sensor.

## 1. GİRİŞ

Bu çalışma beyaz eşya sektöründe var olan elektronikleştirme süreci içerisinde, hedef ürünler buzdolabı ve fırın alınarak; geliştirilebilecek nem ve gaz sensörü uygulamaları, mevcut nem ve gaz sensörü teknolojileri, ticari nem sensörleri, bu sensörlerin incelenmesi ve karşılaştırması üzerinedir.

Sensör teknolojilerindeki trende baktığımızda diğer bir çok elektronik komponent gibi sensörler de yeni üretim teknolojileri ile birlikte boyut olarak küçülmekte, daha üstün özelliklere sahip hale gelirken ucuzlamaktadır. Yarıiletken tabanlı sensörlerin, sensör pazarındaki payı 1998 yılı içerisinde %38,9 olarak gerçekleşmiştir. Bu artışla 2008’ de yarıiletken sensörlerin %43’lük pazar payına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Ancak asıl artış üstün özellikleri nedeniyle MEMS teknolojisi ile üretilen sensörler ile ve hızla gelişmekte olan *sensör, sinyal işleme donanımı, enerji ünitesi, self-kalibrasyon ünitesi ve haberleşme arabiriminin* entegre edildiği tümleşik sensör yapısındaki akıllı sensörler (*smart sensors*) tarafında beklenmektedir [1].

MEMS tabanlı sensörler ve akıllı sensörler günümüzde teknik olarak uygun her uygulamaya entegre edilebilecek maliyetlerde değildir. Mevcut trend, hedef uygulamalar için özel çözümler içeren örnekler geliştirmektir. Ancak sürmekte olan geliştirme faaliyetleri sonunda bugün kullanılan sensörlerin getirdiği bir çok temel problemlerin bu yolla iyileştirilmesi, mikro ölçekli boyutları, tümleştirmeye uygun olmaları ve bu üretim teknolojilerindeki gelişmeyle birlikte düşük fiyat/performans oranlarıyla yakın zamanda pazarda ciddi pay sahibi olmaları beklenmektedir [1].

Sensör pazarını büyümeye zorlayan sektörlerin başında otomotiv endüstrisi gelmektedir. Sensör üreticilerini hedef uygulamalar için yeni sensörler geliştirmeye ve paralelinde de büyümeye zorlama konusunda otomotiv endüstrisinden sonra gelen sektörler; proses endüstrisi, bina otomasyon sektörü, havacılık ve gemcilik sektörleri, makine endüstrisi ve tüketici elektroniğidir.

Global sensör pazarı her geçen yıl biraz daha büyümektedir. Askeri uygulamalar dışında kullanılan sensörlere ait pazarın 1998’den 2008’e yılına kadar %4,5 büyümüş olacağı öngörülmektedir. 1998’de 32,5 milyar \$ olan pazar hacmi 2003’de 42,2 milyar \$’a çıkmıştır ve bu rakamın 2008’de 50,6 milyar \$ olması beklenmektedir. Günümüzde sensör pazarının

hakim ülkelere dağılımı %31,8 Avrupa Birliği ülkeleri, %31,1 ABD ve %19,4 Japonya biçimindedir. Geriye kalan %17,7' lik dilim diğer ülkeler arasında paylaşılmaktadır ve bu oranın 2008 de %19' a çıkacağı düşünülmektedir.

Sensör pazarındaki bu gelişim trendine paralel olarak; beyaz eşya endüstrisi de bu alandaki gelişmelerin çıktılarından yararlanacaktır. Bu alanda gelişmeleri yakın takip eden ve kısa sürede bu yeni teknoloji ürünlerini müşteriye katma değer katacak şekilde ürünlerine entegre edebilen beyaz eşya üreticileri rekabette üstünlük yaratarak; pazarda fark yaratacaklardır.

Günümüzde artık ev eşyalarının sahip olması zorunlu hale gelen enerji verimliliği, güvenlik, performans standartları, ürün fonksiyonelliği ve müşteri memnuniyeti gibi hedeflerin sağlanması sensörlerin ürüne entegrasyonu ile ilişkilidir. Artık ev cihazları tamamen elektronik ve tam otomatik olma yolunda ilerlemektedir. Beyaz eşyada sensörler alanında gelişim; ürün üzerindeki mevcut elektromekanik algılama mekanizmalarının yerini daha güvenilir, küçük ve ucuz gelişmiş sensörlerin almaya başlamasıyla çok büyük bir hız kazanmıştır.

Bu çalışmada nem ve gaz sensörü özelinde; genel olarak bir sensörün beyaz eşyalara entegrasyonu süreci üzerinde çalışılmıştır. Endüstriden ev içi cihazlarına, askeri uygulamalardan tüketici elektroniği ürünlerine kadar sayısız uygulama alanı bulan gaz ve nem sensörlerinin farklı algılama mekanizmasına sahip çeşitleri vardır. Buna bağlı olarak da çalışma koşulları ve algılama hassasiyetleri farklıdır ve farklı uygulama alanları mevcuttur Bu durum göz önüne alınarak öncelikle algılanacak fiziksel değişimin doğası hakkında bilgi edinilmiş, algılamayı gerçekleyen sensörlerin çalışma mekanizmaları, yapıları ve buna bağlı olarak kullanılacakları ortama uygunlukları öğrenilmiştir. Uygulama için çalışma konusu elektrikli ankastre fırında nem algılama olarak daraltılmıştır. Mevcut nem algılamalı fırınlar incelenmiş, edinilen bilgi kullanılarak seçilen uygun nem sensörü ile nem algılama için uygunlaştırılmış bir prototip fırın üzerinde nem algılama gerçekleştirilmiştir.

## 2. NEM ve GAZ ALGILAMA LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırmasında mevcut nem ve gaz sensörü teknolojileri, avantaj/dezavantajları, fırın ve buzdolabı uygulamaları ve bazı beyaz eşya üreticilerinin nem ve gaz sensörü uygulamaları ile ilgilenilmiştir. Elde edilen bilgiler nem ve gaz algılama ayrı düşünülerek iki alt başlık altında ele alınmıştır.

### 2.1 Nem ve Nem Algılama

Nem algılama ve nem sensörlerinin yapılarına ilişkin verimli bir inceleme için nemim tam olarak ne olduğunun, nemin fiziksel özelliklerini bilinmesi önemlidir. Bu nedenle Bölüm 2.1 nemin tanımına ve nem ile ilgili önemli fiziksel bilgilere ayrılmıştır.

#### 2.1.1 Nem Algılama İle İlgili Temel Kavramlar ve Terimler

Nemli hava; kuru hava ile su buharının karışımı olarak kabul edilir. Hava içindeki su buharının miktarı; kuru hava durumunda sıfırdan, sıcaklık ve basınca bağlı olarak doymuş durumdaki maksimum değerine kadar değişir. Doymuş hava, nemli hava ile yoğunlaşmış suyun doğal denge halidir.

Nemli havanın termodinamik özellikleri ve bu özellikleri kullanılarak nemli hava ile ilgilenen bilim dalı, termodinamiğin bir alt dalı olan Psikrometri'dir. Ayrıca nem ölçme konusuna özel olarak Higrometri (Hygrometry) adı verilmektedir.

##### 2.1.1.1 Bağlı Nem

Havadaki su buharı miktarının, aynı sıcaklıktaki doymuş havada bulunabilecek en çok su buharı miktarına oranı bağlı nem olarak tanımlanır. Özkütlelerin veya mol sayılarının oranı da aynı değeri verir. Bağlı nem genellikle yüzde olarak verilir, kısmi basınçlar oranı ile hesaplanır.

$\phi$ : bağlı nem (Relative Humidity, RH)

$$\phi = (\text{gerçek kısmi basınç} / \text{doygunluktaki kısmi basınç}) \times 100 = \text{RH}\% \quad (2.1)$$

##### 2.1.1.2 Mutlak Nem

Havadaki nemin kütesinin havanın hacmine oranı mutlak nemi verir. Mutlak nem, buharın (su buharı-kuru hava karışımının) öz kütesidir.

$\rho$  : Mutlak nem

$m_{vap}$  : Su buharı kütlesi

$V$  : Toplam hacim

$$\rho = m_{vap} / V = p / RT \quad (2.2)$$

#### 2.1.1.3 Çiğ Noktası

Çiğ noktası sıcaklığı, hava sabit basınçta soğutulduğunda yoğuşmanın başladığı sıcaklık olarak tanımlanabilir. Çiğ noktası sıcaklığı, mevcut koşullardaki havanın içinde bulunan su buharının basıncındaki doyma sıcaklığıdır. Havadaki su buharının kısmi basıncı biliniyorsa çiğ noktası sıcaklığı veya çiğ noktası sıcaklığı biliniyorsa kısmi basıncı bulunabilir.

#### 2.1.1.4 Özgül Nem

Havadaki su buharının kütlesinin havanın kütlesine oranıdır.

$\omega$  : Özgül nem

$m_{vap}$  : Su buharı kütlesi

$m_{air}$  : Havanın kütlesi

$$\omega = m_{vap} / m_{air} \quad (2.3)$$

#### 2.1.1.5 Doygunluk Oranı

Doygunluk oranı, özgül nemin doyma noktasındaki özgül neme oranıdır. Bağlı nem gibi yüzde olarak verilir.

$\mu$  : Doygunluk oranı

$\omega$  : özgül nem

$\omega_s$  : Aynı sıcaklıktaki havanın doyma noktasındaki özgül nemi

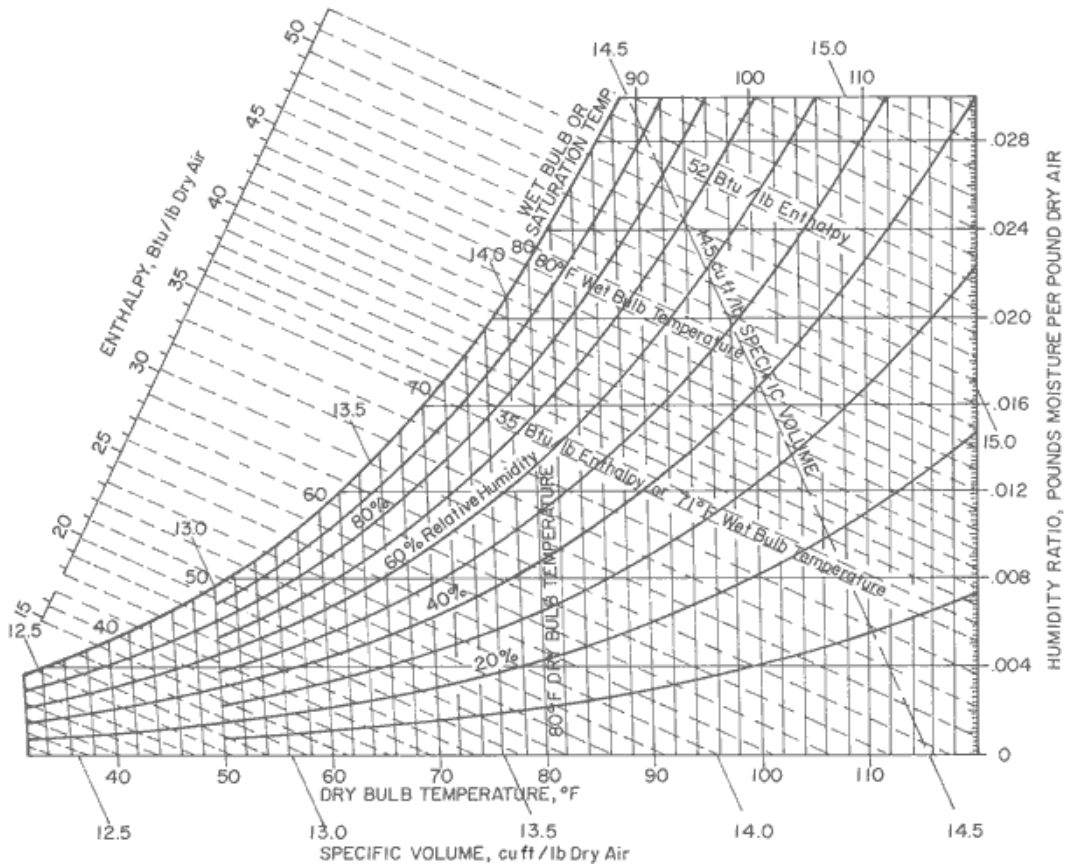
$$\mu = (\omega / \omega_s) \times 100 \quad (2.4)$$

### 2.1.1.6 Kuru ve Yaş Termometre Sıcaklıkları

Kuru termometre sıcaklığı, normal kuru bir termometreyle ölçülen sıcaklıktır. Yaş termometre sıcaklığı, haznesinin etrafına kuru termometre sıcaklığında suyla doyurulmuş fitil sarılmış bir termometreyle ölçülen sıcaklıktır. Hava %100 doymuş ise kuru ve yaş termometre sıcaklıkları ve çiğ noktası sıcaklığı birbirine eşittir. Hava doymamış ise yaş termometre sıcaklığı kuru termometre sıcaklığından düşüktür. Belirli bir kuru termometre sıcaklığı için nem oranı düştükçe yaş termometre sıcaklığı da düşer.

### 2.1.1.7 Psikrometrik Diyagram

Psikrometrik diyagramlarda havanın kuru termometre sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, özgül nemi, bağıl nemi, özgül hacmi ve özgül entalpisi verilmektedir. Havanın bu özelliklerinden herhangi ikisi ve barometrik basınç biliniyorsa diğerleri psikrometrik diyagram aracılığıyla bulunabilir.



Şekil 2.1 Psikrometrik diyagram.

## 2.2 Nem Algılama Yöntemleri ve Nem Sensörleri

Günümüzde nemi doğru olarak ölçmek endüstriyel uygulamalar, otomotiv endüstrisi, biyomedikal endüstrisi, ev/ofis içi ısıtma/soğutma ve havalandırma sistemleri veya ev cihazları gibi değişik nem, sıcaklık aralığında çalışılan farklı uygulamalar için önemli hale gelmiştir. Bu sebeple tek bir nem sensörü bütün uygulamalar için hedeflenen performans kriterlerini sağlamadığı için kullanılamamaktadır. Bulunduğu ortamdaki nem oranının değişmesiyle ölçülebilir elektriksel değişimler gösteren, farklı malzemelerden geliştirilen ve farklı algılama yapısı gösteren sensörler bulunmaktadır. Sensörün bulunacağı ortam koşulları hangi tip sensör kullanılması gerektiğini belirlemektedir. Nem algılama teknikleri aşağıda Çizelge 2.1’de algılama ilkesi ve etkileşim türüne göre listelenmiş ve sensör yapımında kullanılan yöntemler için ayrıca bilgi verilmiştir.

Çizelge 2.1 Nem algılama teknikleri

| Algılama İlkesi             | Çalışma Mekanizması                                                                                                     |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kapasite Değişimi           | Soğurduğu su/nem miktarına bağlı olarak dielektrik sabiti değişen malzemelerin kullanıldığı bir kapasite elemanı        |
| Elektrik Yüğü Değişimi      | Soğurduğu su buharından elde edilen yüke bağlı olarak akım geçiren bir elektrolit                                       |
| Çiğ Noktası                 | Yoğuşmanın başladığı sıcaklık değeri                                                                                    |
| Kütle Miktarı               | Belirli hacimdeki nemli havanın kütlesi                                                                                 |
| Elektromagnetik Geçirgenlik | Havanın taşıdığı neme bağlı olarak değişen RF, kızılötesi, optik veya mikrodalga soğurma, yansıtma oranının algılanması |
| Rezistans Değişimi          | Bulunduğu ortamın nem oranı ile iletkenliği değişen direnç elemanı                                                      |

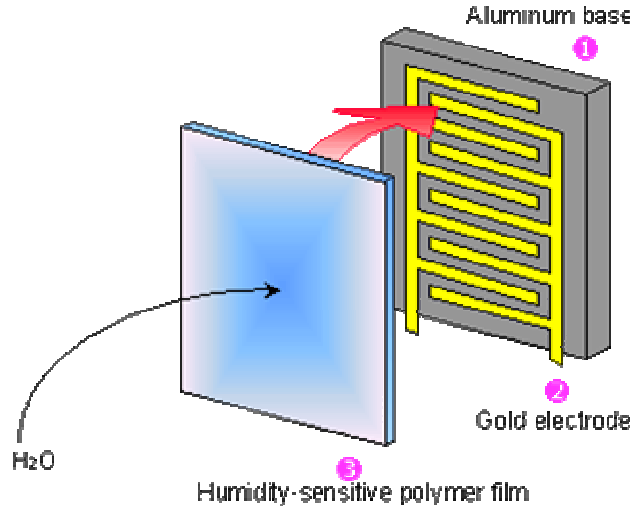
|                 |                                                                                                                                                                  |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Psikrometrik    | Kuru ve yaş termometre sıcaklıklarının ölçülerek nemin hesaplanması                                                                                              |
| Isıl İletkenlik | Havanın taşıdığı su buharı miktarına bağlı olan ısı iletkenliğinin izole edilmiş ve ortamla temas eden iki termorezistörden yayılan ısı farkı yoluyla ölçülmesi. |
| Piezoelektrik   | Piezoelektrik malzemenin neme bağlı olarak değişen rezonans frekansının ölçülmesi                                                                                |
| Fiberoptik      | Nemle geçirgenliği değişen fiberoptik malzeme içerisinde geçen optik akının kaynak değerine göre değerlendirilmesi                                               |
| Sonografik      | Ortamın ses iletme karakterinden (sesin ortamda yayılma hızından), taşıdığı nem miktarının hesaplanması                                                          |

### 2.2.1 Rezistif Nem Sensörleri



Şekil 2.2 Farklı üreticilerin rezistif nem sensörleri.

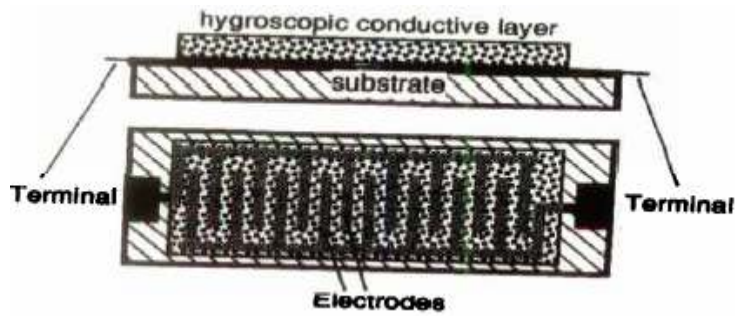
Rezistif nem sensörlerinin ana elemanı iletken polimer, tuz veya işlemden geçirilmiş tabakadır. Bu malzemeler higroskopik (hygroscopic) malzemeler olarak adlandırılır. Bu malzemeler nemi soğurma özelliğine sahiptir. Ortamdaki nemin arttığı durumlarda, neme duyarlı algılayıcı malzemenin direnci azalmaktadır. Direnç değişimi ile bağlı nem değişimi arasında ters üstel bir bağıntı vardır. Bu bağıntı kullanılarak nem algılanmaktadır [1].



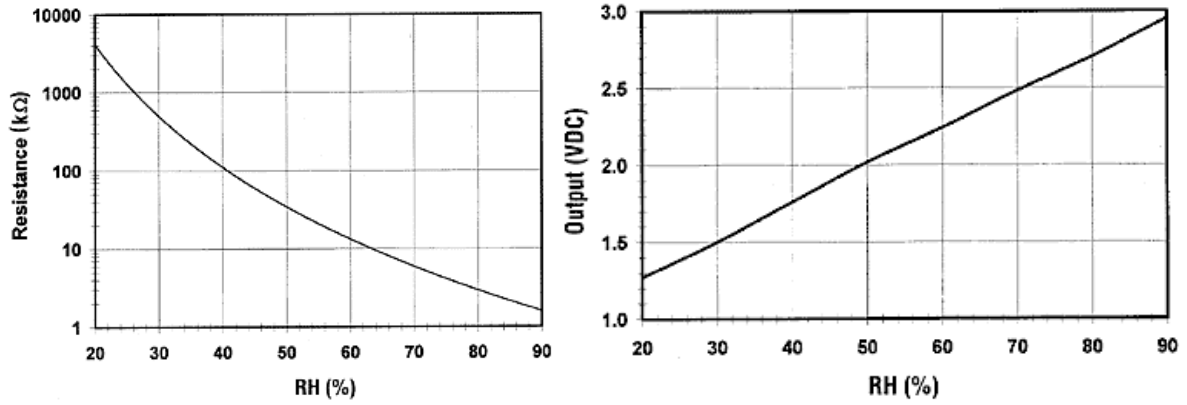
Şekil 2.3 Rezistif nem sensörü yapısı.

Yarı iletken, seramik ve polielektrolit (polyelectrolyte) gibi çeşitleri bulunan rezistif sensörler, bulunduğu ortamın nem oranı ile iletkenliği değişen direnç elemanlarıdır. Havayı geçiren delikli bir kaplama, neme duyarlı iletken ve kontak metallerinden oluşan basit bir yapıları vardır. Seramik sensörlerin bağıl nem değeri açısından çalışma aralığı ve hassasiyeti pek çok nem algılama uygulaması için kabul edilebilir değerlerdedir. İlk olarak mikrodalga fırınlar için geliştirilmişlerdir. Polielektrolit sensörler de bağıl nemin %20-%90 gibi değerlerini ölçmeye olanak tanısa da kuru çalışma koşullarındaki kararlılık problemleri nedeniyle pek tercih edilmezler.

Polystyrene gibi çeşitli materyallerin silikon malzeme yüzeyinde konumlandırılmasıyla üretilen rezistif nem sensörleri vardır. Algılama yüzeyine gelen su buharı yüzeydeki tabakanın direncini değiştirir. (Şekil 2.4)

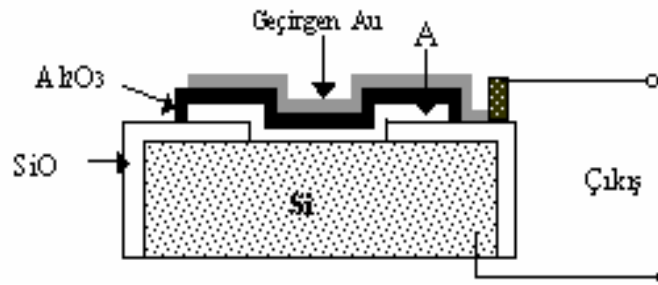


Şekil 2.4 Rezistif nem sensörü



Şekil 2.5 Rezistif nem sensörlerine ait direnç-nem değişimi ve logaritmik olarak değişen direnç değerinden elde edilebilen logaritmik çıkış

Yarı iletken rezistif nem sensörleri silisyum üzerine kaplanmış alüminyum ve bu alüminyum tabaka üzerinde oksitlenmiş yüzeyden oluşur. Değişimini algılamak üzere altın elektrotlardan biri silisyum oksit üzerine, bir elektrot da silisyum taban içine bağlanır. (Şekil 2.6)  $Al_2O_3$  dielektrik bir malzemedir; dolayısı ile sensörün maruz kaldığı nem kontak metalleri arasındaki dielektrik geçirgenliği de etkilemektedir. Bu nedenle sensör bir paralel RC eleman gibi düşünülerek kullanım sırasında sensörden okunması gereken elektriksel büyüklük empedans olmalıdır. Yine aynı nedenle sensörün AC işaretlerle uyarılması gerekir.



Şekil 2.6 İnce film rezistif nem sensörünün yapısı

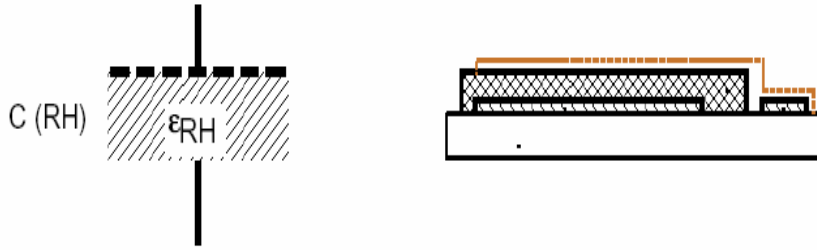
### 2.2.1.1 Rezistif Nem Sensörleri İçin Kullanılan Sinyal İşleme Devreleri

Rezistif nem sensörlerinin bir kısmı üzerlerinde DC akım geçecek şekilde beslenmeye uygunken, bir kısmı böyle bir kutuplamaya imkan vermemektedir. Direnç elemanlarından biri DC kaynakla beslenebilen rezistif nem sensörü olan bir gerilim bölücü ADC girişine nem bilgisini taşıyan DC gerilimi üretmek üzere kullanılabilir. DC besleme ile çalışmayan rezistif

nem sensörleri ise üreticinin verdiği aralıkta uygun AC işaret üzerinden geçirilerek uyarılır ve empedans ölçümü ile nem oranı verisi elde edilir.

### 2.2.2 Kapasitif Sensörler

En çok kullanılan nem sensörü çeşididir. Kapasitif sensörlerin çalışma prensibi kapasitör plakalarla aynıdır. Kapasitif sensörde genel olarak iki ince metal elektrot arasına, dielektrik geçirgenliği  $\epsilon$  olan bir polimer film tabaka yerleştirilmiştir. Sensörün nemle temas eden yüzeyine yoğunlaşmadan etkilenmemesi için gözenekli metal yüzey kaplanmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kapasitif sensör yapısı

Ortamdaki bağıl nem değişimine bağlı olarak polimer tabakanın dielektrik geçirgenliği değişmektedir. Bağıl nem değerindeki değişime göre sensörün kapasitans değişimi aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$C (RH)= (\epsilon_{RH} \cdot \epsilon_0 \cdot A) / d \quad (2.5)$$

Formülasyonda kullanılan büyüklüklere ait açıklamalar aşağıda verilmiştir:

$C$  : Sensör kapasitansı

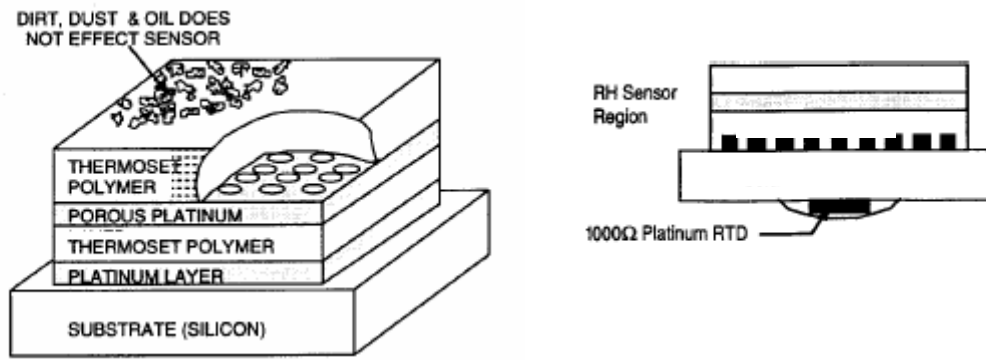
$\epsilon_{RH}$  : Bağıl dielektrik geçirgenliği

$\epsilon_0$  : Havanın dielektrik geçirgenliği

$A$  : Elektrotların alanı

d : Elektrotlar arasındaki mesafe

Kapasitif nem sensörüne ait tabakalar şekil 2.8 de verilmiştir. Ortamdaki bağıl nem değişimi gözenekli metal yüzey içerisinden polimer dielektrik tabakaya ulaşır ve bu malzemenin dielektrik geçirgenliğinin değişimine neden olur. Gözenekli platin tabaka harici etkenlerin algılayıcı dielektrik değişimine karşı korunmasını sağlayan bir kalkan görevindedir, aynı zamanda hava ile taşınan su miktarının sensörün algılayıcı malzemesine ulaşmasına imkan tanır [2] [3].

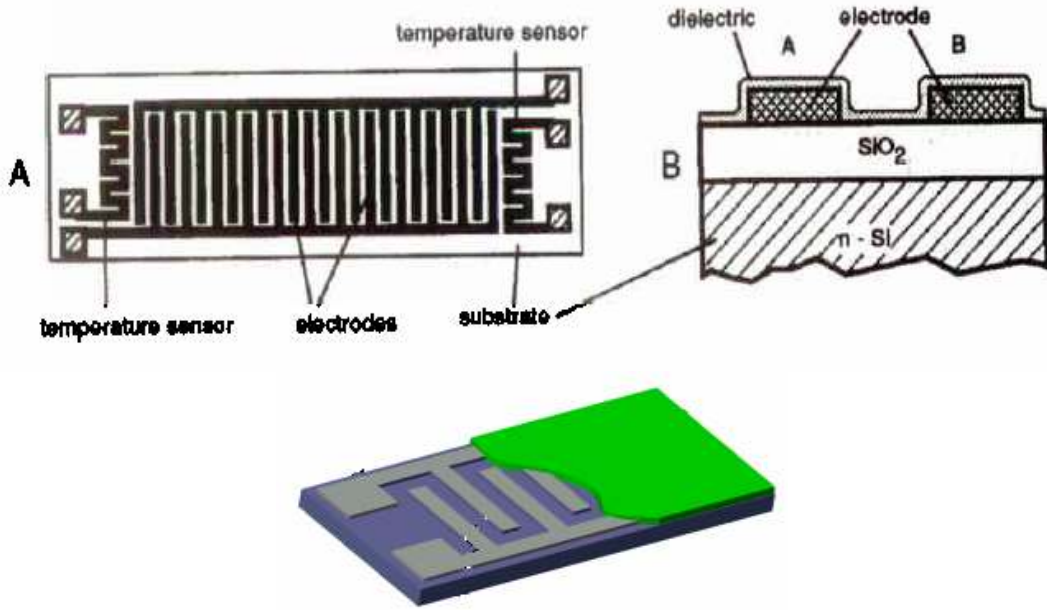


Şekil 2.8 Kapasitif nem sensörüne ait alt tabakalardan görünüm.

Koruyucu üst tabaka ise mekanik etkilere ve diğer etkenlere (kir, toz, yağ vb...) karşı yeni bir koruma duvarı görevi görmektedir. Eğer bu dış tabaka olması gerekenden kalın bir film ile geliştirilirse, sensör cevabı yavaş olacaktır. Yüksek nemlerde sensör üzerine aldığı suyu hızla atamayacak, sensörün kendini yenileme zamanı uzayacaktır.

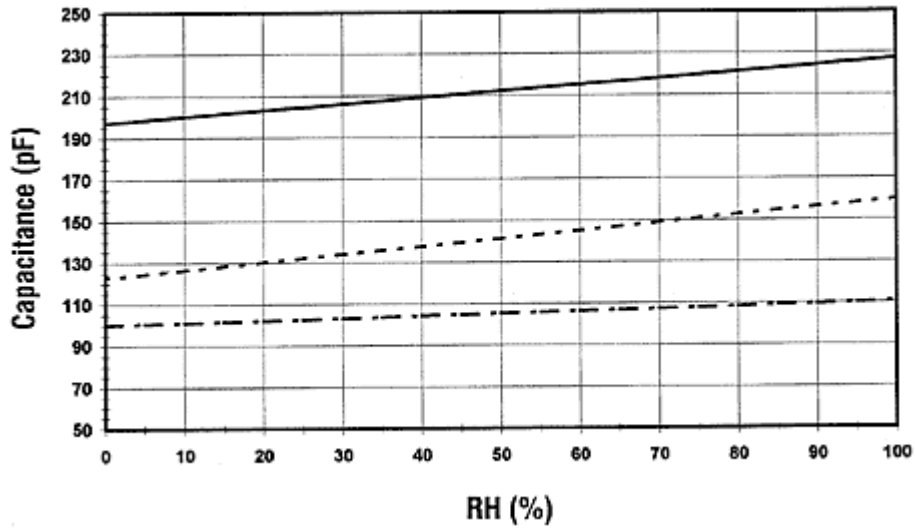
Kapasitif sensörler nem oranındaki değişimlere rezistif sensörlere oranla daha hızlı cevap verirler. Yoğuşmadan sonra kendini yenilemesi ve normal çalışma koşullarına dönmesi için sensör tasarımında ısıtıcı kullanılan nem sensörü örnekleri olduğu gibi, sensör ve işaret işleme devresi ile birlikte entegre üretilen modeller de mevcuttur. Tüm nem sensörlerinin olduğu gibi, kapasitif nem sensörlerinin de sıcaklık bağımlılığı vardır ve yüksektir. Daha açık bir ifadeyle ortamdaki sıcaklık değişimine bağlı olarak, nem-sığa karakteristikleri değişir. Bu amaçla piyasada ticari olarak satılan bazı nem sensörü örneklerinde sensör yapısına NTC yada RTD tip sıcaklık sensörü entegre edilerek üretilmiştir. Bu yolla ortamda bağıl nem ölçümü yapılırken, aynı noktadan sıcaklık verisi de edinilmekte; bağıl nem değerlerinin okunmasında sıcaklığa bağımlı kompanzasyon yapılmaktadır. İnce film teknolojisi kapasitif nem sensörleri

için de kullanılmaktadır. Neme duyarlı metal-oksit ince film tabaka su geçiren uygun bir kaplama malzemesi ve silisyum oksit ile çevrili silikon taban arasında bulunmaktadır. Sıcaklık kompanzasyonu yapabilmek için sıcaklık sensörleriyle veya yoğuşma engelleme, düşük sıcaklıkta çalışma sağlamak için ısıtıcı (termistor) ile aynı taban (substrate) üzerinde üretilebilmektedirler (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Oksit ince film tabakalı kapasitif nem sensörü.

Kapasitif sensörler için üreticiler tarafından önerilen sinyal işleme tekniği çoğunlukla CMOS zamanlayıcı (timer) ile üretilen darbelerin sensör üzerinden geçirilmesi ve ortamdaki nem değişimine bağlı olarak doğrusal bir gerilim değişiminin elde edilmesidir. Kapasitif nem sensörünün genel olarak belirsizliği % 2 RH- % 5 RH arasındadır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Kapasitif sensörlerde bağıl nem-sığa değişimi.

Nem sensörü tasarımında sensörün algılayıcı mekanizmasının tasarımı yanında, nem sensörünün kullanılacağı uygulamaya bağlı kılıf yapılarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Örneğin yoğun nem içeren uygulamalarda sensör kılıfının paslanmaz çelik bir malzemeden üretilmesi, sensör yüzeyinde yoğuşmayı engellemek için hydrofobic (suyu sevmeyen) malzemeler kullanılması büyük önem taşımaktadır. Ticari nem sensörleri içerisinde bu tarz sensör örnekleri de mevcuttur. Aşağıda ticari olarak satılan kapasitif nem sensörlerine ait sensörler ve kılıf yapısı ile ilgili genel bir görünüm verilmiştir.

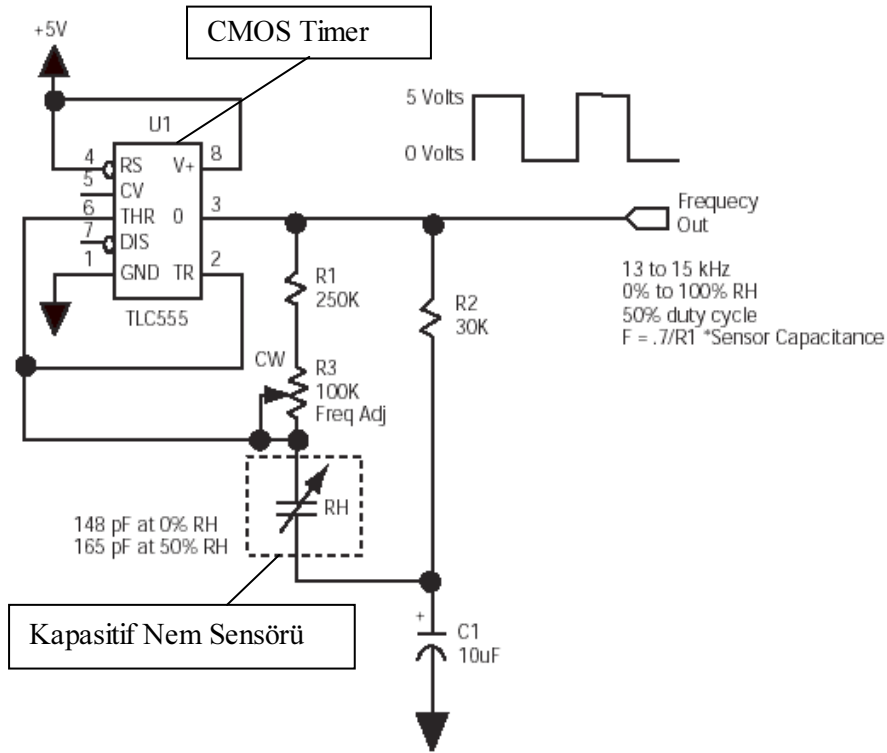


Şekil 2.11 Farklı kapasitif nem sensörleri.

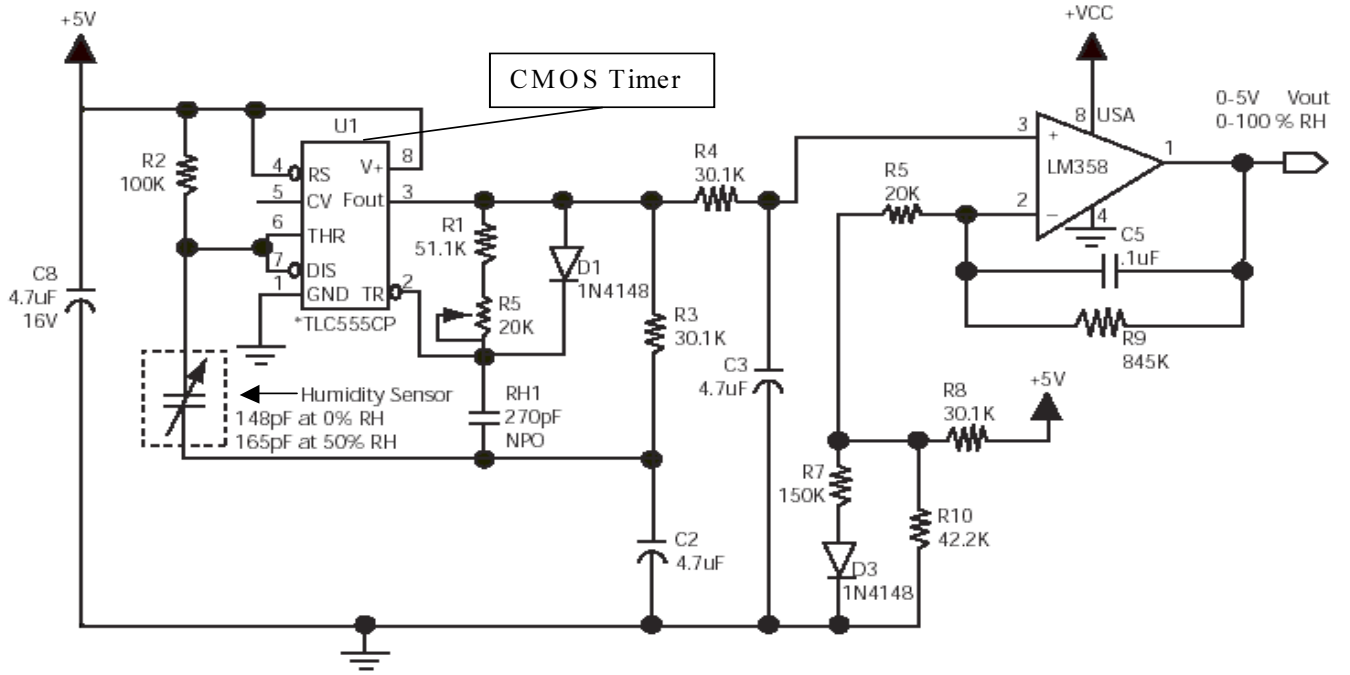
#### 2.2.2.1 Kapasitif Sensörler İçin Kullanılan Sinyal İşleme Yöntemleri

Kapasitif sensörler ile algılanan nem, bağıl nem oranıdır. Bağıl nem değişimleri sensörün sığasını değiştirmektedir. Sinyal işleme yöntemi veya donanımı olarak anılan düzenek sensörün sığasını giriş büyüklüğü kabul eden ve çıkış olarak mikro denetleyici tarafından algılanabilecek sinyaller üreten analog devrelerdir. Nem bilgisinin, mikro denetleyiciler

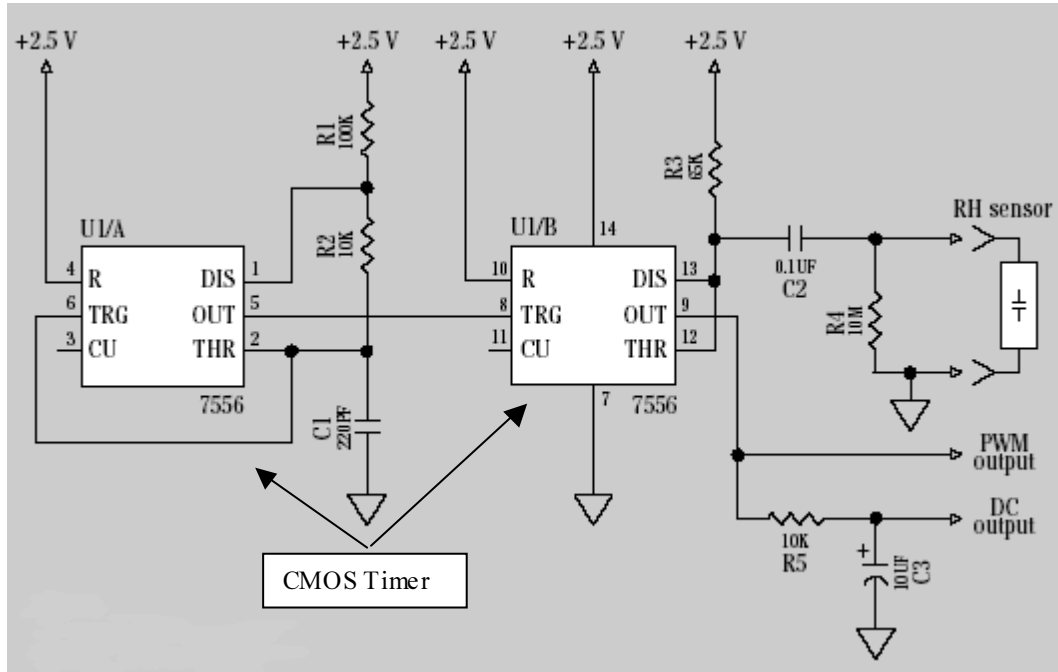
üzerinde standart hale gelmiş olan sayıcı veya analog-dijital çeviriciler aracılığı ile kolayca sayısallaştırılarak kullanıma ve saklanmaya uygun hale getirilecek işaretlere dönüştürülmesi istenmektedir. Dolayısı ile sensörün uçlarındaki sinyali işleyecek olan analog ve/veya sayısal devre çoğunlukla bir kapasite-gerilim veya kapasite-frekans dönüştürücüsüdür. Sensörün kapasitif değeri DC gerilim seviyesi yada AC işaret frekansına dönüştürülür. Şekil 2.12, şekil 2.13 ve şekil 2.14’de CMOS zamanlayıcı ile üretilen darbelerin sensör üzerinden geçirilmesiyle çalışan tipik nem algılama devreleri verilmiştir.



Şekil 2.12 Bağlı nem-frekans dönüştürücü devre.



Şekil 2.13 Bağıl nemi 0-5 V arasında oransal olarak veren bir topoloji.



Şekil 2.14 PWM ve DC gerilim çıkışlı nem algılama devresi.

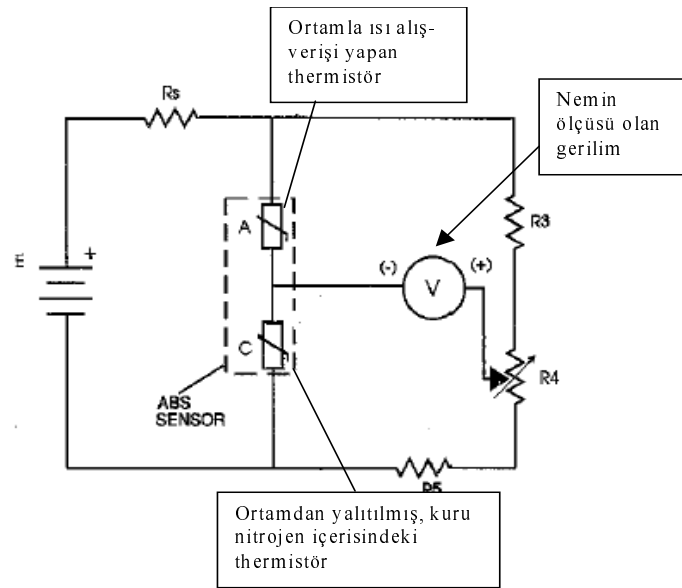
### 2.2.3 Isıl İletkenlik Nem Sensörleri

Isıl iletkenlik sensörleri nem algılayıcı element olarak termistör kullanmaktadır. Bu yöntemle ortamdaki mutlak nem ölçülmektedir. Isıl iletken nem sensörlerinde iki eş termistör DC köprüünün elemanları olarak kullanılmaktadır. Termistörlerden biri kuru nitrojen içerisinde, diğeri ortamın havası ile direkt temas edecek şekilde yerleştirilmiş, iki özdeş termistörden oluşan bir yapıya sahiptirler (Şekil 2.16). Bu algılama yapısı ile kuru hava ile ortamdaki havanın ısıl iletkenliği arasındaki fark ölçülmektedir.



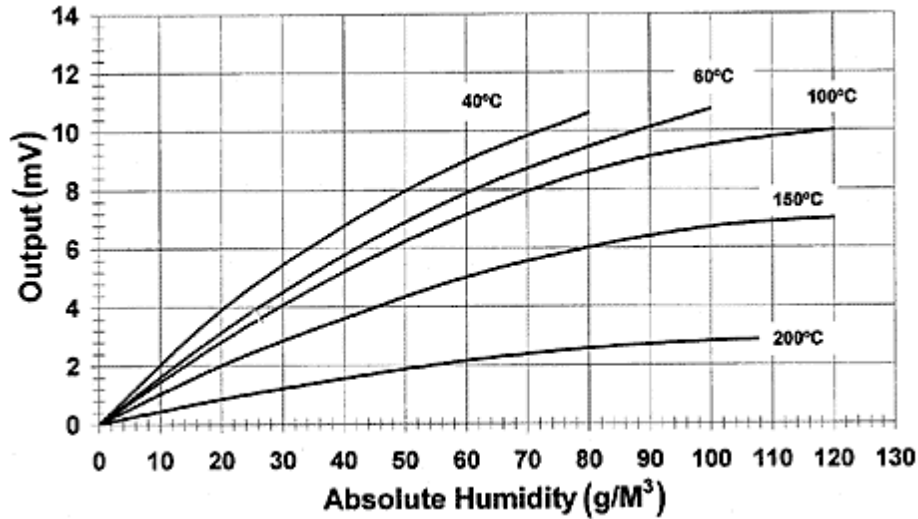
Şekil 2.15 Isıl iletkenlik sensörlerine ait görünümeler.

Aşağıda şekilde ısıl iletkenlik nem sensörlerine ilişkin eşdeğer devre verilmiştir. Yukarıda anlatılan yapıya bağlı olarak, biri kuru hava içerisinde diğeri ortamda olan iki ayrı termistörün ısıl iletkenlikleri arasındaki fark; bir DC köprü ile gerilim olarak alınmaktadır. DC köprü çıkışındaki gerilim mutlak nem değişimi ile ilişkilidir [1].



Şekil 2.16 Isıl iletkenlik mutlak nem sensörü.

Termistörler üzerinden akım geçtiğinde sıcaklıkları  $200^{\circ}\text{C}$  değerini aşmaktadır. Bu durumda kuru ortamdaki termistörden dışarı atılan ısı miktarı ortam şartlarındaki termistörden dışarı atılan ısı miktarından daha fazladır. Isı akışının farklılığından dolayı çalışma sıcaklıkları da farklı olacaktır, bu da mutlak nem miktarı ile doğru orantılıdır [8], (Şekil 2.17).



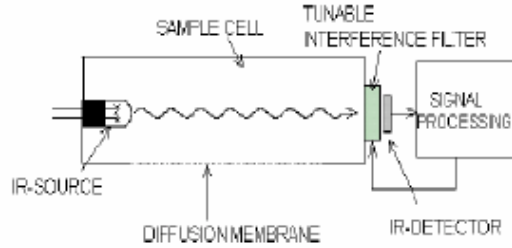
Şekil 2.17 Isıl iletkenlik nem sensöründen farklı sıcaklıklarda elde edilen çıkış sinyali.

Isıl iletkenlik sensörlerinin ana avantajı,  $200^{\circ}\text{C}$ ' den yüksek sıcaklıklarda doğru ve kararlı bir şekilde kullanılabilmektedirler. Çok yaygın uygulama alanları olan kapasitif ve rezistif tip nem sensörleri bu sıcaklık değerlerinde kullanılamazlar. Isıl iletkenlik nem sensörlerinin  $40^{\circ}\text{C}$ ' de doğruluğu  $\pm 5\%$  RH iken,  $100^{\circ}\text{C}$ ' de  $\pm 0.5\%$  RH civarındadır. Isıl iletkenlik nem sensörleri yüksek sıcaklıktaki performansları nedeniyle mikrodalga veya buharlı pişirme teknolojilerine sahip fırınlarda, çamaşır kurutucusunda, kozmetik ve eczacılık sektöründe üretimde, pişirme ve besin kurutma endüstrisinde kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıkta çalışma bölgesine sahip uygulamalarda (soğutucu, buzdolabı ya da HVAC sistemleri gibi) kullanılmaya uygun değildir [1].

## 2.2.4 Spektroskopik Nem Sensörleri

Su buharı  $1\mu\text{m}$  ile  $3\mu\text{m}$  dalga boyları arasında kalan kızılötesi radyasyonu soğurma eğilimindedir. Suyun bu özelliğinden yararlanılarak bir kızılötesi radyasyon kaynağı ve karşısına yerleştirilen alıcı ile nem içeren bir ortamın kızılötesi geçirgenliği ve dolayısı ile nem oranı algılanır. Böyle bir algılama tekniği ilgilenilen ortam içerisine doğrudan temas

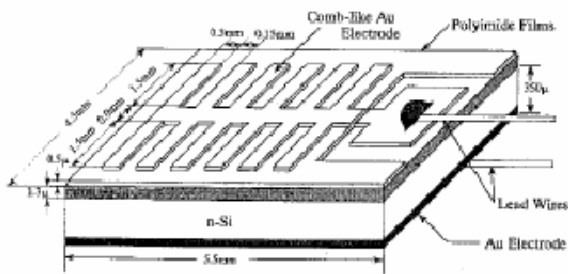
eden bir kontak içermediğinden elektronik elemanların veya devrelerin sakıncalı olduğu yerlerde kullanır. Ayrıca çok düşük su buharı konsantrasyonlarının belirlenmesinde çok başarılı bir metottur [2].



Şekil 2.18 Spektroskopik (IR) nem sensörü yapısı.

### 2.2.5 Sayısal Nem Sensörleri

Sayısal nem sensörleri aynı silikon çip üzerinde üretilmiş kapasitif nem sensörü ve sensörden alınan veriyi işleyen donanımın entegre edildiği tümleşik sensör yapısı olarak düşünülebilir. Polyemid ince film tabaka üzerine su moleküllerinin tutunmasına bağlı dielektrik katsayısı değişimi algılanarak sayısallaştırılmakta ve nem bilgisi olarak bir bellekte saklanmaktadır. Mikroişlemcili sistem tarafından sensörün 2-tel (2-wire) iletişim protokolü üzerinden istenildiği an nem verisi okunabilmektedir. Yüksek tekrar edilebilirlikleri, kararlılıkları, geniş çalışma aralıkları ve hızlı cevap süreleriyle bir çok uygulama için gereken ihtiyaca cevap verebilirler.



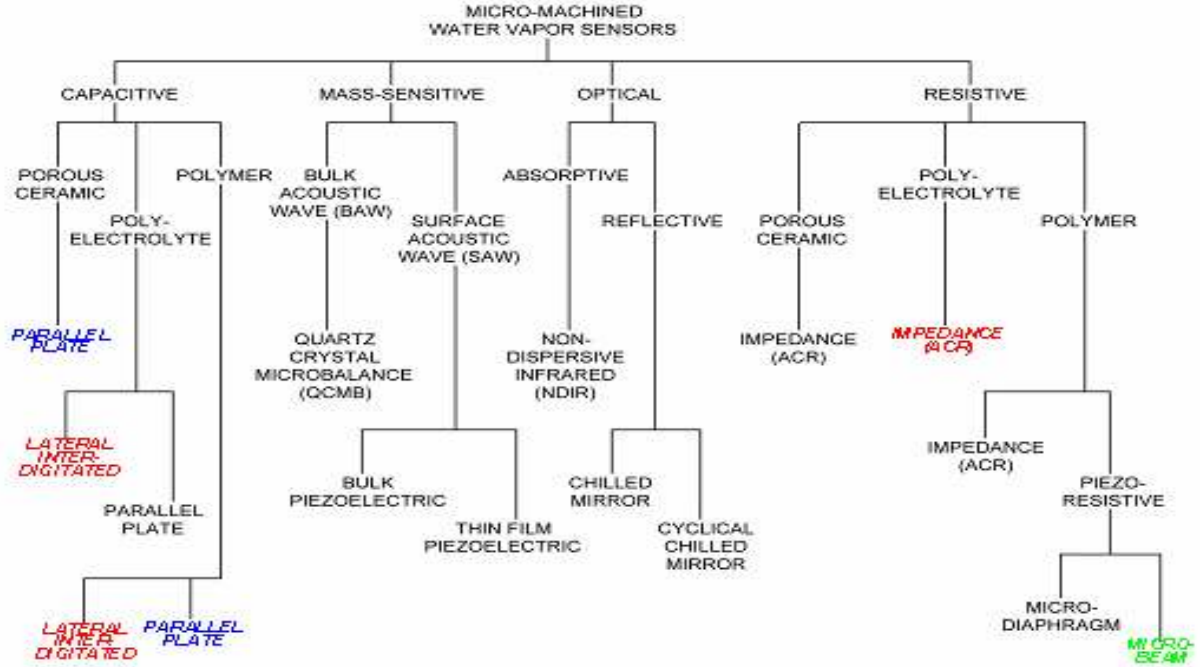
Şekil 2.19 Algilama elmanı ve sensörün blok diyagramı.

### 2.2.6 Piezorezistif Sensörler

Çalışma mantığı piezorezistif malzemenin nem ile zorlanma miktarının ölçülmesidir. Piezorezistif katman üzerinde bulunan ince film polimer yüzeye yapışan su, piezorezistif malzeme üzerinde bir mekanik zorlama indükler. Bu mekanik gerilmeye maruz kalan piezorezistif malzemenin direnç değişimi ölçülerek nem algılanır.

### 2.2.7 MEMS (Mikro Elektro Mekanik Sistemler)

MEMS olarak kısaltılan, Mikro Elektro Mekanik Sistemler, (Micro Electrical & Mechanical Systems) sensörler; sensör, eyleyici veya robotlar gibi bazı elektromekanik düzeneklerin küçük boyutlarda üretilmesine imkan veren mikro üretim teknolojisinin ismidir. Sensör pazarında MEMS teknolojisi kullanılarak üretilen nem sensörleri bulunmaktadır. MEMS sensörler % 5 RH-%100 RH bağıl nem aralığında kapasitif ve rezistif sensörlerin çalışmadığı bir çok ortamda çalışabilmektedirler; donmaya veya tamamen ıslanmaya dayanabilirler. Algılama ve etkileşim mekanizması bundan önceki bölümlerde anlatılan sensörlerden farklı olmayan MEMS sensör çeşitleri şekil 2.20’ den görülebilir.



Şekil 2.20 MEMS teknolojisi ile üretilen nem sensörlerine ilişkin diyagram.

### 2.3 Ticari Nem Sensörleri

Uygulama ve buna bağlı çalışma koşullarına bağlı olarak nem sensörü seçiminde, sensörün aşağıdaki parametrelerinin dikkate alınması gerekmektedir:

- Hassasiyet (Sensitivity)
- Keskinlik (Precision)
- Tekrarlanabilirlik (Repeatability)
- Çalışma sıcaklık aralığı (Temperature Range) ve sıcaklık duyarlılığı.
- Nem aralığı (Relative Humidity Range)
- Kararlılık (Stability)
- Yoğuşmadan geri dönme zamanı (Recover Time)
- Kimyasal ve fiziksel etkilere dayanım
- Boyut
- Paketleme
- Fiyat ve sinyal işleme donanımı maliyeti

Sensör pazarında ticari olarak erişilebilir olan nem sensörleri ve teknik dokümanları incelenmiş; beyaz eşyada nem algılama uygulamalarında kullanılabilecek 14 farklı sensör üreticisine ait toplam 30 nem sensörü ve teknik spesifikasyonları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Beyazışıyalarda kullanıma uygun ticari nem sensörleri

| Üretici           | Model         | Malzeme/Algılama Tipi        | Range                    | Max Çalışma Sıcaklığı | Hassasiyet           | Çıkış Büyüklüğü   | Cevap süresi | Kararlılık    |
|-------------------|---------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|--------------|---------------|
| Honeywell         | HIH-4000      | Thermoset polymer capacitive | 0 - %95                  | 85 °C                 | ± 3.5 %RH            | 0 - 3.75 V        | 15 s         | ± 1.2 %RH/yıl |
| Honeywell         | HIH-3602/3610 | Thermoset polymer capacitive | 0 - %100                 | 85 °C                 | ± 2 %RH              | 0.8 - 4.7 V       | 30 s         | ± 0.2 %RH/yıl |
| Smartec           | SMTHS10       | Polymer dielectric capacitor | 0 - %100                 | 120 °C                | ± 2 %RH              | 0 - 5 V AC        | 60 s         | ± 3.5 %RH/yıl |
| Hygrometrix       | HMX2000DS     | MEMS (Piezzorezistif)        | %20 - %90                | 85 °C                 |                      | (-5) - 6 mV       | 10 s         | ± 0.5 %RH/yıl |
| Ohmic Instruments | HC-610        | Thermoset polymer capacitive | 0 - %100                 | 85 °C                 | ± 5 g/m <sup>3</sup> |                   | 15 s         | ± 0.2 %RH/yıl |
| Ohmic Instruments | UPS-600       | Seramik rezistif             | %20 - %90                | 95 °C                 | ± 2 g/m <sup>3</sup> |                   |              | ± 0.4 %RH/yıl |
| Ohmic Instruments | UPS-500       | Rezistif                     | %20 - %90                | 95 °C                 | ± 2 g/m <sup>3</sup> | 10 MOhm - 1 KOhm  | 5 s          | ± 0.4 %RH/yıl |
| Ohmic Instruments | ABS-300       | Isıl iletkenlik              | 0 - 130 g/m <sup>3</sup> | 200 °C                | ± 3 g/m <sup>3</sup> | 0 - 13 mV         | 50 s         |               |
| Gefran            | H6000/6100    | Kapasitif                    | 0 - %100                 | 140 °C                | 0.86 pF/%RH          |                   | 10 s         | ± 1 %RH/yıl   |
| Shinyei           | C7 - M3       | Rezistif                     | 0 - %95                  | 70 °C                 | ± 3.5 %RH            | 0 - 5 V AC        |              |               |
| General Eastern   | EMD4000       | Polymer system               | %20 - %98                | 60 °C                 | ± 3 %RH              | 1 V <sub>pp</sub> |              |               |
| General Eastern   | G - CAP2      | Kapasitif                    | 0 - %100                 | 85 °C                 | ± 3 %RH              | 1 V AC            | 75 s         | ± 1 %RH/yıl   |
| General Eastern   | APS-200       | Kapasitif                    | 0 - %95                  | 60 °C                 |                      |                   | 90 s         | ± 0.5 %RH/yıl |
| General Eastern   | RH-8          | Rezistif                     | 0 - %100                 | 60 °C                 |                      |                   | 120 s        | ± 2 %RH/yıl   |

|                   |                  |                    |                          |        |                      |           |      |               |
|-------------------|------------------|--------------------|--------------------------|--------|----------------------|-----------|------|---------------|
| General Eastern   | EMD-2000/3000    | Rezistif           | 0 - %100                 | 100 °C | ± 1 %RH - ± 5 %RH    |           | 15 s |               |
| Sensirion         | SHT1x/SHT7x      | Polymer capacitive |                          |        | 1.5 %RH - 4.5 %RH    | Dijital   | 4 s  | ± 0.5 %RH/yıl |
| JLC International | HC103/HC104      | Kapasitif          | 0 - %100                 | 120 °C | ± 2 %RH - ± 6 %RH    |           |      | ± 1.5 %RH/yıl |
| JLC International | HC200/HC201      | Kapasitif          | %10 - %95                | 110 °C | 1.6 pF/%RH           |           | 15 s | ± 1.5 %RH/yıl |
| JLC International | HC1000/HC101     | Kapasitif          | 0 - %100                 | 120 °C | 1.4 pF/%RH           |           | 6 s  | ± 1.5 %RH/yıl |
| Humirel           | HS1100/HS1101    | Kapasitif          | 0 - %100                 | 100 °C | 0.34 pF/%RH          |           | 5 s  | ± 0.5 %RH/yıl |
| Humirel           | HTS2010          | Kapasitif          | 0 - %100                 | 100 °C | ± 2 %RH              |           | 10 s | ± 0.5 %RH/yıl |
| Humirel           | HTS2030          | Kapasitif          | 0 - %100                 | 140 °C | 0.31 pF/%RH          |           | 5 s  | ± 0.5 %RH/yıl |
| Panametrics       | MiniCap 2        | Polymer capacitive | 0 - %100                 | 180 °C |                      |           | 60 s | ± 1 %RH/yıl   |
| Philips           |                  | Kapasitif          | %10 - %90                | 85 °C  | 0.4 pF/%RH           |           |      |               |
| Shibaura          | HS-5, HS-6, HS-7 | Isıl iletkenlik    | 0 - 130 g/m <sup>3</sup> | 200 °C | ± 1 g/m <sup>3</sup> | 0 - 10 mV | 25 s |               |
| Shibaura          | HS-13            | Isıl iletkenlik    | 0 - 100 g/m <sup>3</sup> | 200 °C |                      | 0 - 10 mV | 16 s |               |
| Shibaura          | DH-5             | Isıl iletkenlik    | 0 - 100 g/m <sup>3</sup> | 100 °C |                      | 0 - 10 mV | 8 s  |               |
| E+E               | HC104            | Kapasitif          | 0 - %100                 | 120 °C | 0.48 pF/%RH          | 5 Vpp     | 6 s  | ± 1,5 %RH/yıl |
| E+E               | HC103/HC105      | Kapasitif          | 0 - %100                 | 120 °C | 0.55 pF/%RH          | 5 Vpp     | 6 s  | ± 1,5 %RH/yıl |

Tabloda verilen nem sensörlerinin çoğunun ev aletlerinde gerek duyulabilecek hassasiyet ve çalışma sıcaklık aralığı gereksinimlerini karşıladıkları görülmektedir. Verilen sensörlerin en az hassas olanı %5 RH hassasiyete sahiptir. Ortalama hassasiyet %3 RH civarında iken, en yüksek keskinliğe sahip sensörün %1 RH hassasiyeti bulunmaktadır.

Kullanılan sensörlerin doğru olarak ölçüm yapabildikleri nem aralığı çoğunlukla karşılaşacakları nem aralığı ile örtüşmelidir. Her iki ortamda da (fırın ve buzdolabında) olması beklenen veya istenen nem miktarının %60 RH - %100 RH aralığında olduğu, yani sensörün yüksek nem konsantrasyonlarında çalışacağı bilinmektedir ve bu aralıkta ölçüm yapan çok sayıda model bulunmaktadır. Bu durum altında keskinlik (accuracy) ve çalışma nem aralığı parametreleri verilen sensörler içinden seçim yapmak adına çok ayırıcı değildir.

Ancak fırında nem sensörünün  $60^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$  gibi yüksek sıcaklıklarda yüksek hassasiyet ve kararlılık göstermesi beklenirken buzdolabı gibi bir cihazda bu değer  $0^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 'ler seviyesine düşmektedir. Bütün nem sensörleri sıcaklıktan aynı şekilde etkilenmemekte, nem algılama aralıkları ve hassasiyetlerinin iyi oldukları sıcaklık, sensörden sensöre değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle sensör entegre edildiği cihazda maruz kalacağı sıcaklıklarda hassas, kararlı ve doğrusal cevap verecek şekilde seçilmelidir. Ek olarak bahsedilen bu sıcaklık bağımlılığı bir hata düzeltme (kompanzasyon) ihtiyacı doğurmaktadır. Bu hata düzeltme işleminin verimliliği açısından tam olarak sensörün bulunduğu noktadaki sıcaklığın bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Bunun için nem sensörünün bulunduğu noktanın sıcaklığını algılamayı sağlayacak termik elemanlarla (NTC gibi) birlikte aynı kılıf içinde üretilmiş modellerin tercih edilmesi söz konusu olabilir.

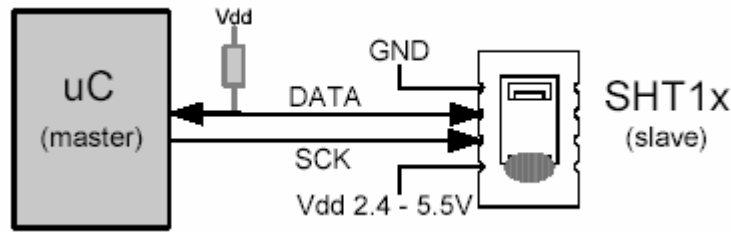
Hem fırın hem de buzdolabı için söz konusu oluşabilecek yoğunlaşma durumuna dayanıklı olan ve sonrasında kısa sürede çalışabilir hale gelen sensörlerin sayısı çok değildir. Ayrıca beyaz eşyaya entegre edilmesi öngörülen bir elemanın ömrünün içinde bulunduğu sisteme biçilen kullanım ömrüne uygun olması beklenir. Bu açıdan bakıldığında uzun vadede kararlılık ve yoğunlaşmadan geri dönme kabiliyetlerinin de mevcut nem sensörleri için seçici kriterler haline geldikleri söylenebilir. Yine de yüksek nem oranlarını; fırın için yüksek, buzdolabı için düşük sıcaklıkta ve yeterli duyarlılıkta ölçebilme fırın ve/veya buzdolabında kullanılacak sensörü belirlemede en kritik özellik olarak gözükmektedir.

### **2.3.1 Fırın ve/veya Buzdolabında Kullanılmaya Uygun Nem Sensörleri**

İncelenen sensörlerden fırın ve/veya buzdolabı uygulamalarında sensörün maruz kalacağı nem

ve sıcaklık aralığında çalışabilecek, yeterli hassasiyete ve dayanıklılıkta olduğunu gösterir teknik spesifikasyonlara sahip sensör modelleri şunlardır: *Ohmic Instruments ABS-300*, *Sensirion SHT1x/7x*, *Humirel HS1101* ve *Honeywell HIH3602*.

*SENSIRION SHT1x/7x* CMOS teknolojisiyle aynı çip üzerinde üretilmiş nem sensörü, sıcaklık sensörü ve 14-bit analog-dijital çevirici, kalibrasyon hafızası, 2-wire protokol ara yüzü gibi dijital birimler içeren entegre bir nem ölçme sensörüdür. 0 %RH -100 %RH ve  $-40^{\circ}\text{C}$  ile  $120^{\circ}\text{C}$  aralığında ölçüm yapma kabiliyetine sahip bu serinin  $\pm 4,5$  %RH ile  $\pm 1,8$  %RH arasında değişik hassasiyetlere sahip 5 modeli bulunmaktadır. Kompanzasyon için tümleşik sıcaklık sensörüne sahip olması ve özellikle sayısal çıkışı (Şekil 2.21) bu sensörü rakiplerinden ayıran özellikleridir .



Şekil 2.21 Sensirion SHT1x/7x serisinin tipik uygulama devresi.

*OHMIC ABS-300* termal iletkenlik değişimi yoluyla algılama yapan bir mutlak nem sensörüdür.  $200^{\circ}\text{C}$  çalışma aralığının üst sınırı olarak verilmektedir. Nemi  $0\sim 130\text{ g/m}^3$  aralığında ölçebilmektedir. Ayrıca kimyasal gazlara ve yoğuşmaya karşı dayanıklıdır ve koruyucu bir kılıf (housing) içindedir. DC 15V'la beslenmekte ve çıkışı  $0\sim 13\text{mV}$  arasında değişmektedir. Fırın uygulamaları için gayet uygun gözükmeyle beraber ısı iletkenlik sensörleri düşük sıcaklıklardaki kararlılık problemleri nedeniyle buzdolabı uygulamaları için tercih edilmemelidir.

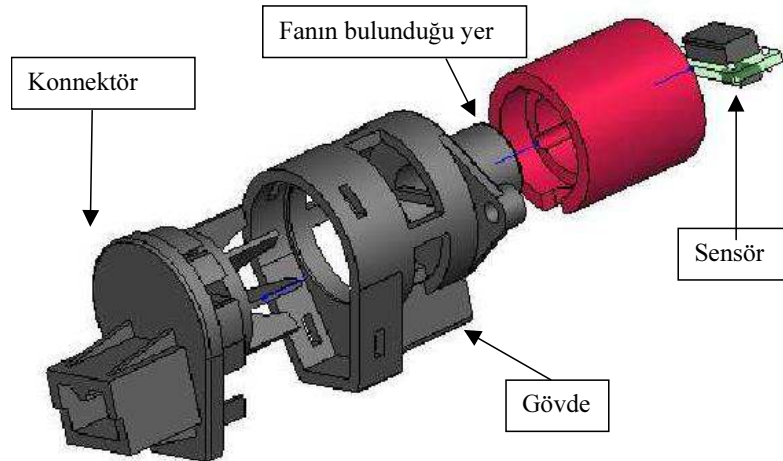
*HUMIREL HS1101* nem sensörü ev/ofis otomasyonu, otomobil uygulamaları, endüstriyel proses kontrol sistemleri ve ev aletleri gibi uygulamalar için geliştirilmiş bir kapasitif nem sensörüdür. Kalibrasyon ihtiyacı olmaması, yoğuşmadan sonra kısa sürede geri dönmesi, kısa cevap süresi, elektronik donanımı ve ürüne entegrasyonunun kolay olması gibi özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Çalışma nem aralığı 5 %RH ~ 98 %RH, çalışma sıcaklık aralığı  $-40^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$  ve tipik cevap süresi 5 saniyedir. Ek olarak ev aletleri uygulamalarında karşılaşılan bir çok kimyasal gazla dayanıklı olduğu bilgisi verilmektedir .

*HONEYWELL HIH3602* model numaralı nem sensörü düşük sıcaklıklardaki başarılı

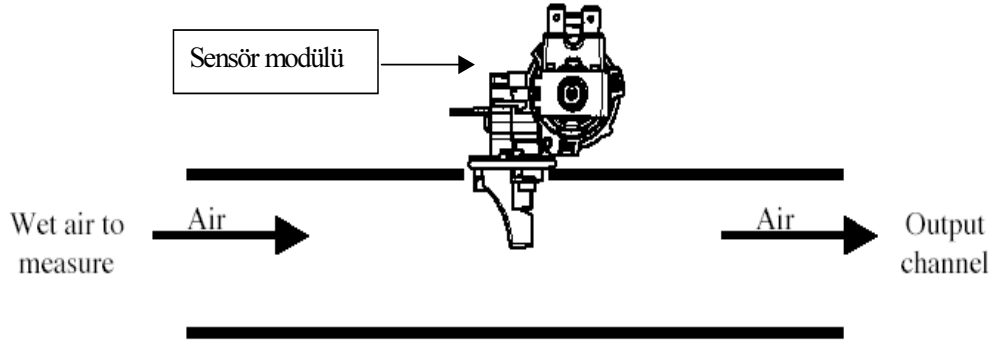
performansı ile dikkati çekmektedir. Tipik kullanım alanları soğutma sistemleri, kurutucular ve meteoroloji uygulamalarıdır. Sıcaklık kompanzasyonu için sıcaklık sensörü ile beraber kılıflanan tipleri bulunmaktadır.  $\pm 2$  %RH hassasiyeti,  $40^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$  aralığındaki neredeyse tamamen doğrusal davranışı, 0,2 %RH/yıl gibi düşük sürüklenme değeri ve kapasitif bir sensör olmasına rağmen gerilim çıkışlı olması ve ürüne entegrasyonun kolay olması HIH3602'nin pozitif özellikleridir.

### 2.3.2 Nem Sensörü Koruyucu Kılıfları

Nem sensörlerinden istenilen algılama kalitesini sağlama konusunda sensörün özellikleri kadar, ilgili ortam içerisinde yerleştirildiği konum ve kılıf yapısı da önemlidir. Nem sensörleri çoğu zaman sensörü duman, is, mekanik darbeler ve yoğunlaşmadan korumak üzere İngilizce'de "housing" olarak isimlendirilen bir kılıf veya paket içerisinde kullanılırlar. Bu koruma kabının geometrisi nem sensörü üzerine gelen hava akış hızını ve miktarını da aynı zamanda belirlemektedir. Sensörü kirlenmeye ve mekanik etkilere karşı korurken aynı zamanda sensöre ölçüm yapılan ortamın nem durumunu temsil edecek şekilde ve doğru hızda hava gelmesini garanti altına almayı amaçlayan çeşitli kılıf yapıları vardır. Bunlardan *HUMIREL* firması tarafından üretilen ve *BRANDT* marka ürünlerde de kullanıldığı bilinen küçük bir fan içeren kılıf yapısı Şekil 2.22'den görülebilir. Şekil 2.23'de monte edilme şekli ve Çizelge 2.3'de fanın elektriksel özellikleri verilmiştir.



Şekil 2.22 Humirel HTB1300UC kılıf yapısı.



Şekil 2.23 Sensör modülünün hava akış kanalına bağlantısı.

Çizelge 2.3 Humirel HTB1300UC sensör kılıfı fanının özellikleri

| Fan Characteristics         | Connection | Value                                         |
|-----------------------------|------------|-----------------------------------------------|
| Rated Voltage supply        | (+) & (-)  | 13.5 VDC                                      |
| Operating voltage           | (+) & (-)  | 10 VDC to 16 VDC                              |
| Rated current               | (+) & (-)  | 60 mA max                                     |
| Speed reference             |            | 3500 RPM $\pm 10\%$ (3s after applied power ) |
| Temperature operating range |            | -40°C to 85°C                                 |
| Nominal air flow            |            | TBD                                           |
| Noise                       |            | < 40 dB                                       |

## 2.4 Gaz (Koku) Sensörleri

İnsanlar çevrelerinde olan kimyasal değişimleri algılamak için koku alma duyusunu kullanırlar. Mutfakta yiyecek kalitesinin belirlenmesi, pişirme prosesinin izlenmesi ve sonlandırma kararının verilmesi, mutfak içerisindeki hava kalitesinin algılanması veya yanıcı gaz algılama gibi durumlar için koklama duyusu kullanılarak karar verilmektedir. Gaz algılama ve sensör teknolojilerindeki gelişme ile birlikte ev içinde mutfakta yukarıda verilen uygulamalarda sensörlerin kullanımı yönünde yoğun araştırmalar yapılmakta, bu hedef uygulamalar için sensörler geliştirilmektedir.

Gaz sensörlerinin buzdolabı ve fırında kullanımı ile ilgili patent araştırması yapılmış ve bu araştırma Bölüm 3'de ele alınmıştır. numaralı araştırma raporunda verilmiştir. Beyaz eşyada gaz sensörü uygulaması olan az sayıda ürün piyasada mevcuttur. Ancak bu alanda Bosch Siemens, Miele, Electrolux gibi büyük beyaz eşya üreticileri ilgili araştırma kurumları ve enstitüler ile gaz sensörü geliştirme ve üretimi yolunda çalışmalar içerisinde olduğu bilinmektedir.

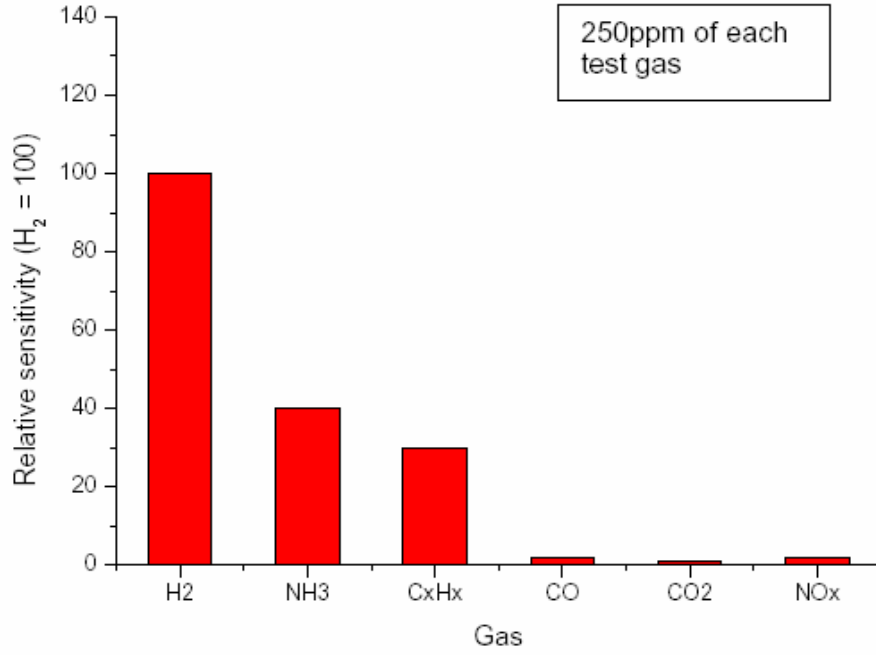
Bu bölümde mevcut gaz algılama tekniklerinin ve gaz sensörü teknolojilerinin incelenmesi, ticari gaz sensörleri ve üreticileri hakkında literatür bilgisinin toparlanması amaçlanmıştır.

### 2.4.1 Temel Kavramlar

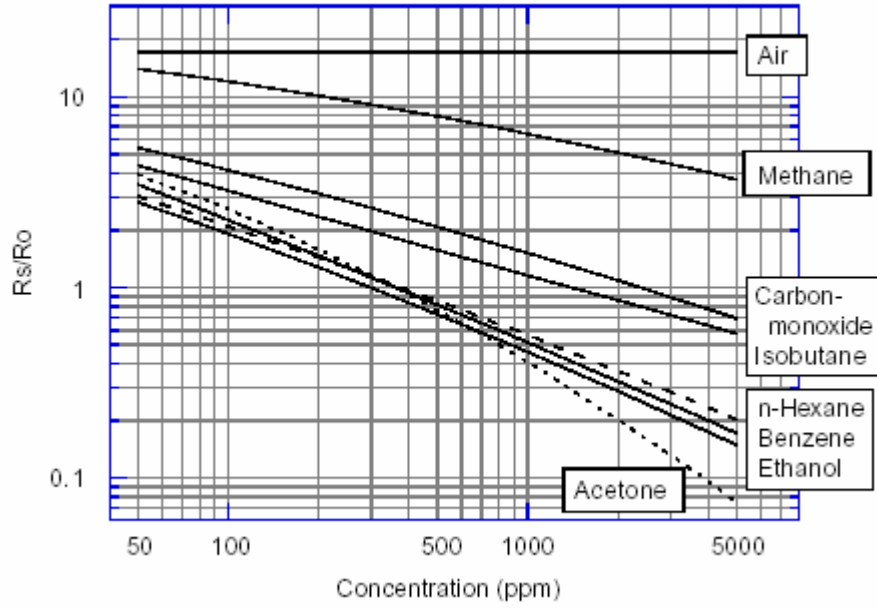
Son yıllarda üretim ve malzeme teknolojilerindeki yeniliklerin sunduğu olanaklarla yüksek hassasiyette, kararlı, seçici ve elektronik açılarından kullanışlı sensörler üretilmiş ve pazarda yer bulmuştur. Gaz sensörleri bu teknoloji gelişimi sürecinde en fazla aşama kaydeden sensörlerden biridir. Günümüzde yanıcı veya zehirli gaz algılama, ev/bina/ofis içi hava kalite kontrolü, yanma algılama/kontrol uygulamaları, pişirme uygulamaları veya yapay burun benzeri hassas koku algılama uygulamalarının gereksinimlerini karşılayan farklı çalışma koşullarına uygun ve farklı tipte gazlara/kokulara duyarlı elektronik devre elemanı olarak kullanışlı gaz sensörleri üretilebilmektedir [3].

Gaz sensörleri çoğunlukla tek bir gaza duyarlı olmayıp, farklı gazlara veya bir gaz gurubuna duyarlıdırlar. Örneğin hidrojen sensörü olarak sunulan bir sensör hidrojene göre daha az olsa da  $\text{NH}_3$  ,  $\text{C}_x\text{H}_x$  gazlarına da duyarlı olabilmektedir. Bu istek dışı hassasiyet çapraz seçicilik (*cross-sensitivity*) olarak isimlendirilmekte; sensörün algılama tipi, üretildiği malzeme ve paketleme filtresi gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişmektedir (Şekil 3.1). Bununla beraber hedefi bir gaz grubu (Hidrokarbonlar, organik çözücüler, yanıcı gazlar gibi...) veya birkaç farklı gazı

algılamak olan sensörler de bulunmaktadır (Şekil 2.24). Bahsedilen sensörlerin “gaz/koku sensörü” olarak isimlendirmeleri buradan kaynaklanmaktadır. Çünkü koku olarak isimlendirilen şey iki veya daha fazla gazın belirli oranlarda karışımlarıdır. Bu karışımlar sensör tarafından ayrıt edilebilecek fiziksel ve/veya kimyasal karakteristik özellikler taşıyabilmektedirler.

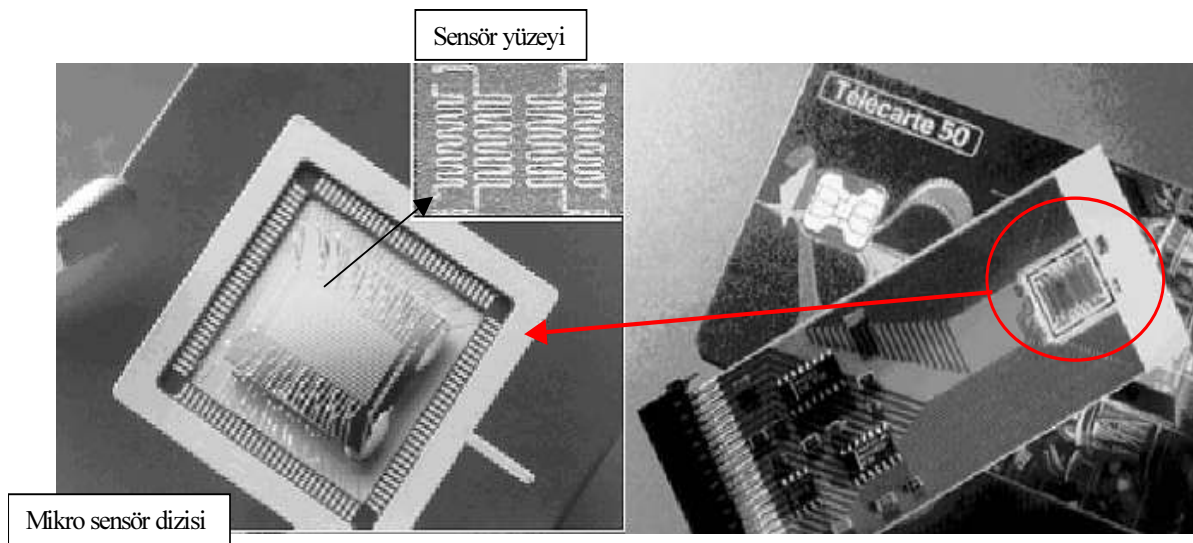


Şekil 2.24 Standart bir hidrojen sensörü; hidrojen ve hidrojen dışındaki bazı gazlara çapraz seçiciliği.

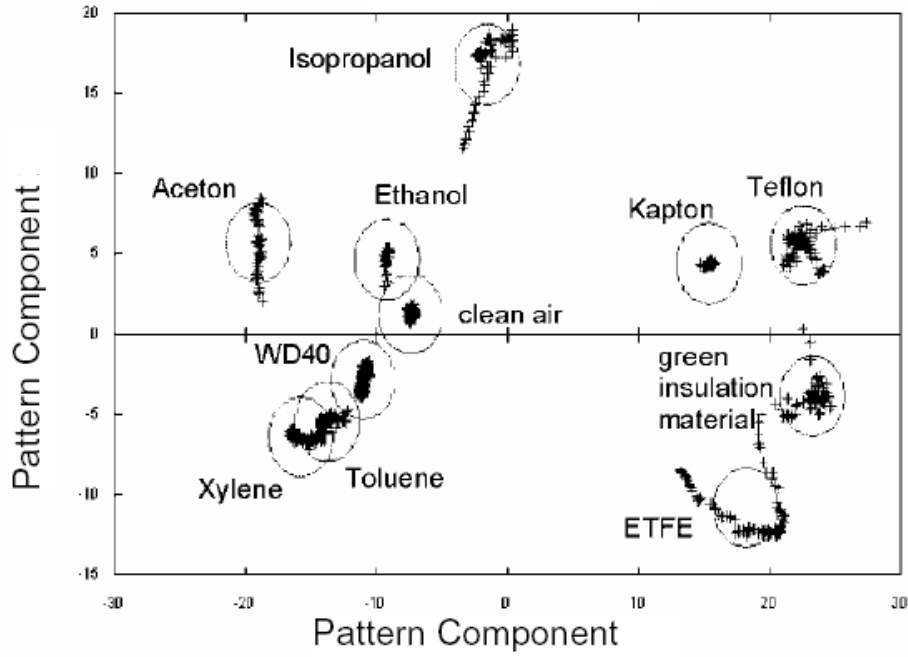


Şekil 2.25 Organik çözücü buharına duyarlı bir gaz sensörünün, bu gruba dahil farklı gazlara ait karakteristikleri.

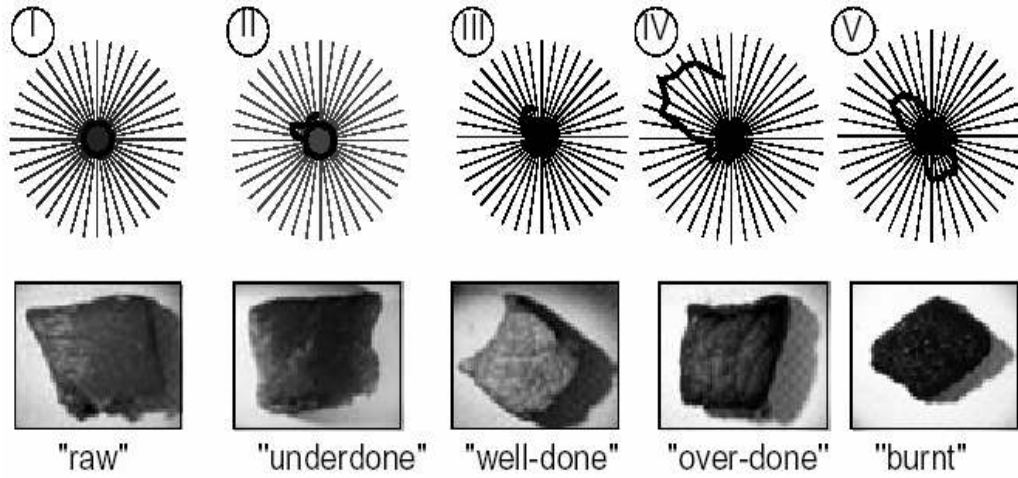
Bunların dışında gaz sensörleri ile birlikte anılan gaz sensörü dizisi veya yapay burun olarak isimlendirilen çok sayıda ve/veya farklı gazlara duyarlı sensörlerin bir arada üretildiği veya kullanıldığı düzenekler bulunmaktadır, (Şekil 2.25). Farklı gaz karışımlarının bu sensör dizisi üzerindeki sensörleri farklı oranlarda uyardıklarına bağlı olarak örüntü tanıma yöntemleriyle koku algılama yapılmaktadır (Şekil 2.26, Şekil 2.27). Bu da sadece *gaz* veya sadece *koku* algılama yerine *gaz/koku algılama* teriminin kullanılmasının bir diğer sebebidir.



Şekil 2.26 Microarray nosechip ve elektronik burun kartı.



Şekil 2.27 Farklı gazlar için sensör dizisinden elde edilen örüntü.



Şekil 2.28 Farklı oranlarda kızartılmış et parçalarına ait sensör dizisi cevapları.

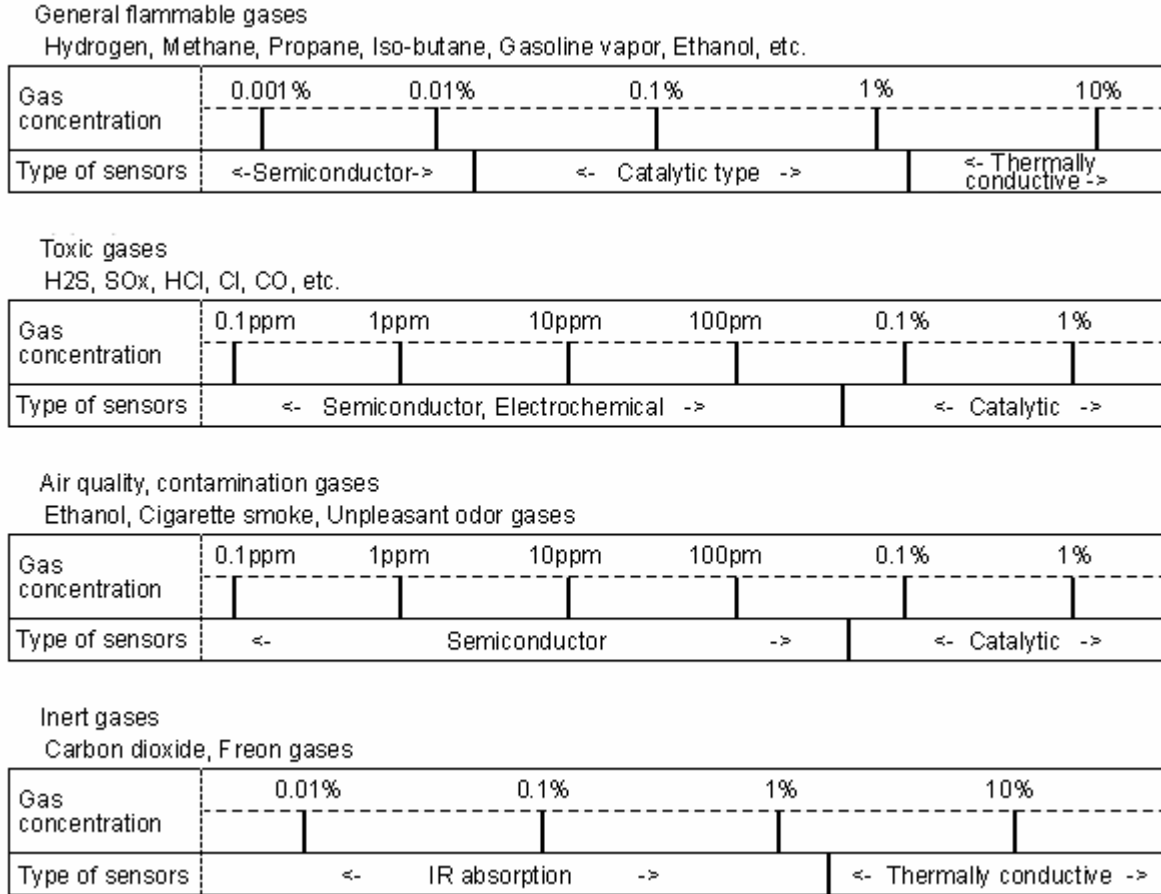
Endüstriyel ortamlar, otomobiller, ev aletleri, gaz güvenlik enstrümanları, havalandırma üniteleri, biyomedikal cihazlar gibi çok çeşitli ortamlarda çeşitli amaçlarla kullanılan gaz sensörlerinin farklı hedef gazları algılamaları, farklı hedef konsantrasyonlarda ve farklı sıcaklık, nem oranı gibi ortam koşullarına dayanıklı olmaları beklenmektedir. Buna paralel olarak gaz sensörlerinde kullanılan etkileşim mekanizmaları, üretim teknolojileri ve malzemeleri çeşitlilik göstermektedir. Çizelge 2.4'den gaz sensörü tipleri ve bir sonraki bölümde de ayrıntıları görülebilir.

Çizelge 2.4 Gaz sensörlerinin çalışma prensipleri.

| Algılama İlkesi | Çalışma Mekanizması                                                                                                                                                                                         |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elektrokimyasal | Sensör içindeki elektrolite yayılan gaz konsantrasyonuna bağlı olarak, sensör iletkenliğinin değişmesi                                                                                                      |
| Spektroskopik   | Havanın içerdiği gaza bağlı olarak değişen elektromanyetik soğurma karakterinin algılanması                                                                                                                 |
| Yarı İletken    | <i>FET, MOS, Thin Film, MMOS</i> gibi yarıiletken teknolojileri ile üretilmiş gaza duyarlı rezistörler ve transistörler                                                                                     |
| Piezoelektrik   | Gazla etkileşen piezoelektrik malzemenin gaz konsantrasyonuna bağlı rezonans frekansı değişiminin ölçülmesi                                                                                                 |
| Optik           | Fotonik band geçiren özelliğine sahip belirli bir kızılötesi bandını geçiren malzeme ve altında bulunan MEMS tabanlı <i>Micro-bridge</i> kızılötesi kaynak ile havanın kızılötesi geçirgenliğinin ölçülmesi |
| Isıl İletkenlik | Havanın içerdiği gaz türü ve konsantrasyonuna bağlı olan ısı iletkenliğinin izole edilmiş ve ortamla temas eden ısıl dirençlerden yayılan ısı farkı yoluyla ölçülmesi.                                      |
| Katalitik       | Isıtıldığında hedef gazla reaksiyon veren bir metalden, reaksiyon sonucu ortaya çıkan ısıнын algılanması                                                                                                    |

#### 2.4.2 Gaz Sensörü Çeşitleri ve Yapıları

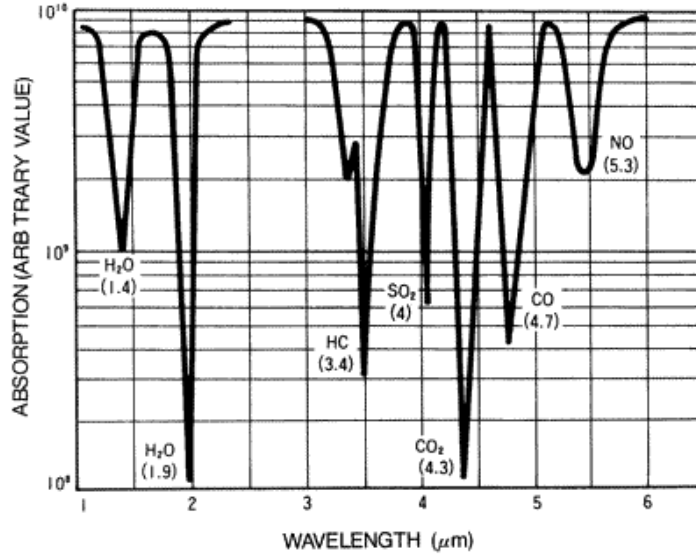
Günümüzde mevcut gaz sensörü teknolojileri kullanılarak, genel olarak farklı gaz gruplarının hangi tip sensörlerle algılandığı Şekil 2.29’ de verilmiştir [9].



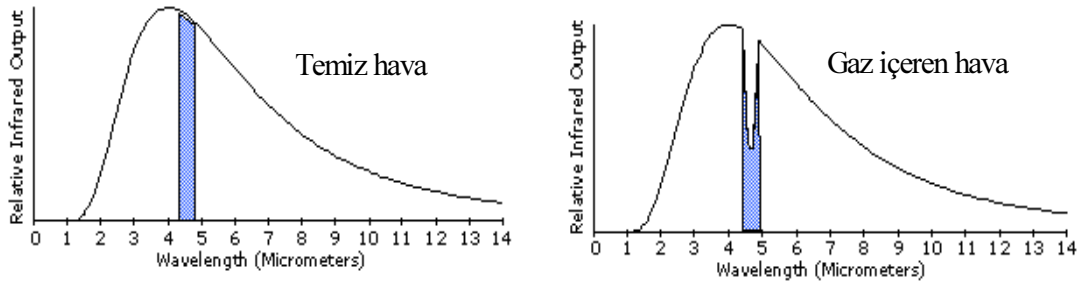
Şekil 2.29 Sensörlerin gaz grupları ve uygulamalara bağlı olarak kullanımı.

### 2.4.3 Spektroskopik Gaz Sensörleri

Havanın çeşitli gazları çeşitli oranlarda bulundurmasıyla kızıl ötesi, görünür ve morötesi geçirgenliği değişmektedir. Standart olarak algılanmak istenen, sıklıkla karşılaşılan gazların çoğu farklı dalga boyundaki kızıl ötesi ışığı soğurular (Şekil 2.30). Bu karakteristik soğurma ilgilenilen ortamın havası içerisinde geçirilen kızıl ötesi ışığın zayıflayan bileşenlerinin ve zayıflama miktarının ölçülmesiyle ortamın gaz içeriğinin kolayca belirlenmesine olanak vermektedir. Ayrıca sadece uygun bantta kızıl ötesi radyasyon yayınlanarak veya filtreleme ile hedef gaz özelleştirilebilmektedir (Şekil 2.31).

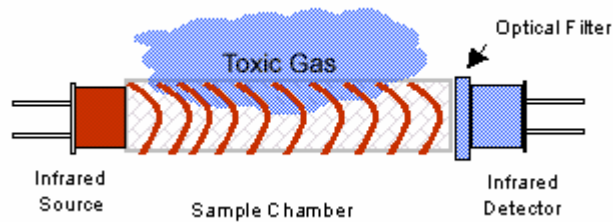


Şekil 2.30 Farklı gazların kızılötesi ışınımı soğurma karakteristikleri.

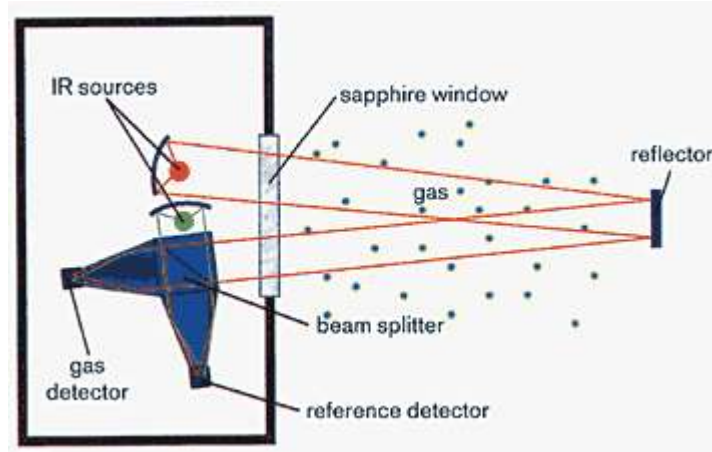


Şekil 2.31 Hedefi CO<sub>2</sub> ve CO gazları olan bir sensörün gazla etkileşimi.

Kızıl ötesi sensörlerin temel elemanları kızıl ötesi radyasyon kaynağı ve kızıl ötesi alıcılardır. Bunlar ilgilenilen ortamda ayrı olarak veya tümleşik bir sensör yapısı içerisinde karşılıklı veya yan yana yerleştirilebilirler (Şekil 2.32). Karşılıklı yerleştirme durumunda yansıtıcı bir elemanın daha sensöre dahil edilmesi gerekmektedir. Algılama yeteneklerini geliştirmek, kompensasyon yapmak için referans kaynağı ve alıcısı eklenen sensörler de bulunmaktadır. (Şekil 2.33)



Şekil 2.32 Kaynak ve alıcısı karşılıklı yerleştirilmiş IR gaz sensörü.

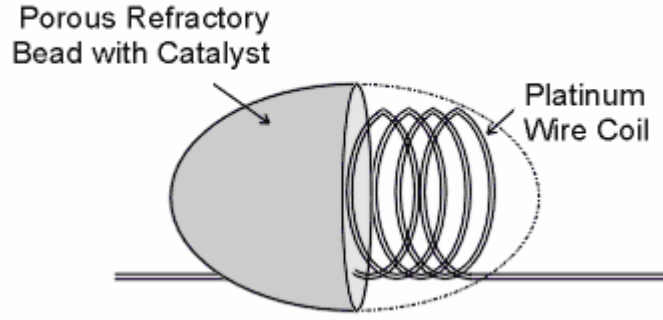


Şekil 2.33 Referans elemanları ile kompanzasyona imkan veren kaynak ve alıcı ile vericinin algılama ortamının aynı tarafında olduğu kızılötesi gaz sensörü yapısı.

Spektroskopik sensörler spesifik bir gazı seçebilmeleri, kalibrasyon ihtiyaçlarının diğer sensörlere oranla az olması, gaz algılama yapılan ortam içerisinde hiçbir elektrik kontağı bulundurmamaları ve gaz konsantrasyonu değişimlerinin gerçek zamanlı olarak takip etmeye izin vermeleri gibi özellikleri ile tercih edilebilirler. Ancak kızılötesi sensörler dipol momentleri olmayan  $O_2$ ,  $N_2$  gibi simetrik molekül yapısına sahip gazları algılayamamaktadırlar. Bunun dışında pahalı olmaları, su buharından etkilenmeleri, toz ve yağ gibi kirleticilerin optik elemanların çalışmasını etkileyebilmeleri bu tip sensörlerin zayıf yönleridir.

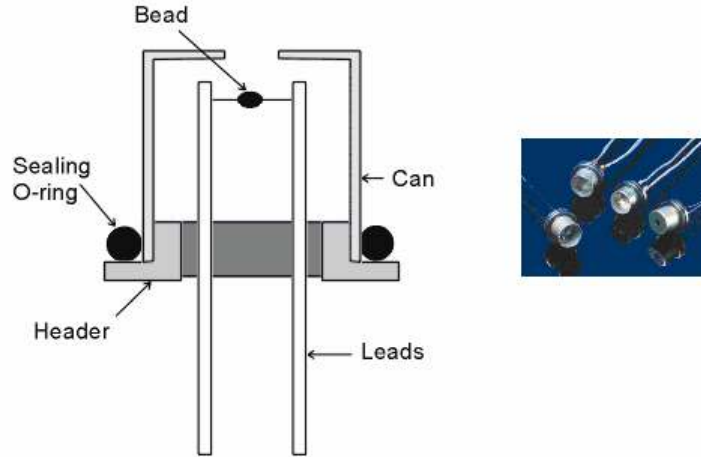
#### 2.4.4 Katalitik Gaz Sensörleri

Katalitik gaz sensörleri yanıcı gazları algılamak üzere kullanılırlar. Yüksek sıcaklıklarda algılanmak istenen gazla katalitik reaksiyon verecek bir malzemeyle kaplanmış; bunun içine yerleştirilmiş sıcaklıkla direnci değişen bobinden oluşan ve *pellistor* adı verilen elemanlar katalitik sensörlerin temel bileşenidir (Şekil 2.34). Dayanıklı kabuk malzemenin içine yerleştirilmiş bulunan bobin iki amaca hizmet etmektedir: Algılamanın başında kabuk malzemenin hedef gazla katalitik reaksiyona gireceği sıcaklığa ( $450\sim 550^\circ C$ ) ulaştırılması aşamasında ısıtıcı görevi görürken; gazın oksidasyonu ile açığa çıkan ısı ve buna bağlı sıcaklık değişimine direnç değişimi ile tepki vererek algılayıcı eleman görevini de yerine getirmektedir.

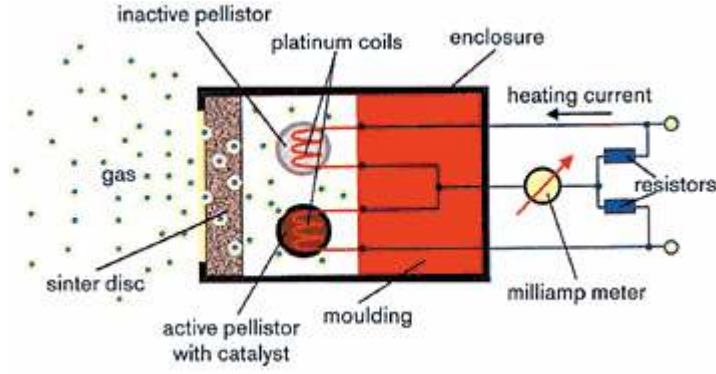


Şekil 2.34 Pellistor yapısı.

Katalitik gaz sensörleri çoğunlukla iki pellistor ve dirençlerden kurulu Wheatstone köprüsü biçiminde olmaktadır. Bu pellistorler aynı paket içerisinde üretildiği gibi ayrı ayrı da kullanılabilirler (Şekil 2.35). İki pellistorlu sensörlerde kullanılan pellistorlerden biri katalist (*catalyst*-katalitik malzeme) içermez. Katalitik malzeme ile temas halinde olan pellistor aktive olarak ısıya maruz kalmaya başladığında, diğer pellistor referans için kullanılır (Şekil 2.36). DC olarak beslenen köprünün akımı, aktif pellistorun direnci ile yani ortamda bulunan gaz konsantrasyonuna bağlı olarak meydana gelen oksidasyon yoğunluğu ile orantılı olarak değişmektedir.



Şekil 2.35 Tek pellistorlu bir katalitik gaz sensörünün yapısı ve dış görünüşü.



Şekil 2.36 Tipik katalitik gaz sensörü yapısı.

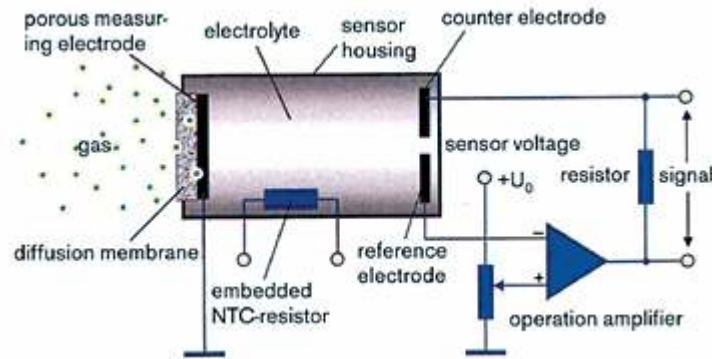
Katalitik gaz sensörlerinin avantajları küçük boyutları, yüksek sıcaklıklarda çalışabilmeleri, mekanik etkilere dayanıklı olmaları, sadece hedef olan yanıcı gazlara duyarlı olmaları, pahalı olmamaları ve görece uzun ömürleri (2~4 yıl) olarak sıralanabilir. Ayrıca yanıcı gazlar için önemli bir değer olan %LEL (*Lower Explosive Limit*-Patlama Alt Sınırı) civarında sağlıklı olarak çalışabilmektedirler. Ancak katalitik sensörler bazı gazlara maruz kaldıklarında zehirlenebilmektedirler. Zehirlenme sensör literatüründe sensör ve söz konusu uyarının(gazın) geri dönülemez biçimde etkileşime girmesidir. Zehirlenme katalitik sensörler için  $H_2S$ , halojene hidrokarbonlar, metallo-organikler gibi gazların katalist malzeme tarafından soğurulması ve pellistorun yanıcı gazlara hassasiyetinin azalması veya tamamen yok olması biçiminde gerçekleşir.

Katalitik gaz sensörleri çoğunlukla kapalı ortamlarda yanıcı parlayıcı gazların algılanmasında, kazanlar, tüpler gibi ortamlarda çeşitli gaz kaçaqlarını algılama uygulamalarında kullanılmaktadır. Özellikle konsantrasyon verisinden çok her hangi bir kaçak durumunun algılanmasında verimli olmaktadır.

#### 2.4.5 Elektrokimyasal Gaz Sensörleri

Elektro kimyasal gaz sensörleri küçük yakıt hücreleridir. Sensör kabini içerisinde iki aktif elektrot ve elektrolit bulunmaktadır. Elektrolit çoğunlukla jel olmakla beraber sıvı ve katı elektrolitli modellerde bulunmaktadır. Elektrotlardan biri çalışma elektrotu (anot) veya referans elektrotu, diğeri de sayıcı elektrot (*counter electrode*) (katot) olarak isimlendirilir. Sensör kılıfının üst tarafında ilgilenilen gazın sensörün içine girmesine ve elektrolite yayılmasına izin veren bir hidrofobik (*hydrophobic*-su geçirmez) membran bulunur. Bazı gelişmiş elektro kimyasal sensör modellerinde elektrolit içersindeki potansiyel dağılımını düzgün kılmak için membran yakınlarna üçüncü bir elektrot daha ve sıcaklık kompanzasyonu için elektrolit içine

bir sıcaklı algılama elemanı yerleştirilmektedir (Şekil 2.37).



Şekil 2.37 Elektro kimyasal gaz sensörü yapısı ve ölçme prensibi.

Elektro kimyasal gaz sensörlerinin çalışma prensibi, jel elektrolit içine yayılım yoluyla giren gaz atomlarının kimyasal özelliklerine bağlı olarak elektrolit iyonlarını indirgemesi veya okside etmesi (yükseltgemesi) sonucu oluşan potansiyel fark sonucu pozitif yüklü iyonların katoda, negatif yüklü iyonların anoda doğru akmasıyla sensörün elektrotları arasında oluşan akımın/gerilimin ölçülmesi biçimindedir. Oksijen, nitrojen oksit, klor gibi oksidan (oksitleyici, indirgen, *reducible*) gazlar için katottan, karbon monoksit, nitrojen dioksit ve hidrojen sülfid gibi indirgeyici (oksitlenebilir, *oxidizable*, *reducing*) gazlar için anottan çıkış alınmaktadır.

Elektro kimyasal gaz sensörleri hedef gazlarının spesifik olması, yüksek hassasiyetleri, hedef dışı gazlardan zehirlenmemeleri ve ppm (piece per million) seviyelerinde algılama yapabilmeleri nedeniyle kullanılmaktadırlar. Kullanım alanları aşındırıcı (*corrosive*) ve zehirli gazlara maruz kalan sistemlerdir. Ayrıca egzoz gazı ölçüm cihazı gibi taşınabilir cihazlarda kullanılmaktadırlar.

Elektro kimyasal sensörlerin yapısal dezavantajları fazladır. Kısa ömürlü olmaları, ancak belirli zaman aralıkları ile ölçüm almaya imkan vermeleri ve çalışma sıcaklıklarının sınırlı olması, bazı gazlardan etkilenmeleri çok kuru ve sıcak ortamlarda ömürlerinin kısılması gibi nedenlerle çok yaygın değildirler.

#### 2.4.6 Isıl İletkenlik Gaz Sensörleri

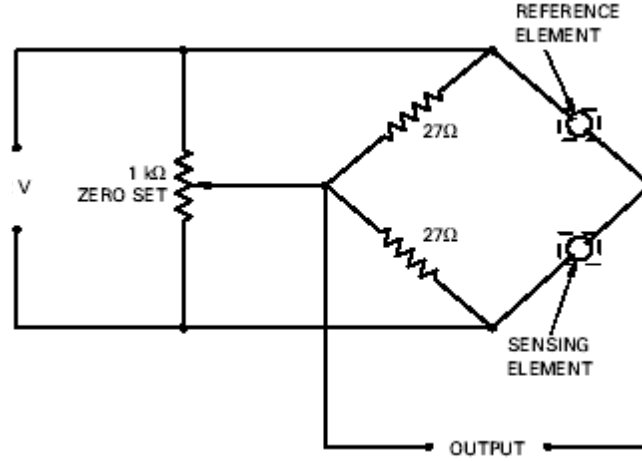
Isıl iletkenlik gaz sensörleri, biri ilgilenilen ortamdan yalıtılmış iki eş termorezistörler aracılığı ile ortama yayılan ısı farkının ölçülerek havanın içerdiği gazların algılanması prensibi ile

çalışır. Bir gaz karışımının ısı iletkenliği, karışımın sıcaklığının ve karışımı oluşturan gazların karakteristik ısı iletkenliklerinin fonksiyonudur (Tablo 2.5). Isı iletkenlik gaz sensörlerinin iki özdeş sıcaklık bağımlı direncinden biri referans olarak kullanılmak üzere standart bir gaz karışımı içinde olacak şekilde izole ortamdan izoledir. Diğer rezistör ısı iletkenliği ölçülecek ortamın atmosferi ile temas halinde olacak şekilde konumlandırılmıştır. Sensör, iki elemanı bu rezistörler olan bir Wheatstone köprüsüdür (Şekil 2.38).

Çizelge 2.5 Farklı sıcaklıklarda gazların ısı iletkenlikleri ( havaya göre ).

| Element temperature | 0 °C  | 100 °C | 200 °C | 300 °C | 400 °C | 500 °C | 600 °C |
|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Air                 | 1.000 | 1.000  | 1.000  | 1.000  | 1.000  | 1.000  | 1.000  |
| Nitrogen            | 0.996 | 0.993  | 0.997  | 0.999  | 0.998  | 0.994  | 0.988  |
| Oxygen              | 0.987 | 1.026  | 1.049  | 1.062  | 1.065  | 1.062  | 1.056  |
| Argon               | 0.686 | 0.687  | 0.682  | 0.674  | 0.663  | 0.650  | 0.636  |
| Carbon dioxide      | 0.621 | 0.745  | 0.832  | 0.893  | 0.933  | 0.959  | 0.975  |
| Water vapour        | 0.969 | 1.076  | 1.192  | 1.303  | 1.404  | 1.493  | 1.574  |
| Methane             | 1.244 | 1.500  | 1.723  | 1.911  | 2.066  | 2.192  | 2.296  |
| Ethane              | 0.742 | 1.027  | 1.271  | 1.474  | 1.638  | 1.769  | 1.874  |
| Propane             | 0.619 | 0.874  | 1.092  | 1.271  | 1.415  | 1.529  | 1.619  |
| Carbon monoxide     | 0.961 | 0.962  | 0.970  | 0.975  | 0.976  | 0.974  | 0.970  |
| Ethylene            | 0.703 | 0.970  | 1.195  | 1.378  | 1.524  | 1.637  | 1.727  |
| Acetylene           | 0.886 | 1.040  | 1.155  | 1.240  | 1.301  | 1.344  | 1.376  |
| Hydrogen            | 7.371 | 6.918  | 6.692  | 6.548  | 6.435  | 6.336  | 6.252  |
| Helium              | 5.972 | 5.681  | 5.492  | 5.338  | 5.197  | 5.062  | 4.939  |
| Ammonia             | 1.082 | 1.295  | 1.493  | 1.670  | 1.824  | 1.955  | 2.069  |

Ölçüm yapılan ortamın ısı iletkenliği, referans gazın (havanın) ısı iletkenliğinden büyük veya küçük olduğunda; algılama direncinden (ortamla temas eden eleman) yayılan ısı miktarı, referans rezistöründen yayılandan farklı olacağından; algılama direncinin sıcaklığı ve buna bağılı olarak da direnci değışecektir. Bu direnç farkının meydana getirdiği köprü akımı/gerilimi ölçülerek ısı iletkenlik algılanmış olur. Başarılı bir ölçüm için referans ve algılama elemanlarının çalışma sıcaklığı tipik olarak 500<sup>0</sup>C civarında tutulur. Bu sıcaklığı sağlamak üzere köprü üretici tarafından belirlenen şekilde çoğunlukla da DC gerilimle beslenir.



Şekil 2.38 Isıl iletkenlik gaz sensörü yapısı.

Isıl iletkenlik sensörleri farklı gazları/kokuları ayırt etmeye uygun değildir. Çünkü farklı gazların farklı oranlarda bir araya gelmesiyle meydana gelen ısıl iletkenlik %1'den fazla değişmemektedir. Ancak gazın/karışımın içeriğinden bağımsız olarak konsantrasyon algılamada başarılıdırlar.

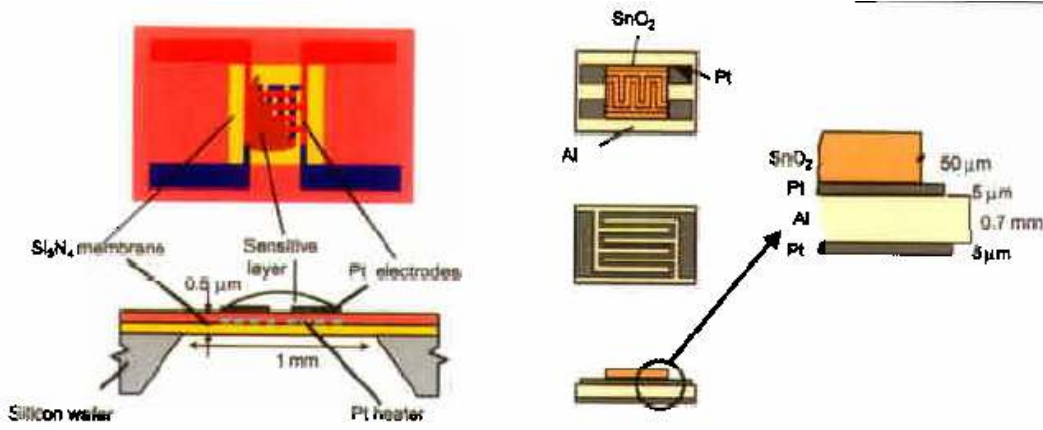
#### 2.4.7 Yarıiletken Gaz Sensörleri

Yarı iletken teknolojisi ile gelen küçük boyutlar, mekanik etkilere dayanıklılık, görece düşük maliyet ve güç tüketimi gibi elektronik tasarım açısından önemli parametreler sensör üreticilerini yarı iletken sensör tasarımlarına ve üretimine yönlendirmektedir. Yarı iletken sensörlerin üretiminde kullanılan üretim tekniği sensörlerin isimlendirilmesinde kullanılmaktadır. Örneğin yapısında ince film oksit bulunan sensörler *MOS (Metal Oxide Semiconductor)* veya *Thin Film Sensor* olarak bilinmektedir. Ancak sonuçta yarı iletken olarak veya herhangi bir yarı iletken üretim metodunun ismi ile anılan bir sensör ile karşılaşıldığında genel olarak MOS sensörler, FET (*Field Effect Transistor*), MMOS (*Mixed MOS*) ve Thin Film gibi çeşitli üretim teknikleri ile gerçekleştirilmiş sensörler akla gelmelidir. Bu bölümde yarı iletken sensörler MOS ve FE olarak iki gruba ayrılarak tanıtılmıştır.

##### 2.4.7.1 MOS (Metal Oksit) Yarıiletken Sensörler

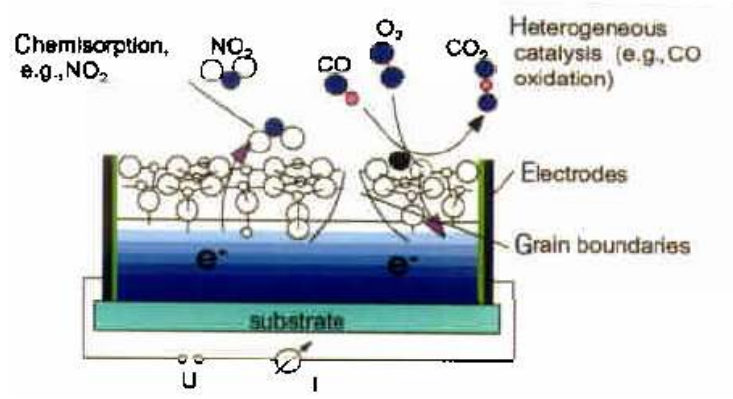
Metal oksit yarı iletken gaz sensörleri silikon, seramik veya alüminyum taban üzerinde çoğunlukla platin bir ısıtıcı ile birlikte üretilmiş gazlarla teması halinde iletkenliği değişen metal oksit film tabakadan oluşurlar (Şekil 2.39). Platin ısıtıcı sensör çipinin sıcaklığını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Farklı metal oksitler, farklı sıcaklıklarda farklı gazlara duyarlı hale

gelmektedirler. Hedef gazları çok özel olamasa da farklı MOS sensörler ile *amonyak*, *bütan*, *metan*, *monoksit*, *klor*, *etilen*, *hidrojen*, *hidrojen sülfid*, *ozon*, *sülfü dioksit*, *LPG* gibi farklı gazları algılayabilmektedirler.

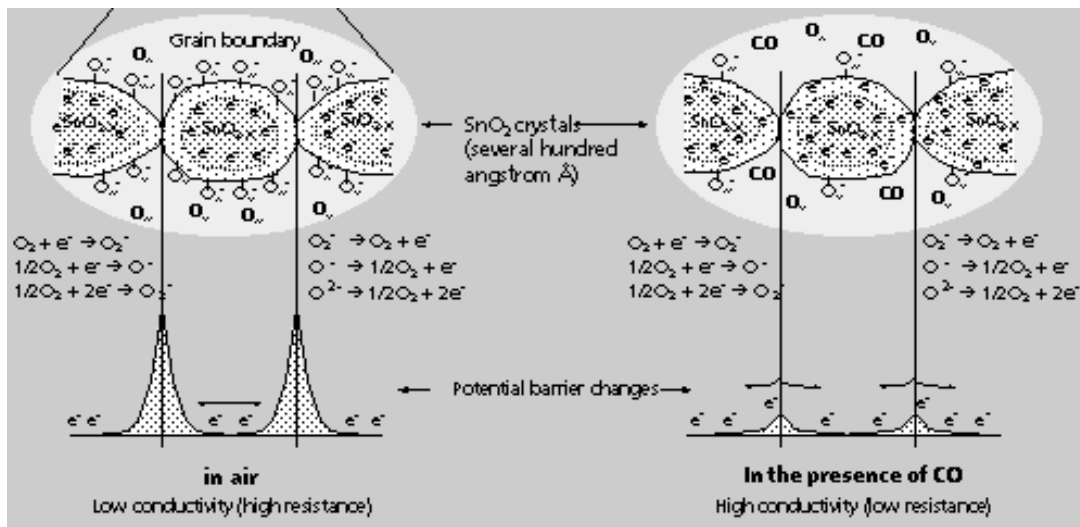


Şekil 2.39 Tipik MOS gaz sensörü yapısı.

Yarıiletken metal oksit malzemeler ile gaz molekülleri arasındaki elektriksel etkileşim nedeniyle, metal oksitler yüksek sıcaklıklara ısıtıldıklarında gazlara duyarlı rezistörler olarak davranmaya başlar. Havada bulunan oksijen molekülleri oksit yüzeyine adsorbe olurlar. (Adsorpsiyon, bir akışkanın (gaz veya sıvı), katı bir yüzeyle temas ettiğinde, moleküller arası kuvvetlerin etkisiyle yüzeye üzerine yapışmasıdır. Şekil 2.40) Bu oksijen atomları oksit yüzeyinde elektronlar ve delikler gibi yük taşıyıcı olarak davranarak iletimi domine ederler. Yüzeydeki oksijen konsantrasyonu değişimleri ölçülebilir şekilde iletkenliği etkiler. (Şekil 2.41) Gaz algılaması yapılan atmosfer içerisinde bulunan gazların miktarlarına ve oksijen alma-verme isteğine bağlı olarak değişen metal oksit yüzeyi oksijen yoğunluğu direnç değişimi olarak ölçülür. Bu sayede CO, HC, H<sub>2</sub>S oksijen bağlayan gazlar (indirgeyici) ppm seviyelerinde O<sub>3</sub> benzeri kuvvetli oksidanlar ppb seviyelerinde algılanabilmektedir.



Şekil 2.40 Adsorpsiyon ve kemisorpsiyon

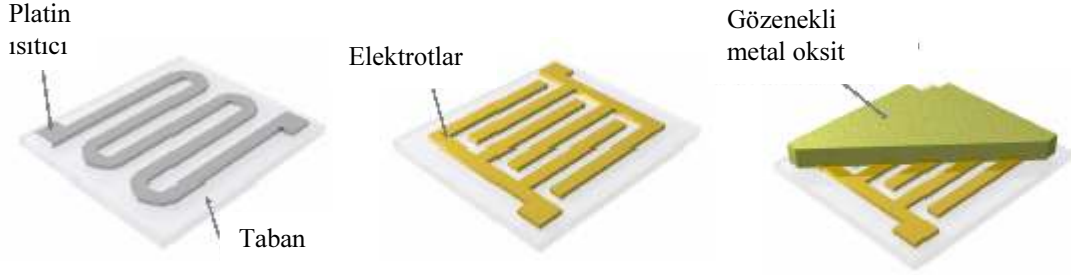


Şekil 2.41 Metal oksit yüzeyinde karbon monoksit soğurumuna bağlı iletkenlik değişimi.

Hemen hemen tüm metal oksitler yeterli yüzey alanına sahip olacak şekilde gözenekli ve geçirgen olarak üretilirlerse gaz sensörlerinde kullanılabilirler. Farklı oksitlerin farklı gazlara tepkileri yakın olmakla beraber, sensörün davranışı etkileşime girdiği gazın ve oksidin kimyasal karakterine, gözenek yapısına ve geometrisine bağlıdır. Bu parametreler hedef gazlara uygun olarak belirlenmektedir.

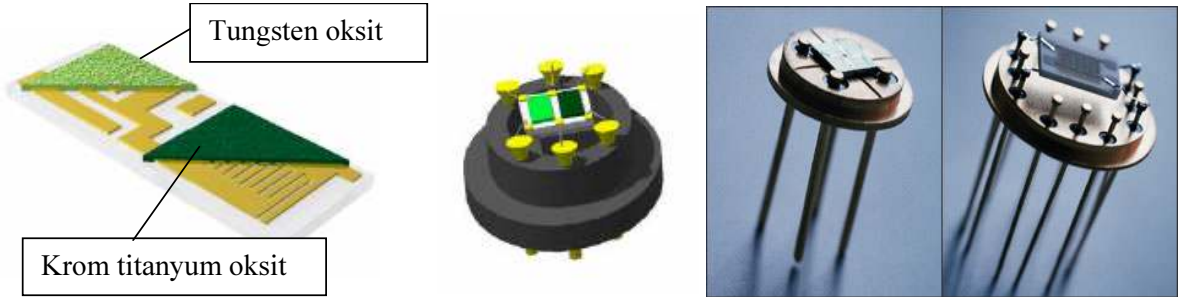
Sensör direncinin gaza bağlı olarak değişimi, metal oksit yüzeyinde kemisorpsiyonun (gazın oksitle etkileşime girmesi, kimyasal kuvvetlerin etkili olmaya başlaması, soğurulan moleküllerin taşıyıcısı yoğunluklarını arttırması) gerçekleşebileceği sıcaklıkta başlaması ve hedef gazın kısmi basıncı gibi bazı termodinamik faktörlere de bağlıdır. Bu termodinamik açıdan uygun koşulların oluşması için MOS gaz sensörlerinin verimli çalışma sıcaklıkları 200 °C –600 °C arasında verilmektedir. Bu nedenle bütün MOS sensörleri bir platin ısıtıcı ile

beraber üretilmektedir (Şekil 2.42).



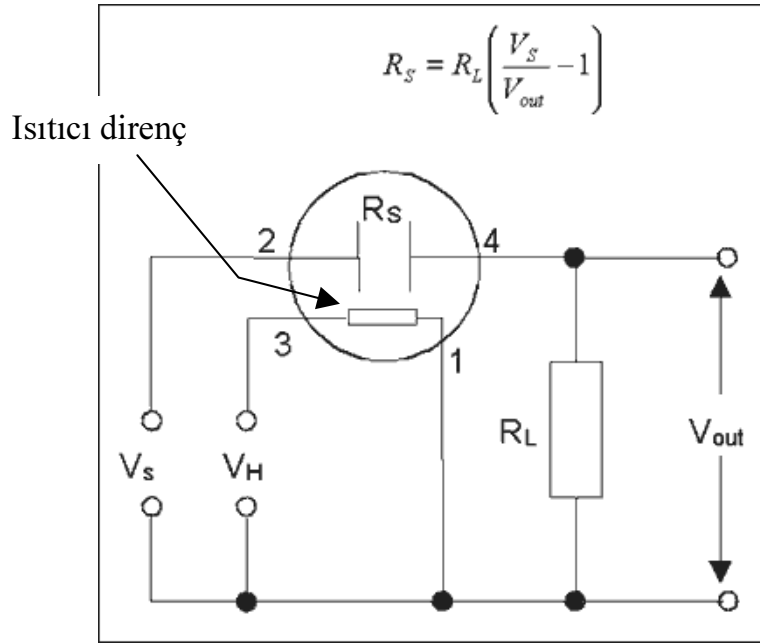
Şekil 2.42 MOS sensör katmanları.

İnce film tabaka olarak  $\text{SnO}_2$  genel amaçlı kullanılırken, karbon monoksit, amonyak, hidrokarbonlar, hidrojen sülfid, sülfür dioksit gibi indirgeyiciler için krom titanyum oksit ( $\text{Cr}_2\text{-}_x\text{Ti}_x\text{O}_3$ ) ,  $\text{O}_3$  (ozon), nitrojen oksit, klor gibi oksidanlar için tungsten oksit ( $\text{WO}_3$ ) tercih edilmektedir. Neme karşı daha dayanıklılığı ve kararlılığı yükselten  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaSnO}_3$  gibi yeni malzemeler içeren modellerde geliştirilmektedir. Ayrıca aynı taban üzerinde iki farklı oksit kullanılan farklı gazlara hassas sensörler de bulunmaktadır (Şekil 2.43).



Şekil 2.43 Çift sensör yapısı ve çipin kılıf içinde yerleşimi.

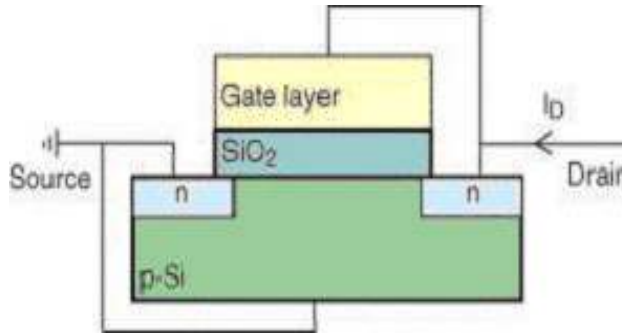
Gaz konsantrasyonu değişimine direnç değişimi ile tepki veren yarı iletken sensörler için tipik algılama devresi Şekil 2.44'de verilmiştir. Isıtıcı direnç elemanı uygun çip sıcaklığı elde edilecek şekilde beslenir. Algılama direncini ( $R_s$ ) besleyen gerilim ve yük direnci ( $R_L$ ) kullanım amacına ve sensör modeline uygun seçilerek aşağıda görülen basit devre ile ölçüm yapılabilir.



Şekil 2.44 MOS sensörlü gaz algılama devresi.

#### 2.4.7.2 FE (Alan Etkili) Sensörler

FE (*Field Effect*-Alan Etkili) yarı iletken gaz sensörlerinin teknolojisi FET 'e (alan etkili transistör) dayanmaktadır. Gaz algılama, FET üzerine entegre katalitik metalle gazın etkileşimi yoluyla FET'in çalışma durumunun değişmesi üzerinden yapılmaktadır. FET'in gate kontağındaki gaz konsantrasyonuna bağlı yük değişimi, transistörün gate-source gerilimini ve bu şekilde drain-source sinyal akımını modüle etmektedir (Şekil 2.45).



Şekil 2.45 FE (Alan etkili) sensör yapısı.

Alan etkili sensörlerin çalışma mantığı gaz ve katalitik gate metali arasında etkileşimin gate kontağı üzerinde bir gerilim indüklemesine dayanır. Çalışma sıcaklığı, katalitik metalin yapısı ve geometrisi bu indüksiyonu, algılanmak istenen gaz türünü ve sensörün hassasiyetini seçecek şekilde değiştirmektedir. Çalışma sıcaklığı silisyum tabanlı FE sensörlerde  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

arasında, silisyum karbür tabanlı olanlar da ise 200 °C -600 °C arsındadır.

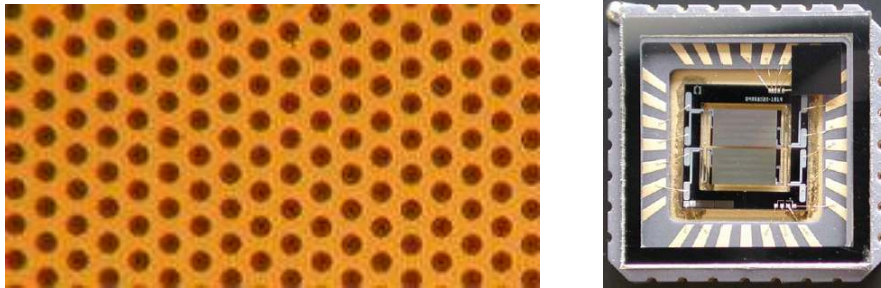
FE sensörler sabit akım veya sabit gerilim modlarında çalıştırılabilmekte; gaz konsantrasyonu değişimi sabit akım modunda gerilim değişimi olarak, sabit gerilim modunda akım değişimi olarak ölçülmektedir.

Yüksek sıcaklıklarda FE sensörlerin cevap süreleri milisaniyeler mertebesinde olabilmektedir. FE sensörler özellikle hidrojen algılama için kullanılmaktadır. Neme karşı dirençlidirler. Çapraz seçicilikleri düşüktür. Yarı iletken teknolojisi ile üretildiklerinden yüksek hacimli üretimlerde fiyatları oldukça düşmektedir. Korosif ortamlara dayanıklıdırlar. Küçük boyutları, düşük ağırlıkları ve farklı uygulamalara özel paket çeşitlikleri diğer pozitif özellikleridir.

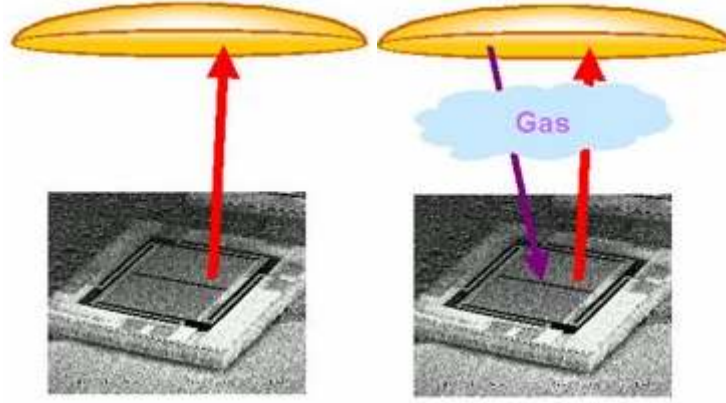
#### 2.4.8 Optik Gaz Sensörleri

Optik (kızıl ötesi) geçirgenliğin gaz konsantrasyonu ile değişiminin algılanması mantığı ile çalışan MEMS teknolojisi ile üretilmiş veya VCSELs (Vertical Cavity Surface Emitting Lasers) ismi verilen yarı iletken lazer kaynakları kullanılarak gerçekleştirilen sensörlerdir.

Optik algılama yapan bir MEMS sensörün yapısı üreticisi tarafından şöyle verilmektedir: PBG (*Photonic Bandgap*- Fotonik Band Genişliği) olarak isimlendirilen teknolojiyle üretilen belirli dalga boyunu geçirecek şekilde üretilen filtre malzemesi ile ilgilenilen gaza uygun dalga boyu seçilir. Bu katman altında dar bir bantta kızılötesi radyasyon yayabilen ve soğurma özelliği olan elemanlardan kurulu bir *micro-bridge* tarafından algılama yapılmaktadır. Algılayıcı katman üzerindeki PBG katmanı gözenekli bir yapıya sahiptir (Şekil 2.46). Bu gözenekler içine giren gaz molekülleri *micro-bridge* tarafından yayılan kızıl ötesi ışınların geri yansımaları yoluyla silikon *micro-bridge* elemanlarının sıcaklıklarının artmasına ve elektriksel dirençlerinin değişmesine yol açmaktadırlar (Şekil 2.47).

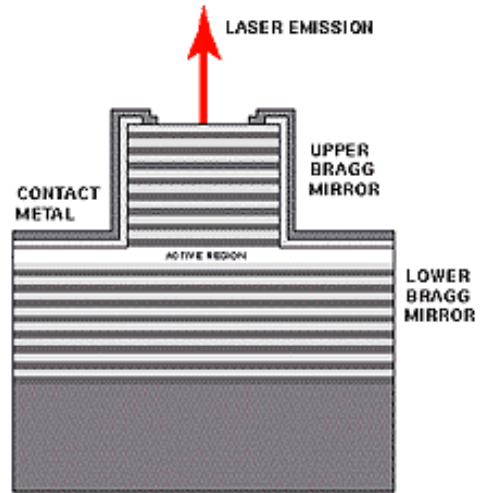
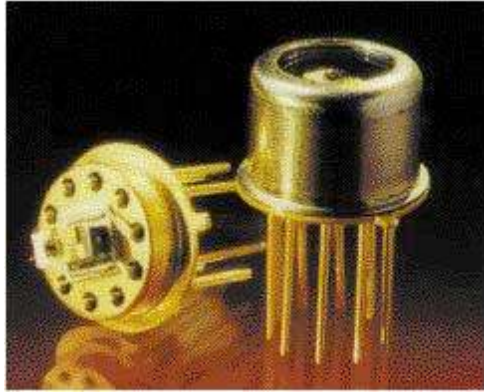


Şekil 2.46 PBG malzeme yüzeyi ve MEMS teknolojisi ile üretilmiş optik bir sensörün görünümü.

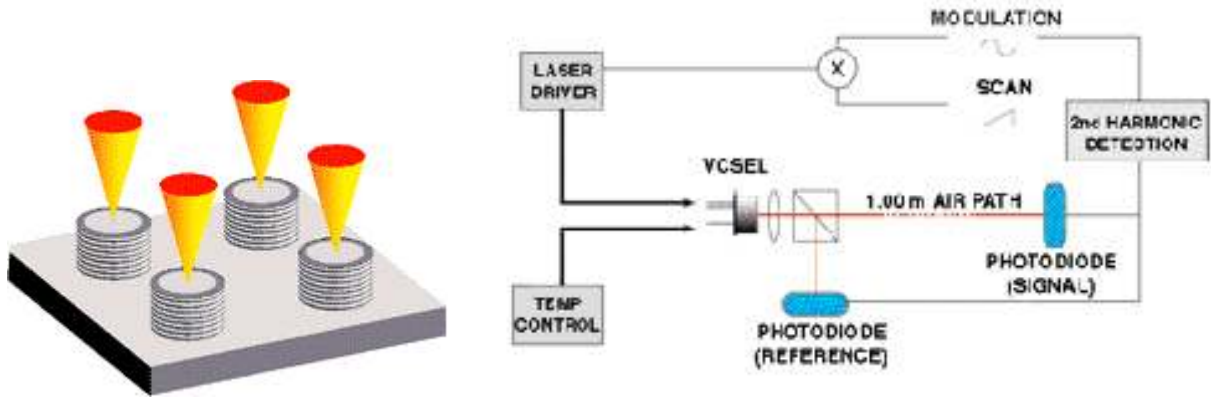


Şekil 2.47 Gaz ile ortaya çıkan kızılötesi yansıtma.

VCSEL olarak isimlendirilen yarıiletken lazer kaynakları (Şekil 2.48) ile gerçekleştirilen optik gaz algılama sistemi 762 nm dalga boyulu elektro manyetik dalgaları soğuran  $O_2$  gazını algılamak üzere geliştirilmiştir. Sistem 750-950 nm arasında dalga boyuna sahip ışınlar yayan lazer kaynaklarının bir boyutlu veya iki boyutlu dizileri, bunların karşısına yerleştirilmiş ve oluşan yansıma soğurmayı ölçen sinyal işleme donanımından meydana gelmektedir (Şekil 2.49). Kullanılan ışığın dalga boyu değiştirilerek algılanan gaz değiştirilebilir.



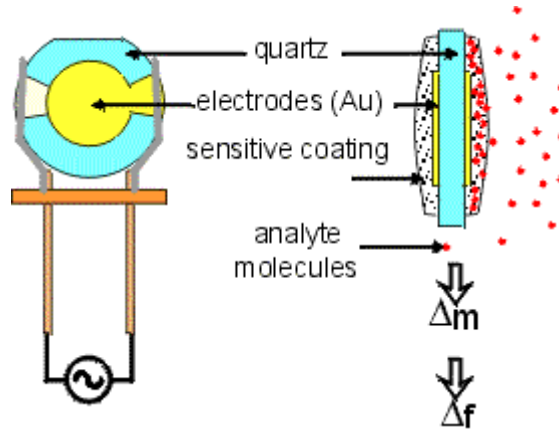
Şekil 2.48 VCSEL yarı iletken lazer kaynağına ait bir görünüm ve yapısı.



Şekil 2.49 2X2 lazer dizisi ve algılama düzeneğinin yapısı.

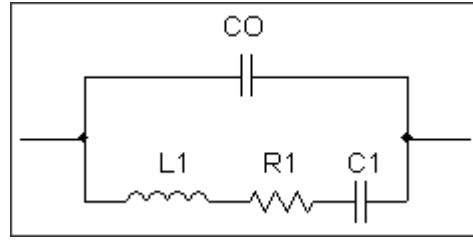
### 2.4.9 Piezoelektrik Nem Sensörleri

Üzeri polimer malzeme ile kaplanmış piezoelektrik kristalin gazla rezonans frekansının değişmesi prensibi ile çalışan sensörlerdir. Piezoelektrik kristal ile beraber salınan polimer malzeme içerisine gaz yayılabilecek gözenekli bir yapıya sahiptir. Gaz yayılımı sonucunda meydana gelen kütle artışı kristalin rezonans frekansını düşürür. Uygun polimer kaplama ile farklı gazlara duyarlı ve farklı hassasiyetlerde sensörler elde edilmektedir. Moleküler yapısı, geometrisi ve hacmi polimer malzemenin farklı gazları soğurmasını etkileyen faktörlerdir.



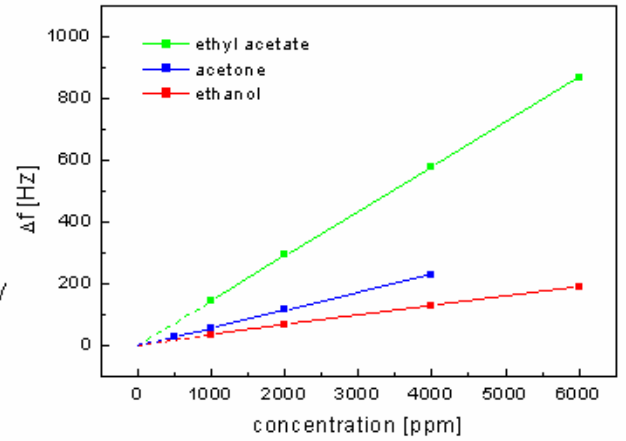
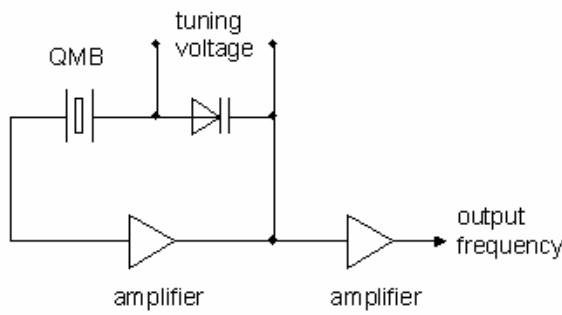
Şekil 2.50 Quartz kristal sensör.

Piezoelektrik sensörler seri rezonans devresi ve buna paralel paketleme ve lehimleme benzeri dış kaynaklı parazitik kapasite ile modellenmektedir (Şekil 2.51). Piezoelektrik sensörlerle kullanılan tipik bir ölçüm devresi ve bazı gazlar için devrenin cevabı Şekil 2.52' den görülebilir.



Şekil 2.51 Piezoelektrik sensörün eşdeğer devresi.

Sensor



Şekil 2.52 Ölçüm devresi ve bazı gazlar için çıkışı.

Piezoelektrik sensörler grubuna dahil edilebilecek bir sensör olan QMB (*quartz microbalance*) veya akustik quartz kristal teknolojileri ile üretilen mikro ölçekli modeller bulunmaktadır. QMB sensörler özellikle VOCs (*Volatile Organic Compounds*-Uçucu Organik Bileşikler) gibi yüksek molekül ağırlıklı gazlara duyarlıdır. Bu tip sensörler maksimum 60 °C civarında çalışabilmektedirler. Sensörün rezonans frekansı ve polimer malzemenin elastikiyeti ortamın sıcaklığından etkilenmekte ve sensör çıkışı sıcaklığa bağlı hale gelmektedir.

## 2.5 Ticari Gaz Sensörleri

Piyasada bulunan 13 farklı üreticiye ait, 52 farklı gaz sensörüne ait teknik spesifikasyonlar incelenmiş ve Çizelge 2.6'da algıladıkları gazların tipine, gaz konsantrasyonu, nem ve sıcaklık açısından çalışma aralıklarına ve hassasiyet verileri ile birlikte listelenmiştir. Bunun dışında sensörün yapısı/malzemesi, cevap süresi, kararlılığı, ömrü, üreticisi tarafından önerilen kullanım alanı gibi bilgilerini de içeren tablo ekler bölümünde verilmiştir.

Buzdolabında veya fırında yiyeceklerden ortama bırakılan gazlar içerisinde gaz sensörleri tarafından algılanabilen gaz ve/veya gaz grupları *VOCs* ( *Volatile Organic Compounds*-Uçucu Organik Bileşikler), *HC* (Hidrokarbonlar) ve *Alkol* olarak bilinmektedir. Bu gazları algılayabilen sensörlerin sayısı çok fazla olmadığından tablo içerisinde bu gazlara duyarlı veya doğrudan pişirme gazlarına duyarlı oldukları bilgisi verilen modeller kırmızı ile işaretlenmiştir. Pirolitik (Pyrolytic) fırında pişirme kabini duvarlarına bulaşmış kirlerden çıkan gazlardan temizleme süresi ve sıcaklığını belirlemek adına anlamlı olan gaz *CO* (*karbon monoksit*) olarak bilinmektedir. Aşağıda karbon monoksit sensörleri de listelenmiştir.

Çizelge 2.6 Algıladıkları gazlara, çalışma aralıklarına ve keskinliklerine göre piyasada bulunan gaz sensörleri.

| Üretici         | Model       | Algıladığı Gaz/Gazlar                                                  | Range                   | Çalışma Sıcaklığı | Çalışma Nem aralığı | Accuracy/ Resolution (Keskinlik) |
|-----------------|-------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|----------------------------------|
| General Eastern | AD35        | CO <sub>2</sub> , CO, Etanol, Hidrojen, Sigara Dumanı                  | 10 - 100 ppm            | -10 to +55oC      |                     | 10ppm                            |
| General Eastern | AD81        | CO, NO <sub>2</sub>                                                    | 1 - 20 ppm              | -10 to +55oC      |                     | 2ppm                             |
| Figaro          | TGS 822-823 | Organic Solvent Vapors (Metan, CO İzobütan, Benzen, Etanol, Aseton)    | 50 - 5000 ppm           | 200°C             | 35%-100%            | ~10 Rs/Ro değişim oranı          |
| Figaro          | TGS 842     | Metan, İzobütan, Etanol, Hidrojen, CO                                  | 500- 10000 ppm          | 50°C              | 35%-95%             | ~10 Rs/Ro değişim oranı          |
| Figaro          | TGS 2611    | Metan, İzobütan, Etanol, Hidrojen                                      | 500- 10000 ppm          | 40°C              | 35%-95%             | ~10 Rs/Ro değişim oranı          |
| Figaro          | TGS 2620    | Organic Solvent Vapors ( Metan, CO İzobütan, n-Hexane, Benzen, Etanol) | 50 - 5000 ppm           | 40°C              | 35%-95%             | ~20 Rs/Ro değişim oranı          |
| FİS             | SP-MW1      | Nem ve Pişirme gazları                                                 | 5 - 50 g/m <sup>3</sup> | (-20) to 250°C    | 0-95%               | ~10K Rs/Ro değişim oranı         |
| FİS             | SP-MW0      | Alkol, Uçucu organik bileşikler, Hidrojen, Nem                         | 10 - 5000 ppm           | (-20) to 250°C    | 0-95%               | ~8 Rs/Ro değişim oranı           |
| FİS             | SB-30       | Alkol                                                                  | 50 - 3000ppm            | (-20) to 60°C     | 0-95%               | ~100 Rs/Ro değişim oranı         |
| FİS             | SB-95       | CO, Metan                                                              | 30 - 1000 ppm           | (-20) to 60°C     | 0-95%               | ~50K Rs/Ro değişim oranı         |
| Çinli Üretici   | HW8-MC-106  | i-Bütan, Propan , Metan, Hidrojen                                      | 0 - %50 LEL             |                   |                     |                                  |
| Çinli Üretici   | HW8-MC-112  | i-Bütan, Propan , Metan, Hidrojen                                      | 0 - %100 LEL            |                   |                     |                                  |
| Çinli Üretici   | HW8-MQ-2    | LPG, i-Bütan, Propan, Metan, Alkol, Hidrojen, Duman                    | 200 -20000 ppm          | (-20) to 50°C     |                     |                                  |
| Çinli Üretici   | HW8-MQ-3    | Alkol                                                                  |                         |                   |                     |                                  |
| Çinli Üretici   | HW8-MQ-4    | CH <sub>4</sub> , Alkol, Pişme dumanları                               |                         |                   |                     |                                  |

| Üretici         | Model         | Algıladığı Gaz/Gazlar                                                    | Range              | Çalışma Sıcaklığı | Çalışma Nem aralığı | Accuracy/ Resolution (Keskinlik) |
|-----------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|----------------------------------|
| Çinli Üretici   | HW8-MQ-5      | LPG, CH4, Alkol, Pişirme dumanları, Smoke Dumanı                         |                    |                   |                     |                                  |
| Çinli Üretici   | HW8-MQ-6      | LPG, Iso-Butane, Propan, LNG, CH4, Alcohol, Cooking Fumes, Sigara Dumanı |                    |                   |                     |                                  |
| Çinli Üretici   | HW8-MQ-7      | CO                                                                       |                    |                   |                     |                                  |
| Çinli Üretici   | HW8-MQ-8      | Hidrojen, Alkol, Pişirme Dumanları, LPG, CO                              |                    |                   |                     |                                  |
| Çinli Üretici   | HW8-MQ-9      | CO, CH4, LPG                                                             |                    |                   |                     |                                  |
| Çinli Üretici   | HW8-MQ-135    | NH3, Nox, Alkol, Benzen, Duman, CO2                                      |                    |                   |                     |                                  |
| Çinli Üretici   | HW8-MR511     | LPG, Coal Gas                                                            |                    |                   |                     |                                  |
| Applied Sensor  | AS-MLC        | CO                                                                       | 0.5 - 500 ppm      | (-40) to 120°C    |                     |                                  |
| Applied Sensor  | AS-QHV Series | VOC (Uçucu organik bileşikler)                                           | 0 - 6000 ppm       | 0 to 70°C         | 0%-95% non-cond.    | ~1 ppm/Hz                        |
| Applied Sensor  | FFH-450       | Hidrojen                                                                 | 10 - 10000 ppm     | (-40) to 120°C    | 0%-95% non-cond.    |                                  |
| Applied Sensor  | AS-MLN        | NO2                                                                      | 300 - 1700 ppb     | (-40) to 120°C    | 0%-95% non-cond.    | 2ppm                             |
| Capteur         | CAP02L        | Metan                                                                    | 1000ppm            | (-40) to 80°C     | 5%-95% non-cond.    | %2 Metan                         |
| Capteur         | CAP0710       | Gasoline and diesel exhaust fumes(CO, NO2)                               | 10ppb-NO2, 1ppm-CO | (-40) to 80°C     | 5%-95% non-cond.    | 0,1 ppm                          |
| CITY Technology | 3ETO CiTiceL  | Etilen oksit                                                             | 0-20ppm            | (-20) to 50°C     | 15%-90% non-cond.   | 0,1 ppm                          |
| CITY Technology | 4ETO CiTiceL  | Etilen oksit                                                             | 0-20ppm            | (-20) to 50°C     | 15%-90%             | 0,1 ppm                          |
| CITY Technology | 4PH CiTiceL   | Phosphine                                                                | 0-5ppm             | (-20) to 50°C     | 15%-90% non-cond.   | 0,05 ppm                         |

| Üretici             | Model        | Algıladığı Gaz/Gazlar                               | Range           | Çalışma Sıcaklığı | Çalışma Nem aralığı   | Accuracy/ Resolution (Keskinlik) |
|---------------------|--------------|-----------------------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|----------------------------------|
| CITY Technology     | 4PH Fast     | Phosphine                                           | 0-5ppm          |                   | 15%-90% non-cond.     | 0,05 ppm                         |
| CITY Technology     | 4SL          | Hydride (Silane)                                    | 0-5ppm          | (-20) to 50°C     | 15%-90% non-cond.     | 0,05 ppm                         |
| CITY Technology     | 7ETO CiTiceL | Etilen oksit                                        | 0-20ppm         | (-20) to 50°C     | 15%-90% non-cond.     | 0,1ppm                           |
| E2V Technologies    | EC420        | Carbon Monoxide                                     | 0-1000ppm       | (-20) to 50°C     | 15%-90% non-cond.     | 1ppm                             |
| E2V Technologies    | VQ1          | Metan                                               | 0-%10 Metan     |                   |                       | 20 mV / %metan                   |
| E2V Technologies    | VQ101        | Hidrojen Sülfid (H2S)                               | 0-30 ppm        |                   |                       |                                  |
| Edinburg Inst.      | IRceL        | CO2                                                 | 0-2 %CO2        | (-20) to 50°C     |                       | 0.01% CO2                        |
| Edinburg Inst.      | IRceL        | HC (Hidrocarbonlar)                                 | 0-100% LEL      |                   |                       |                                  |
| International Tech. | I-30         | CO                                                  | 0-2000ppm       | 0 to 50°C         | 10%-98% RH            | 50nA/ppm                         |
| International Tech. | I-31         | CO                                                  | 0-2000ppm       | (-20) to 60°C     | 10%-98% RH            | 50nA/ppm                         |
| Microsens           | MCGS-2102    | Metan (CH4)                                         | 0-100 % LEL     |                   |                       | 3,75mV/%LEL                      |
| Microsens           | MSGs-3001    | CO                                                  | 5-1000 ppm      | 0 to 50°C         | 20%-80% RH            |                                  |
| Microsens           | MSGs-3002    | Metan                                               | 100 - 10000 ppm | 0 to 50°C         | 20%-80% RH            |                                  |
| Microsens           | MTCS-22021   | Doğalgaz (CH4)                                      | 1-100% vol CH4  |                   |                       | 105mV/%vol                       |
| SensoriC            | CO 2E 300    | CO                                                  | 0-300ppm        | (-40) to 50°C     | 15%-90% non-cond.     | 30nA/ppm                         |
| SensoriC            | CO 3E 500 S  | CO                                                  | 0-500ppm        | (-20) to 50°C     | 15%-90% non-cond.     | 3ppm                             |
| Sixth Sence         | CAT16        | Yanıcı gazlar: Metan, Hidrojen, Etan, Propan, Bütan | 0-100%LEL       | (-40) to 50°C     | 0%-90% non-condensing | 12mV/%metan                      |

| Üretici     | Model             | Algıladığı Gaz/Gazlar                               | Range     | Çalışma Sıcaklığı | Çalışma Nem aralığı   | Accuracy/ Resolution (Keskinlik) |
|-------------|-------------------|-----------------------------------------------------|-----------|-------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Sixth Sence | CAT25             | Yanıcı gazlar: Metan, Hidrojen, Etan, Propan, Bütan | 0-100%LEL | (-40) to 50°C     | 0%-90% non-condensing | 25mV/%metan                      |
| Sixth Sence | ECO-Sure(3e)      | CO                                                  | 0-1000ppm | (-10) to 40°C     | 0%-90% non-condensing | 0.1uA/ppm                        |
| Sixth Sence | SureCell - CO (M) | CO                                                  | 0-1000ppm | (-20) to 40°C     | 15%-90% non-cond.     | 0.07uA/ppm                       |

### 2.5.1 Gaz Sensörlerine ait Önemli Parametreler

- *Range (Çalışma Bölgesi)*: Sensörün bulunduğu ortam içerisinde duyarlı olduğu gazın hangi konsantrasyonları arasında ölçüm yapabildiğinin bilgisidir. % Hacim, ppm (piece per million) , ppb (piece per billion) ve %LEL (Lower Explosive Limit) olarak verilir. LEL bir gaz karışımının yanıcı patlayıcı olmadığı minimum konsantrasyondur ve organikler için %1 -%5 arasındadır.
- *Çözünürlük (Resolution)*: Sensörün hassasiyetini belirten bu parametre sensörün duyarlı olduğu gaz için tepki verebildiği minimum gaz miktarı değişimi olarak tanımlanabilir. Hacim veya miktara bağlı olarak direnç, gerilim, frekans gibi çıkış değişimi biçiminde verilebilir (Örn: 10pF/ppm).
- *Çalışma Sıcaklığı*: Sensörün algılama yapabildiği sıcaklığı belirtir. Bazı sensörler tümleşik sensör yapısındadır, entegre ısıtıcıya sahiptir ve değişik sıcaklıklarda değişik gazlara duyarlı hale gelmektedir. Ancak çalışma sıcaklığı bundan bağımsız olarak sensörün içinde bulunduğu ortamın sıcaklığıdır.
- *Çalışma Nem Aralığı*: Bütün gaz sensörleri ortamın taşıdığı nemden etkilenmektedirler. Belirli bir nem oranının altında veya üstünde nem içeren ortamlarda çalışmamaktadırlar. Ayrıca doğruluk, doğrusallık ve çözünürlük parametreleri de nemden etkilenmektedir. Sensörün çalışacağı ortamın nem oranı ile sensörün verimli olduğu nem oranı değerlerinin örtüşmesi önemlidir.
- *Ömür (Life Time)*: Sensörlerin yapısına, malzemesine ve modeline göre kullanım süreleri değişiklik göstermektedir. Ayrıca elektro kimyasal ve bazı katalitik sensörler elektrolit veya katalist malzemenin yaşlanması gibi nedenlerle saklama, depolama esnasında da ömürlerinden kaybedebilmektedirler. Bu süre raf ömrü (*shelf life*) olarak verilmektedir.
- *Cevap Süresi (Response Time)*: Ortamın gaz konsantrasyonunda meydana gelen değişikliğin ne kadar süre sonra sensör tarafından algılandığını gösterir. Sensörün yapısına ve kılıflama (*housing*) geometrisine bağlı olarak değişmektedir.

## 2.6 Nem ve Gaz Algılamaya İlişkin Literatür Araştırması Sonuçları

Nem ve gaz sensörleri ile ilgili yapılan literatür araştırması ve sonuçların değerlendirilmesi sonucu aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

Fırında pişirme kontrol uygulamasında nem sensörünün kullanımı ile ilgili ön çalışma yapılmıştır. Fırında kullanılmaya uygun nem sensörünün sahip olması gerekli teknik spesifikasyonları belirlenmiştir:

- Sensör yerleşkesi: Fırın bacası
- Çalışma Sıcaklık Bölgesi: 0 °C-85 °C
- Çalışma Nem Bölgesi: % 5 RH- % 98 RH
- Hassasiyet:  $\pm 5$  %RH
- Baca içerisindeki yağ, kir gibi koşullara dayanımlı kılıf yapısı

Buzdolabında yiyeceklerin raf ömrünü artırmak amacıyla sebzelik içerisinde nem algılama amaçlı kullanılmaya uygun nem sensörünün sahip olması gerekli teknik spesifikasyonlar şunlardır:

- Sensör yerleşkesi: Buzdolabı sebzelik bölümü veya yiyecek türüne özel oluşturulmuş yiyecek saklama bölümü.
- Çalışma Sıcaklık Bölgesi: 0 °C-10 °C
- Çalışma Nem Bölgesi: % 5 RH- % 98 RH
- Hassasiyet:  $\pm 2$  %RH

Teknik spesifikasyonları beyaz eşyada kullanılmaya uygun nem sensörü üreticileri ve sensör kodları şunlardır: HONEYWELL HIH-4000, HONEYWELL HIH-3600, HYGROMETRIX HMX2000DS, SMARTEC SMTHS10, OHMIC Instruments ABS-300, GEFRAH H6000/H6100, SENSIRION SHTXX, HUMIREL HS1100/1101, PANAMETRICS Minicap2.

Buzdolabında sebzelikte nem algılama amaçlı OHMIC Instruments ABS-300 dışında diğer nem sensörleri kullanılmaya uygundur. Kapasitif ve rezistif tip sensörlerin buzdolabı koşullarında performansı hedeflenen sınırlardadır.

Çeşitli üreticilere ait elektrikli ankastre fırınlar incelendiğinde, bu fırınlarda nem algılama amaçlı Ohmic Instruments ABS-300 ısı iletkenlik sensörünün kullanıldığı görülmüştür. EPCOS, SHIBAURA gibi üreticilerinde benzer teknik spesifikasyonlarda ısı iletkenlik nem sensörleri mevcuttur. *OHMIC ABS-300* termal iletkenlik değişimi yoluyla algılama yapan bir mutlak nem sensörüdür. 200<sup>0</sup>C çalışma aralığının üst sınırı olarak verilmektedir. Nemi 0-130 g/m<sup>3</sup> aralığında ölçebilmektedir. Ayrıca kimyasal gazlara ve yoğuşmaya karşı dayanıklıdır ve koruyucu bir kılıf

(housing) içindedir. DC 15V’la beslenmekte ve çıkışı 0-13mV arasında değişmektedir. Fırın uygulamaları için gayet uygun gözükmeyle beraber, ısı iletkenlik sensörleri düşük sıcaklıklardaki kararlılık problemleri nedeniyle buzdolabı uygulamaları için tercih edilmemelidir.

Bazı üreticilere ait elektrikli ankastre fırınlar incelendiğinde AEG CB-8920 fırında buharlı pişirme yapılmaktadır. Ancak fırın üzerinde nem seviyesini algılama ve kontrol için herhangi bir nem sensörü kullanılmamıştır. BRANDT’ in Türkiye pazarında bulunan elektrikli ankastre fırınında nem sensörü kullanılmaktadır. Teknoloji “*Intelligent Cooking System*” ismi ile pazarlanmaktadır. Bu fırınlara ait nem algılama, nemlendirme ve kontrol altyapısına ait benchmark yapılmıştır. Sonuçlara sonraki bölümlerde detaylı yer verilecektir.

Gaz sensörlerinin beyaz eşyada, özellikle fırın ve buzdolabında kullanımı henüz yaygın değildir. Ancak literatür incelendiğinde büyük beyaz eşya üreticilerinin gaz sensörü alanında çalışan enstitü, üniversite ve üreticilerle işbirliği içinde çalıştığı bilinmektedir. Literatür incelendiğinde buzdolabında tazelik algılama amaçlı gaz sensörü kullanımı ile ilgili bilgi edinilememiştir.

Fırında pişirme kontrol amaçlı gaz sensörünün kullanımı ile ilgili MİELE, BOSCH SIEMENS ve WHIRPOOL gibi üreticilerin çalışma yaptıkları bilinmektedir. Mikrodalga fırınlarda nem ve gaz sensörünün kullanımı yaygındır, ankastre elektrikli fırınlarda yüksek pişirme sıcaklıkları nedeniyle sensör kullanımı yaygın değildir. Pişirme kontrol amaçlı gaz sensörü kullanan ve piyasada ürünü bulunan tek ankastre elektrikli fırın MİELE H 4640 B KAT kodlu fırındır. Bu fırında nem ve oksijen sensörü kullanılmaktadır ve ticari olarak “*baking sensor*” ismi ile pazarlanmaktadır. Özellikle KEK türü yiyeceklerin pişirilmesinde otomatik kontrol sağlandığı belirtilmektedir.

MİELE fırında pişirme kontrol amaçlı gaz sensörünün kullanılması amacıyla Almanya’da bilinen araştırma enstitüleri ile çalışmaları devam etmektedir. SENSOR&TEST 2005 sempozyumunda “*Standardized Primary Aroma Nose (SPAN), an approach to standardise multisensor arrays for the detection of key food odorants*” isimli bildiri sunulmuştur. Bildiri içeriğinde yer verildiği üzere çoklu sensör dizileri (multisensor array) kullanılarak, yiyeceklerin pişirme sırasında ortama bıraktığı geçici bileşenleri algılamak amacıyla aroma sensörü geliştirilmektedir.

WHIRPOOL, gaz sensörünün pişirme kontrol uygulamasında kullanılması ile ilgili olarak İtalya’da Milano Üniversitesi ile çalışmaktadır. Elektronik koku/gaz sensörleri kullanılarak pişirme prosesinin izlenmesi ve kontrol edilmesi ile ilgili çalışma yapmaktadırlar.

Pazarda bulunan mikrodalga fırınlarda gaz sensörü yaygın olarak kullanılmaktadır. Pişirme kontrol amaçlı en yaygın kullanılan gaz sensörleri FIGARO TGS serisi TGS880, TGS882 ve TGS 883 kodlu  $\text{SnO}_{2-x}$  temelli gaz sensörleridir. Bu sensörler alkol ve su buharına karşı duyarlıdır, mikrodalga fırınlarda pişirme zamanının kontrolünde kullanılmaktadır [11].

Gaz sensörlerinin elektrikli ankastre fırınlarda diğer bir kullanım nedeni de, kendi kendini temizleme özelliğine sahip fırınlarda kir seviyesine bağlı olarak temizleme zamanının otomatik belirlenmesidir. Bu amaçla pirolitik fırınlarda ısıl iletkenlik sensörleri kullanılabildiği gibi gaz sensörleri de kullanılmaktadır. Bosch Siemens HB88240/01 kodlu fırında Figaro TGS 884 kodlu gaz sensörü fırın egzozuna yerleştirilerek kullanılmaktadır. Fırının yüksek sıcaklıkta kirleri yakarak temizlemesi sırasında hidrokarbon, karbon monoksit, karbon dioksit, hidrojen ve su ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla kullanılan gaz sensörleri bu gaz içeriğine duyarlı, yoğun olarak karbon monoksit gazını algılamaktadır.

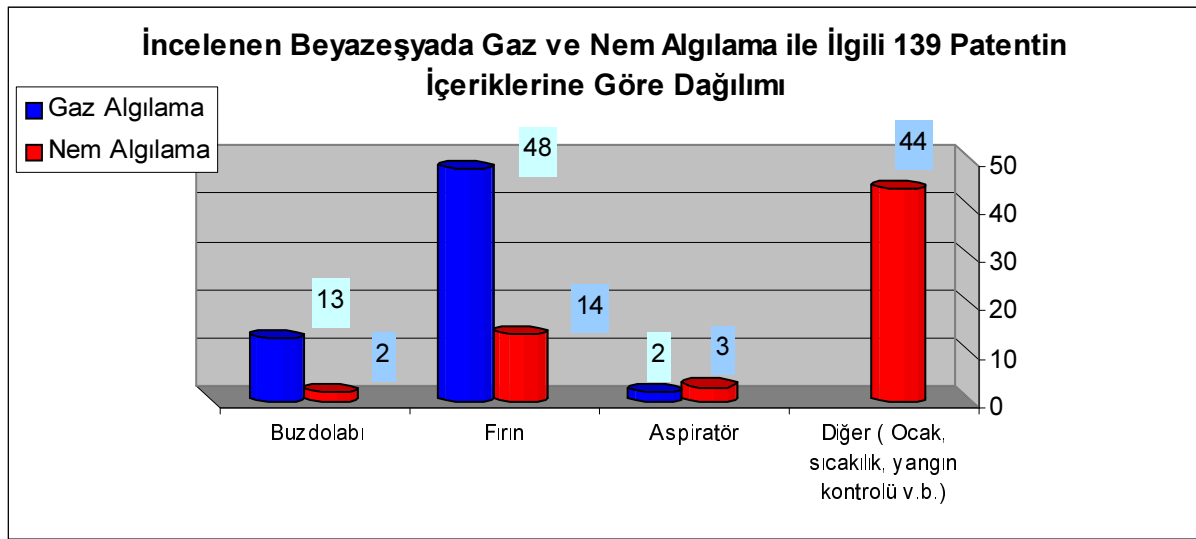
Gaz sensörlerinin fırın ve buzdolabında kullanımı için öncelikle pişirme ve yiyecek saklama prosesleri sırasında, hedef gaz/koku sensörlerinin kullanım olasılığının ve başarımının araştırılması için markörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla hassas gaz analiz cihazları ile (*infrared spectrograph, mass spectrograph, gas chromatography*) belirleyici markörler tanımlanmalıdır. Benzer çalışma fırında pişirme prosesi için de yapılmalıdır.

Gaz/koku algılama alanında ileri seviyede araştırmalar elektronik burun (*e-nose*) kapsamında tüm dünyada devam etmektedir. Elektronik burun çalışmaları algılamada kullanılan sensör ve sensör sistemi teknolojilerini, örnekleme ve veri karakterizasyonu ve öznitelik çıkarma sistemi (*pattern recognition*), veri değerlendirme ve sistem standardizasyonu olmak üzere farklı alt çalışmalardan oluşmaktadır. Elektronik burun alanında çalışan pek çok enstitü ve araştırma birimi mevcuttur. Bu alanda NOSE II isimli bir bilgi paylaşım ve iletişim ağı kurulmuştur. Bu ağ içerisinde ALPHA MOS, TUBINGEN Üniversitesi, ETH Zurich gibi büyük araştırma birimleri ve sensör üreticileri mevcuttur [10].

Hedef uygulama için nem ve gaz sensörü seçimini başta sensörün sahip olduğu teknik spesifikasyonlar olmak üzere, beyaz eşya üreticisinin-müşterinin- belirlediği performans/fiyat kriterleri belirlemektedir.

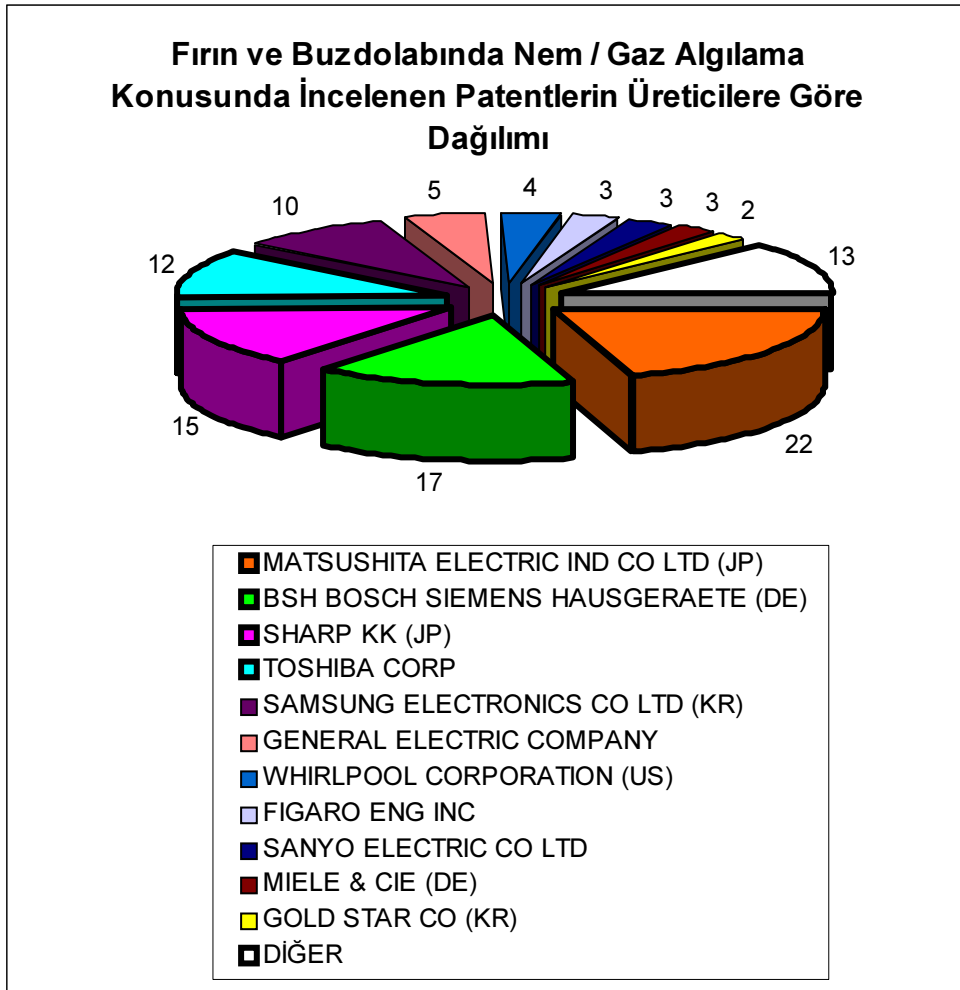
### 3. PİŞİRİCİ CİHAZLAR VE BUZDOLABINDA NEM, GAZ ALGILAMA UYGULAMALARI PATENT ARAŞTIRMASI

Bu bölümde yapılan araştırma adına önemli olanlar hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. *Pişirici*, *buzdolabı*, *nem sensörü* ve *gaz sensörü* anahtar kelimeleriyle yapılan aramadan 139 adet patent elde edilmiştir. Bu patentlerden 15 tanesi buzdolabında nem ve gaz sensörü uygulamalarına, 62 tanesi de fırında nem ve gaz kontrollü pişirme ekipman veya yöntemlerine aittir. Geri kalan patentler çoğunlukla ocaklarda kullanılan sensörlü düzenekler, fırın veya buzdolabında sıcaklık algılama uygulamaları içindir. 5 adet patent de aspiratörde nem ve gaz sensörlerinin kullanımı ile ilgilidir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Patentlerin ürün bazında dağılımı.

Fırın ve buzdolabında nem ve gaz sensörü uygulamalarına ilişkin patentlerin ülkelere göre dağılımına bakıldığında Japon üreticilerin öne çıktığı görülmektedir. *Toshiba*, *Matsushita*, *Sharp*, *Sanyo* gibi Japon firmaları başta olmakla beraber *Bosch Siemens Hausgeraete*, *Miele*, *Whirlpool Corporation*, *General Electric Company*, *Samsung*, *Gold Star* gibi Avrupalı, Amerikalı ve Koreli firmaların da konuya ilişkin patentleri bulunmaktadır (Şekil 3.2).

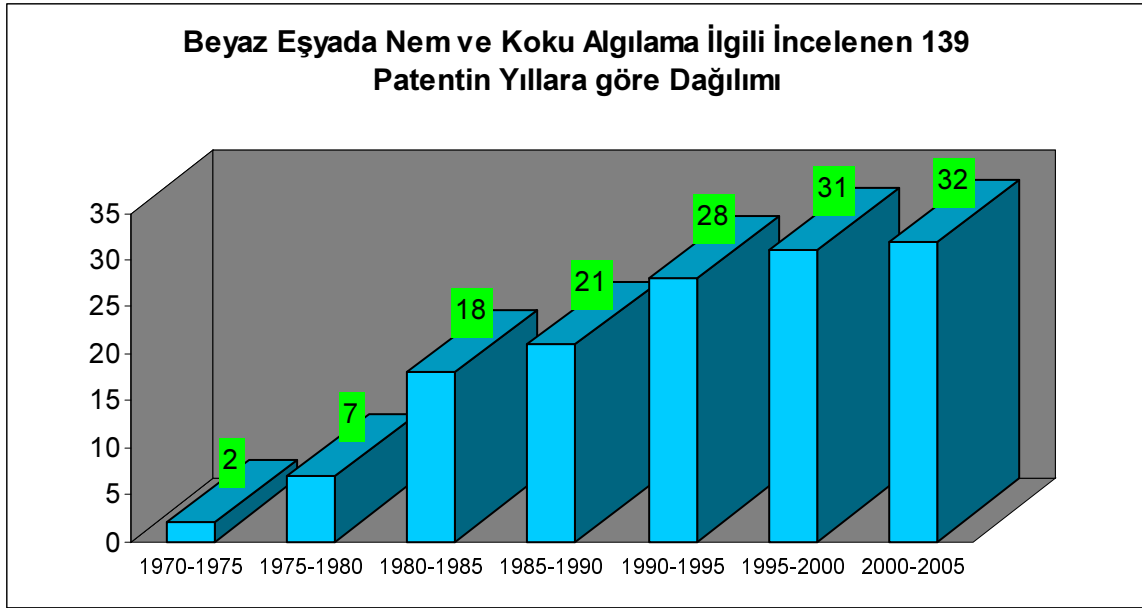


Şekil 3.2 Patentlerin üreticilere göre dağılımı.

İncelenen patentlerin yıllara göre dağılımına bakıldığında 1970-1975 yılları arasında konuya ilişkin patentler az sayıda iken, bu sayının 1985-1990 aralığında arttığı ve 2000-2005 aralığında ise giderek yaygınlaştığı görülmektedir (Şekil 3.3). Bu dağılım nem ve gaz sensörlerinin beyaz eşyaya entegrasyonu konusunun yeni olduğunu göstermenin yanında, buzdolabı ve fırın için konunun önemindeki artışa da işaret etmektedir.

İncelenen patentlerde pişirici grubunda nem sensörlerinin çoğunlukla fırın uygulamalarında, özellikle de mikrodalga fırın uygulamalarında kullanıldığı görülmüştür. Fırında sıcaklık ve nem algılama ve kontrolünün sağlanması ile; yiyecek pişirme süresini belirleme, enerji ve zaman optimizasyonu ve sağlıklı ve kaliteli pişirmenin sağlanması mümkündür. Fırında gaz/koku sensörü uygulamaları otomatik pişirme uygulamaları için kullanılabileceği gibi, kendi kendini temizleme özelliğine sahip fırınlarda egzostan atılan gaz oranı belirlenerek temizleme süresinin belirlenmesi için de kullanılabilmektedir. Özetle fırında sıcaklık, nem ve gaz/koku sensörü

entegre kullanılarak; pişirilen yiyecek türüne ve miktarına bağlı minimum kullanıcı gereksinimi gerektiren otomatik pişirme algoritmaları geliştirmek mümkündür.



Şekil 3.3 Patentlerin başvuru yılına göre dağılımı

Buzdolabı içerisinde saklanan yiyeceklerin cinsini algılayarak, gıda saklama koşullarını optimize ede, yiyeceğin bozulmaya başladığı anı algılayan ve kullanıcıyı ses veya kullanıcı paneli aracılığıyla uyaran gaz ve nem sensörü uygulamalarının patentleri ile karşılaşılmıştır. Bu patentlerden buzdolabında saklanan yiyeceğin türünün belirlenmesinde gaz sensörlerinin kullanıldığı bilinmektedir. Nem sensörünün ise gıda saklama ortamında nemin algılanması ve yiyecek türüne uygun nem oranının buzdolabı içi nem kontrolü yöntemi ile sağlanması amacıyla kullanıldığı görülmektedir.

İncelenen patentlerden buzdolabı ve fırın dışında gaz ve/veya nem sensörlerinin kullanılabileceği bir diğer ev eşyası da aspiratör/havalandırma cihazı olarak göze çarpmaktadır. Önümüzdeki yıllarda bilgi teknolojilerindeki gelişme ile birlikte; özellikle de kablosuz iletişim teknolojilerinin daha da yaygınlaşması ve ucuzlaması mutfak içerisindeki fırın, buzdolabı, aspiratör ve ocak gibi ürünlerin entegre kontrol ünitesinden kontrol edilmesini gerektirecektir. Bu amaçla akıllı mutfak konseptinin oluşturulması için alınan patentler de mevcuttur.

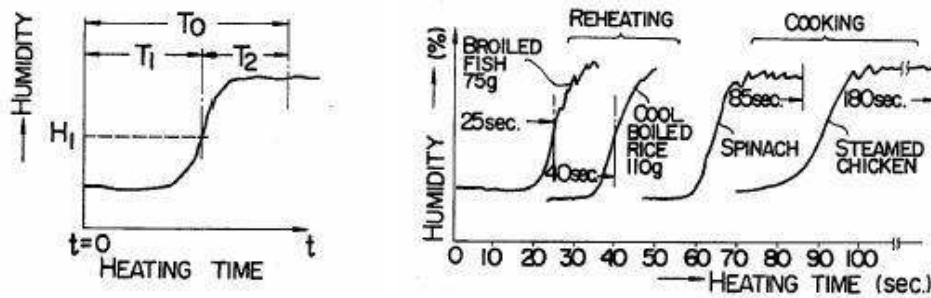
### 3.1 Pişirici Cihazlarda Nem Algılama İlgili Patentler

Bu bölümde uluslararası patent veritabanlarından elde edilen pişirici cihazlarda nem algılama ile ilgili patentler verilmiştir. Bölüm boyunca patente isimlerinin Türkçe karşılıkları patente ait ayrıntıların verildiği alt bölümlerin başlığı olarak verilmiştir. Başlığın hemen altında verilen küçük tablolar gereksiz karışıklığın önüne geçmek adına çizelge olarak kabul edilmemiş ve çizelge numarası verilmemiştir.

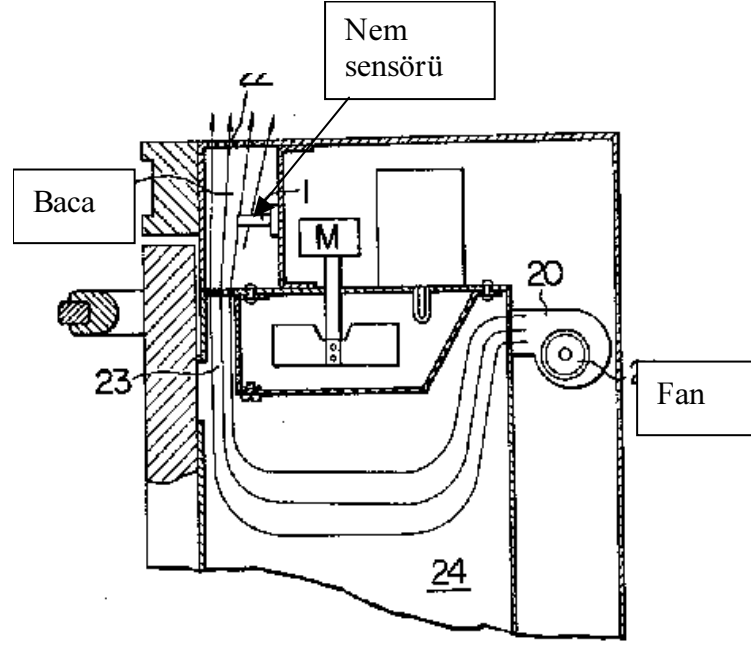
#### 3.1.1 Neme Bağlı Pişirme Süresi Ayarlama Aparatı

|                               |                                                                   |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>Patent No</b>              | US4097707                                                         |
| <b>Patent Adı</b>             | Apparatus for controlling heating time utilizing humidity sensing |
| <b>Yayınlanma Tarihi</b>      | 29.03.1988                                                        |
| <b>Buluşu Yapan Kişi(ler)</b> | Tetsu Kobayashi, Takato Kanazawa, Makato Tsuboi                   |
| <b>Uygulayıcı(ları)</b>       | MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO LTD                             |

Fırın içerisinde farklı yiyecek tipleri, ısıtma başlangıcından sonra farklı zamanlarda ani nem yükselmelerine neden olmaktadır. Bu patent nemin belirli bir değere ulaşma süresine bakarak pişirme süresini ve ısıtıcı gücünü ayarlayan bir mikrodalga fırına aittir. Ani nem yükselmesinin zamanı tespit edilerek pişirilen materyalin cinsi anlaşılmış olur ve buna uygun pişirme ve pişirme süresi ( $T_0$ ) tayini yapılır. Şekil 3.4 de görülen  $T_1$  süresi pişirilecek yiyeceğin ne tür olduğu konusunda bilgi vermektedir.  $T_2 = k \times T_1$  olarak verilmekte ve bu  $k$  katsayısının yapılan deneylerle belirlendiği söylenmektedir. Ayrıca ısıtıcı gücünün fırının ilk sıcaklığına ve yine nemin bahsedilen kritik değere ulaşması için geçen süreye bağlı olarak ayarlandığı belirtilmektedir.



Şekil 3.4 Farklı tür yiyeceklere ilişkin nem-zaman değişimleri.



Şekil 3.5 Fırının kesiti ve nem sensörünün yeri.

### 3.1.2 Nem Sensörlü Pişirme Cihazı

**Patent No** AU5346086 - US4734554

**Patent Adı** Heating apparatus with humidity sensor

**Yayınlanma Tarihi** 29.03.1988

**Buluşu Yapan Kişi(ler)** Andu Yuzi, Tateda Koichi, Tsuda Tatsuya

**Uygulayıcı(ları)** SHARP KK (JP)

Genel olarak pişirici cihazlarda kullanılması düşünülen yeterli hassasiyette ve uygun maliyetli bir nem ve sıcaklık ölçme düzeneği patentin amacı olarak tanımlanmaktadır. Mikrodalga fırın kullanım alanına örnek olarak verilmekte, bahsedilen sensörlerin egzoz kanalı (baca) içerisine yerleştirilebileceği söylenmektedir. (Şekil 3.6) Nem algılama için biri ortam ısısına maruz kalan ve biri kendisi ısı üreten iki elemandan kaçan ısı miktarı arasındaki ilişkiden faydalanılmaktadır. Bu yolla algılanan nem, mutlak nem olmaktadır. Anlatılan sıcaklık ve nem sensörleri yardımıyla uygun zamanda ısıtmayı sonlandırabilecek bir devre verilmektedir. (Şekil 3.7)

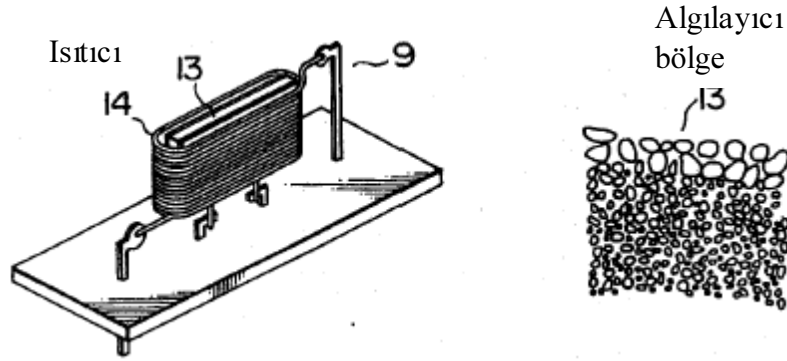


**Uygulayıcı(ları)**

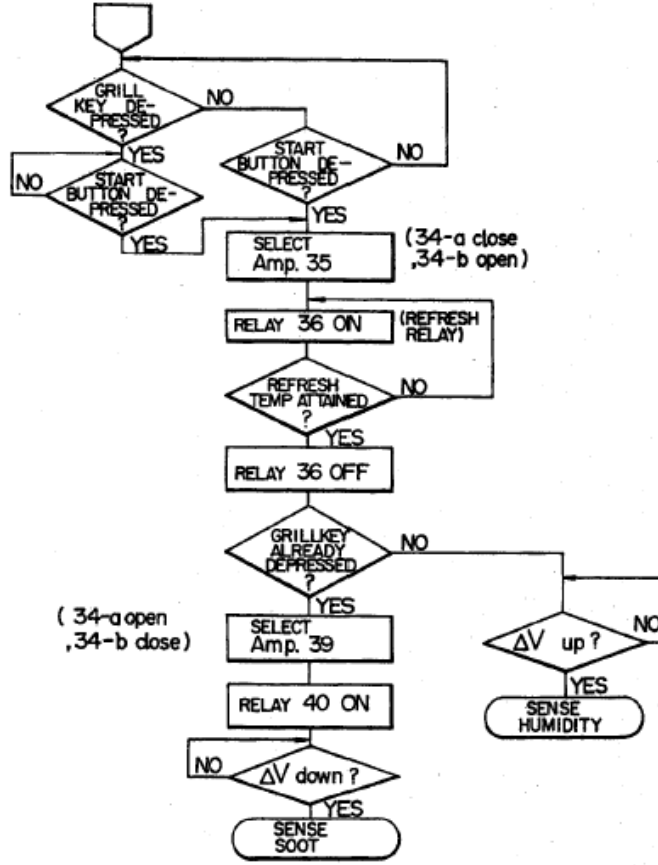
MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO LTD

Verilen sistemin ilgi çekici elemanı, fırın içerisindeki havayı dışarı klavuzlayan egzoz (baca) bölümü içerisine yerleştirilmiş iki fonksiyonlu bir çeşit seramik sensördür. Bu sensörün algılama karakteristiği yüzey sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. (Şekil 3.8) Sensörün ısıtıcı parçası DC gerilim kaynağıyla beslendiğinde pişirmenin bazı aşamalarında yiyeceklerden açığa çıkan dumana, astabil veya AC akımlı bir gerilim kaynağı ile beslendiğinde ise bulunduğu ortamdaki su buharına duyarlı hale gelmektedir.

Kullanıcıdan alınan pişirme modu bilgisine bağlı olarak sensör uygun algılama fonksiyonuna sahip olacak şekilde beslenir. (Şekil 3.9) Ölçülen bu duman veya nem bilgileri pişirme başarısını arttırmak üzere ısıtıcı (mikrodalga veya rezistans) güçlerinin ayarlanması için kullanılır.



Şekil 3.8 İki fonksiyonlu sensör.



Şekil 3.9 Sensör fonksiyonunun seçilmesi.

### 3.1.4 Nem, Alkol ve Optik Algılayıcılı Akıllı Pişirme Cihazı

Patent No EP0587323

Patent Adı Heating apparatus

Yayınlanma Tarihi 16.03.1994

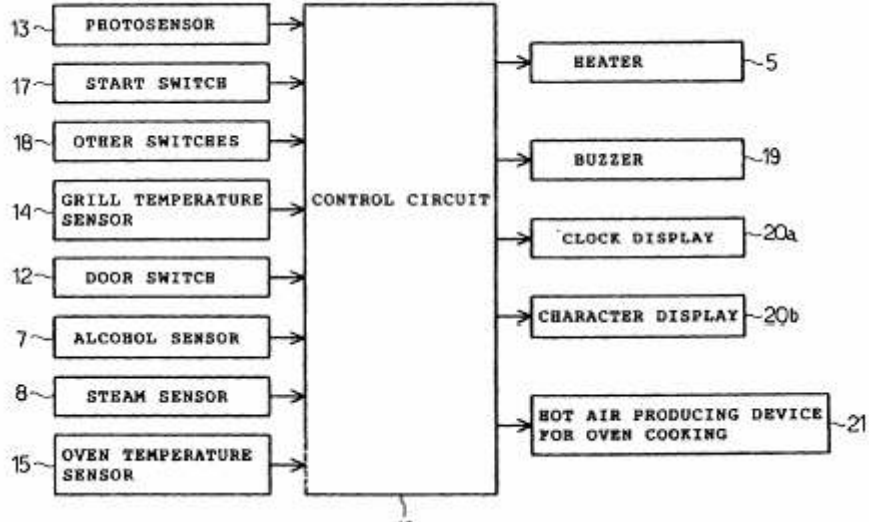
Buluşu Yapan Kişi(ler) Takagi Minoru C O Nagoya Works (JP)

Uygulayıcı(ları) TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO

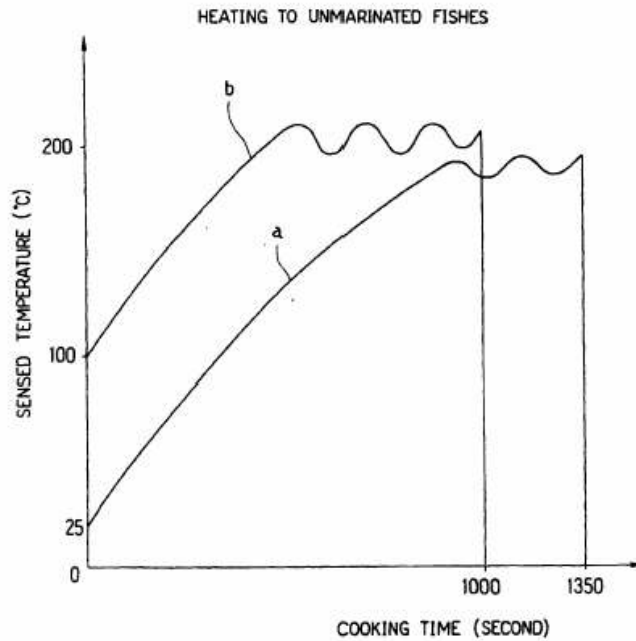
Fırın içi sıcaklığı ve ızgara içindeki sıcaklığı ayrı ayrı ölçmek için iki sıcaklık sensörüne ve ek olarak buhar (nem) sensörüne, alkol (gaz) sensörüne, yiyeceğin kavrulma durumunu algılayan bir foto sensöre ve fırın kapısının açılıp açılmadığı gibi önemli durumları belirten anahtarlara sahip gelişmiş bir pişirme cihazı tarif edilmektedir.

Uygun ısıtma rejimi ve uygun pişirme süresini belirlemek üzere yukarıda verilen çok sayıdaki

sensörden alınan veriler pişirme algoritmasına girdi olmaktadır. Ayrıntılı bir pişirme formu seçiminden bahsedilmektedir. Örneğin balığın marine edilmiş olup olmamasına göre farklı pişirme yapılmaktadır.



Şekil 3.10 Gaz, nem, sıcaklık ve foto sensörlü bir fırının kontrol biriminin blok diyagramı.



Şekil 3.11 Marine edilmiş ve edilmemiş balığın pişirilmesi için uygulanan sıcaklık kontrolü.

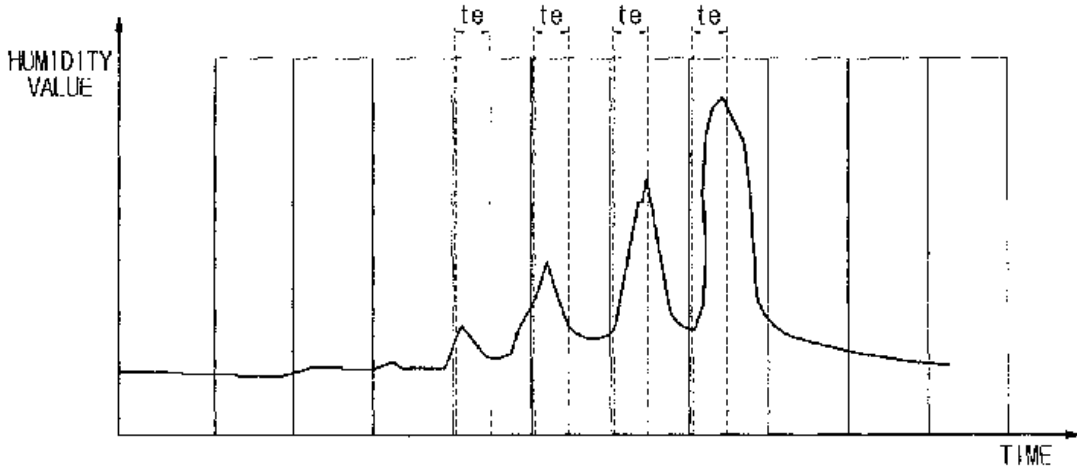
### 3.1.5 Nem Sensörlü Bir Mikrodalga Fırın ve Nemi Sabit Tutma Metodu

Patent No

EP1424874

|                               |                                                            |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Patent Adı</b>             | Microwave oven using a humidity sensor of controlling same |
| <b>Yayınlanma Tarihi</b>      | 02.06.2004                                                 |
| <b>Buluşu Yapan Kişi(ler)</b> | Lee Won-Woo (KR)                                           |
| <b>Uygulayıcı(ları)</b>       | SAMSUNG ELECTRONİCS CO LTD (KR)                            |

Belirli aralıklarla nem sensörü okunmakta ve nemin değişimine bağlı olarak ısıtıcının gücü ayarlanarak nem belirli bir düzeyde tutulmaya çalışılmaktadır. Ölçülen nem değerlerinin arasındaki ilişkiye bakılarak aşırı pişirme önlenmekte veya pişirme sonlandırma kararı verilmektedir.



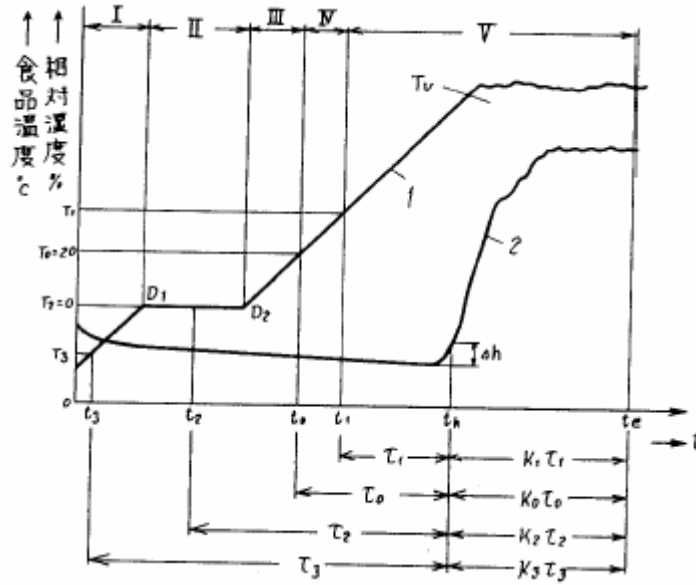
Şekil 3.12 Nem kontrolü ile pişirme optimizasyonu sırasında nem-zaman grafiği.

### 3.1.6 Akıllı Isıtma için Nem Sensörü Kullanımı

|                               |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Patent No</b>              | JP56064233                          |
| <b>Patent Adı</b>             | Controlling method of food heating  |
| <b>Yayınlanma Tarihi</b>      | 01.06.1981                          |
| <b>Buluşu Yapan Kişi(ler)</b> | Kanazawa Takahito                   |
| <b>Uygulayıcı(ları)</b>       | MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD (JP) |

Anlatılan sistemde başlangıç sıcaklığı, ortam nemi ve yiyecekten buharlaşmanın başladığı zaman

gibi bilgileri algılayarak optimum pişirme süresinin tespiti amaçlanmıştır. Yöntem kabaca pişirmenin başladığı andaki sıcaklık, fırın içerisindeki nemin hızla yükselmeye başladığı ana kadar geçen süre ve kaynamanın başladığı ana kadar geçen süre gibi verileri parametre olarak kabul eden bir algoritmayla pişirme süresinin kestirilmesi biçimindedir. Şekil 3.13 den bakılacak olursa I, II, III ve IV sürelerinden V süresi kestirilmeye çalışılmaktadır. Ek olarak 2 numaralı eğrinin (nem) değişimi  $t_h$  anı öncesinde ve sonrasında magnetron gücünün de zamanlandığı izlenimini vermektedir.



Şekil 3.13 Nem ve sıcaklık eğrileri.

### 3.1.7 Gaz ve Nem Sensörlü Fırın

**Patent No** JP57035227

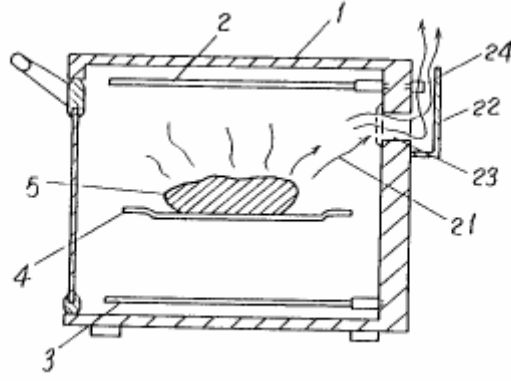
**Patent Adı** Food heating apparatus

**Yayınlanma Tarihi** 25.02.1982

**Buluşu Yapan Kişi(ler)** Kobayashi Yasumichi

**Uygulayıcı(ları)** MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

Egzoz (baca) içinde uygun şekilde konumlandırılmış bir gaz sensörü ile pişirilen yiyeceğin türünün belirlenmesi ve dışarı atılan havanın akışının kontrol edilmesiyle yiyeceğe uygun nem oranının sağlanması biçiminde bir pişirme algoritması tarif edilmektedir.



Şekil 3.14 Bacasına gaz sensörü yerleştirilmiş fırın.

### 3.1.8 Gaz, Nem ve Sıcaklık Algılayarak Pişirme Kontrolü

**Patent No** US4379964

**Patent Adı**

Method of food heating control by detecting liberated gas or vapor and temprature of food

**Yayınlanma Tarihi**

12.04.1983

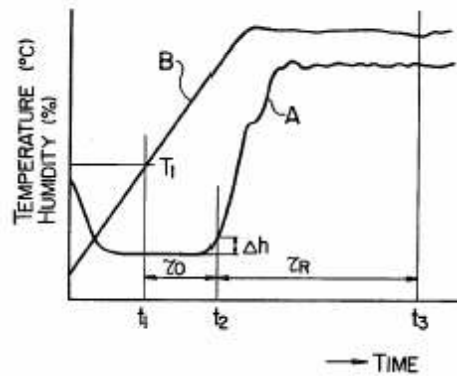
**Buluşu Yapan Kişi(ler)**

Takato Kanazawa, Keijiro Mori, Shigeru Kusunoki,

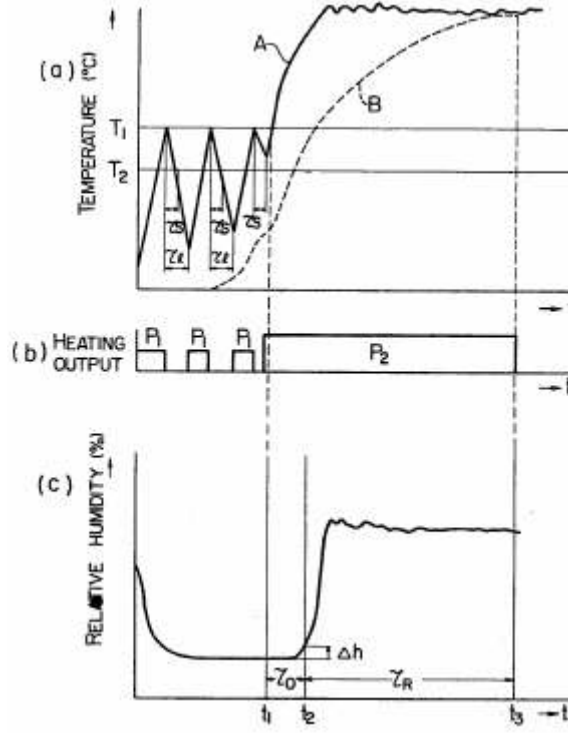
**Uygulayıcı(ları)**

MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

Şekillerde A nem veya gaz miktarını, B de sıcaklığı göstermektedir.  $T_1$  set edilen sıcaklığı ve  $t_1$  bu sıcaklığa varma süresini;  $t_2$  yiyecekten nem veya gaz salınımının başladığı anı;  $\tau_0$  pişme süresini ve  $\tau_R$  de son pişirme süresini göstermektedir. Özet olarak önerilen pişirme metodu  $\tau_R$ 'nin  $t_1$  ve  $\tau_0$ 'ın fonksiyonu olarak kestirilmesidir.



Şekil 3.15 Isıtma sırasında nem oranının değişimi.



Şekil 3.16 Isıtıcı gücünün sıcaklık ve nem oranına bağlı ayarlanması.

### 3.1.9 Nem Değerine Bağlı Pişirme Süresi Tayini Algoritması

**Patent No**

US6806449 - US2003189040

**Patent Adı**

Apparatus and method of controlling a microwave oven

**Yayınlanma Tarihi**

19.01.2004

**Buluşu Yapan Kişi(ler)**

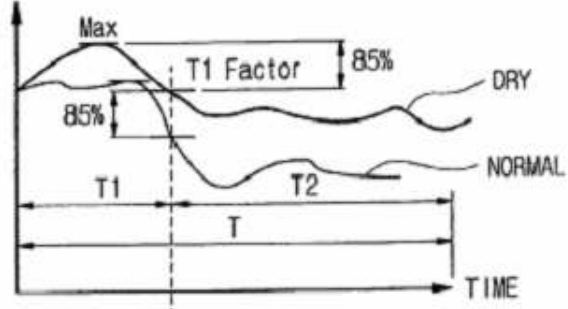
Sung-Ho Lee, Young-Won Cho, Han-Seong Kang, Kyung-Hoo Hahm, Too-Soo Kim

**Uygulayıcı(ları)**

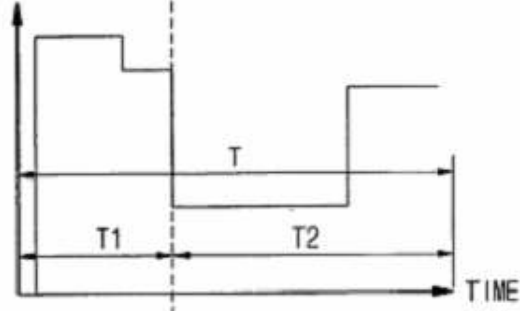
SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD (KR)

Bir mikrodalga fırında başlangıçtan itibaren belirli bir nem düzeyine ulaşıncaya kadar ısıtma yapılır. Varılan nem değeri ve ulaşma süresi referans alınarak, kullanıcı tarafından seçilen pişirme modu için en uygun pişirme süresi belirlenir. Ayrıca ısıtıcı gücü de nem bilgisine bağlı olarak ayarlanır.

Nem sensörü çıkışı

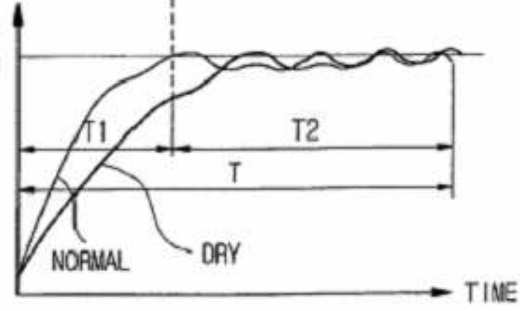


Isıtıcıya verilen güç



TEMPERATURE

100°C



Şekil 3.17 Nem oranına bağlı ısıtıcı kontrolü.

### 3.2 Pişirici Cihazlarda Gaz Algılama İlgili Patentler

#### 3.2.1 Kombi Fırında Gaz Sensörü Yardımıyla Isıtıcı Seçimi

**Patent No** US4463238-GB2045469

**Patent Adı**

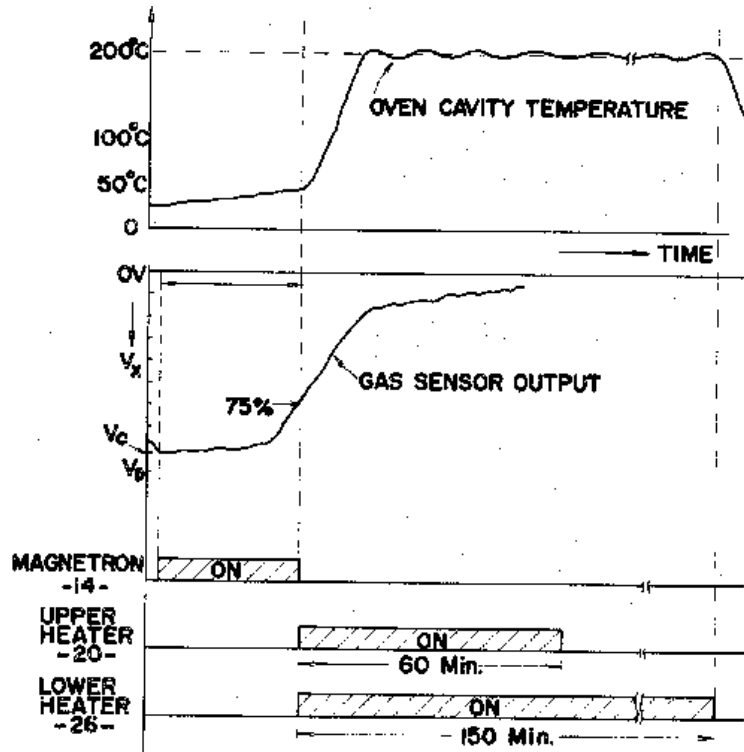
Combined microwave and electric heating oven selectively controlled by gas sensor output and thermistor output

**Yayınlanma Tarihi** 31.07.1984

**Buluşu Yapan Kişi(ler)** Tanabe Takeshi

**Uygulayıcı(ları)** SHARP KK (JP)

Kombi fırın hem mikrodalga ısıtıcılı (magnetron) hem de rezistanslı bir fırın olarak tanımlanmaktadır. Daha kısa süreli ve daha iyi bir pişirme için ortamdaki gaz miktarı kontrol edilmektedir. Isıtmaya magnetron ile başlanır. Belirli bir pişme seviyesine varıldığı ortama bırakılan gaz miktarı ile algılanır ve bundan sonra pişirmeye bir süre her iki rezistansla bir süre sonra da sadece alt rezistansla devam edilir. Bu yolla pişirme daha kısa sürede ve daha kaliteli yapılmaktadır.



Şekil 3.18 Gaz sensörü çıkışına bağlı ısıtıcı seçimi.

### 3.2.2 Gaz Sensörü ile Pişirme Süresini Belirleyen Fırın

**Patent No** US2005061799

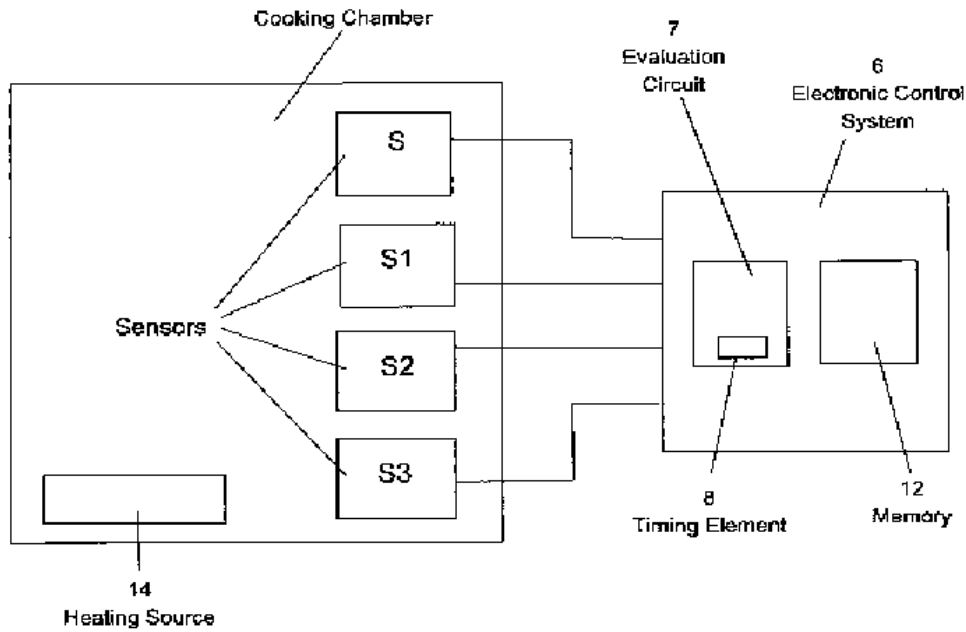
**Patent Adı** Method for controlling a cooking process in a cooking appliance and cooking appliance

**Yayınlanma Tarihi** 24.03.2005

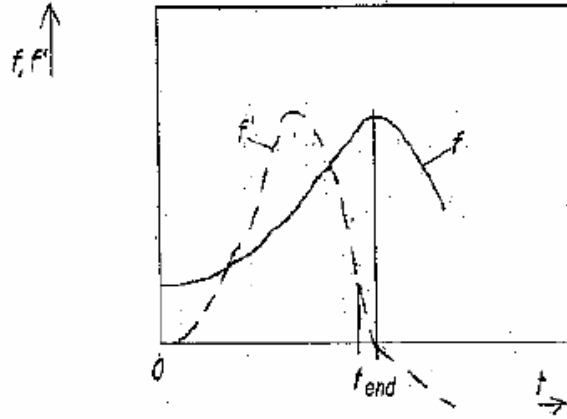
**Buluşu Yapan Kişi(ler)** Kruempelmann Thomas (DE), Sillmeb Ulrich (DE)

**Uygulayıcı(ları)** MIELE & CIE (DE)

Bu patent fırın içerisindeki gaz konsantrasyonu değişimini izleyerek pişirme işlemini otomatik olarak gerçekleştirmeyi sağlayan metot ve bu özelliğe sahip bir pişirme cihazına aittir. (Şekil 3.19) Gaz sensörünün yeri baca olarak verilmiştir. Anlatılan metotta pişirme iki bölüm halinde düşünülmektedir. İlk pişirme periyodunda gaz sensörünün çıkışındaki değerin değişim hızı ve ilk maksimum yapma süresi algılanmakta ve pişirmenin ikinci kısmı bu değerler kriter alınarak zamanlanmaktadır. (Şekil 3.20)

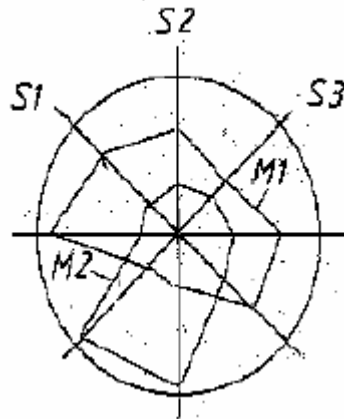


Şekil 3.19 Gaz algılayıcılı otomatik pişirme zamanlaması yapan fırına ait blok diyagramı.



Şekil 3.20 Gaz konsantrasyon eğrisi ve türevi.

Ayrıca iki farklı yemeğin aynı anda pişirilmesi gibi hallerde bir tek gaz sensörü ile her iki yemek içinde ayrı pişirme zamanı kestiriminin mümkün olamayacağı bu nedenle en az iki gaz sensörü (farklı gazlara hassasiyeti olan) daha kullanılması gerektiği söylenmektedir. (Şekil 3.21)



Şekil 3.21 Üç gaz sensörü ile iki farklı yemek(M1 ve M2) için elde edilen paternler.

### 3.2.3 Otomatik Kendi Kendini Temizleme

**Patent No** EP0528250

**Patent Adı** Automatable process of pyrolytic self-cleaning

**Yayınlanma Tarihi** 24.02.1993

**Buluşu Yapan Kişi(ler)** Has Uwe DIPL-ING (DE), Wallner Gottfried DIPL-ING (DE),  
Waigand Helmut DIPL-ING (DE),

Beifuss Wolfgang DIPL-ING (DE)

**Uygulayıcı(ları)**

BOSCH SIEMENS HAUSGERATE (DE)

Çeşitli nedenlerle kirlenen pişirme kabininin 480 ~ 500 °C sıcaklıklara ısıtılarak içerisinde bulunan artık maddelerin gaz ve toz haline getirilmesi kendi kendini temizleme (pyrolytic) olarak isimlendirilmektedir. Bu yolla fırın duvarlarına yapışmış kirler, gaz veya toz formuna geçer ve fırın içindeki havanın sirkülasyonu ile otomatik olarak temizlenmiş olur. Konvansiyonel kendi kendini temizleme özelliğine sahip fırınlarda, fırın sıcaklığının ne kadar süre boyunca 480 ~ 500 °C sıcaklıkta kalması gerektiği kirliliğin boyutuna bağlı olarak kullanıcı tarafından girilmektedir. Bu patentte anlatılan fırın kendi kendini temizleme işlemi sırasında fırın hacmi içerisinde kirlerden kaynaklanan gazların konsantrasyonunu ölçmekte ve gaz çıkışının azalmasına bağlı olarak ısıtmaya son vermektedir. Bu sayede gereksiz enerji ve zaman harcamalarının önüne geçilmektedir. Kullanılan gaz sensörü fırının egzoz bölümüne yerleştirilmiştir; hidrokarbon ve hidrojen gazlarına duyarlıdır.

### 3.2.4 Akıllı Kendi Kendini Temizleme

**Patent No**

EP0632232

**Patent Adı**

Stove having a pyrolytic self-cleaning provision

**Yayınlanma Tarihi**

04.01.1995

**Buluşu Yapan Kişi(ler)**

Has Uwe DIPL-ING (DE), Plankl Manfred DIPL-ING (DE)

**Uygulayıcı(ları)**

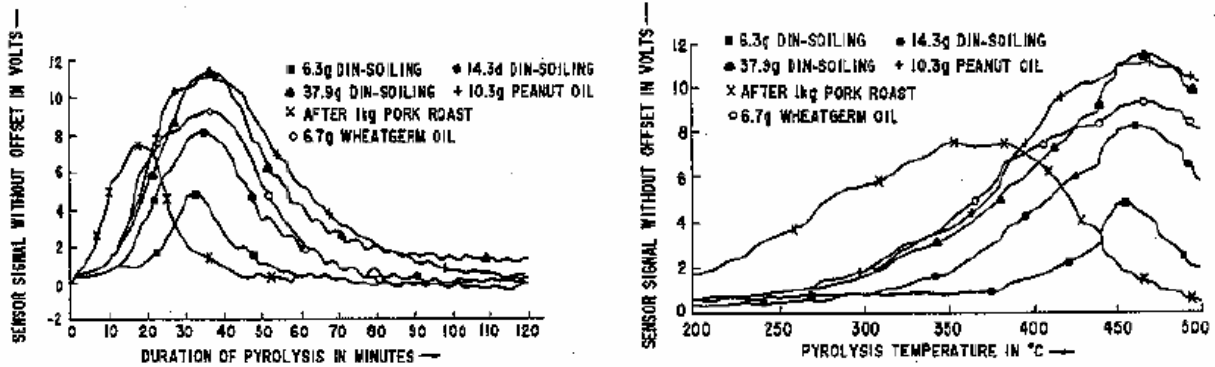
BOSCH SIEMENS HAUSGERATE (DE)

Kendi kendini temizleme özelliğine sahip bir fırında gaz sensörü kullanılmasıyla sağlanan yeniliklerden bahsedilmektedir. Temizleme işleminin sonlandırılması kararını gaz sensörü yardımıyla otomatik olarak verme özelliğine ek olarak, fırının temizleme yapma önerisi sunması sağlanmaktadır. Kızartma, kavurma, haşlama gibi herhangi bir kirlletici pişirme işlemi sırasında, fırından çıkan hava içerisindeki gaz miktarı gaz sensörü yardımıyla izlenmektedir. Pişirme işlemi sırasında fırın içerisindeki kirlenmenin ölçüsü olan gazların miktarı önceden belirlenen bir kirlilik sınırının aşıldığına işaret ettiğinde fırın kullanıcıya kendi kendini temizleme işleminin yapılmasını önermektedir.

### 3.2.5 Kendi Kendini Temizleme Süresinin ve Sıcaklığının Belirlenmesinde Gaz Sensörü ve Bulanık Mantık Kontrolü

|                        |                                                                |
|------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Patent No              | US5286943                                                      |
| Patent Adı             | Sensor-controlled oven pyrolysis utilizing fuzzy logic control |
| Yayınlanma Tarihi      | 15.02.1994                                                     |
| Buluşu Yapan Kişi(ler) | Has Uwe (DE)                                                   |
| Uygulayıcı(ları)       | BOSCH SIEMENS HAUSGERATE (DE)                                  |

Verilen kendi kendini temizleme özelliğine sahip fırında, fırın içindeki havanın dışarı atıldığı kanal içerisine yerleştirilmiş bir gaz sensöründen alınan işaret bulanık mantıkla işlenmektedir. Sensörden alınan işaret kendi kendini temizleme için gereken en düşük sıcaklık ve en kısa sürenin ne olması gerektiğine karar vermek için kullanılmaktadır. Bu sayede temizleme işleminin verimliliği maksimize edilmektedir. Değişik sensör çıkışlarına karşılık kararlaştırılan temizleme sıcaklıkları ve süreleri Şekil 3.22’ de verilmiştir.



Şekil 3.22 Gaz sensörü çıkışına bağlı temizleme sıcaklık ve süreleri.

### 3.3 Akıllı Pişirme İle İlgili Bazı Patentler

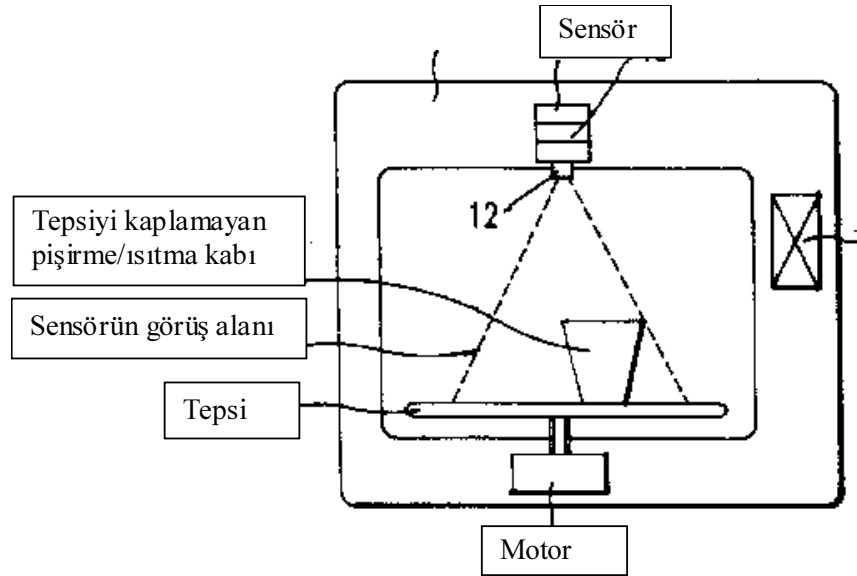
#### 3.3.1 Otomatik Pişirme İçin Gerekli Elemanlar Ve Metotlar

|                   |                                                               |
|-------------------|---------------------------------------------------------------|
| Patent No         | EP0717583                                                     |
| Patent Adı        | Automatic cooking controlling apparatus and method for cooker |
| Yayınlanma Tarihi | 19.06.1996                                                    |

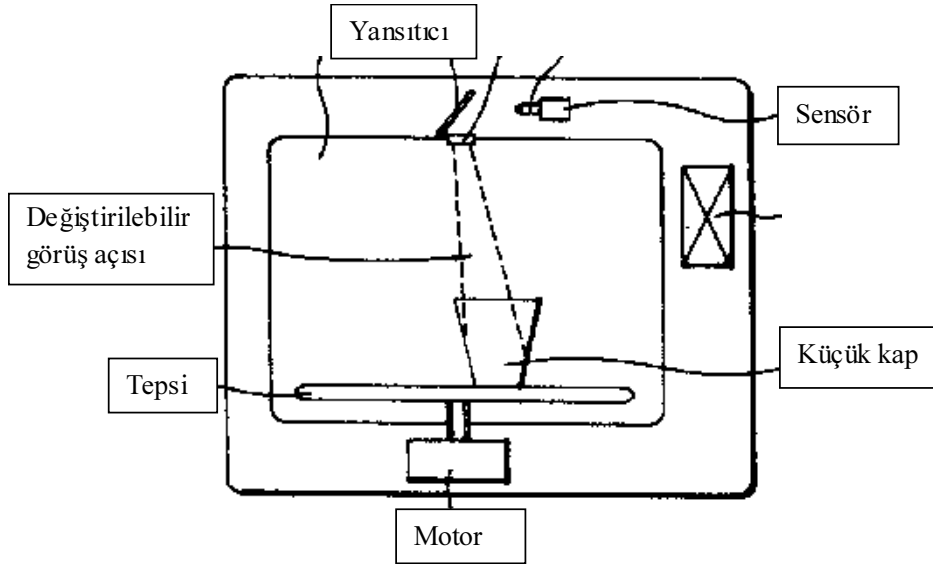
**Buluşu Yapan Kişi(ler)** Kim Tae Yoon (KR)

**Uygulayıcı(ları)** LG ELECTRONICS INC (KR)

Piştiricilerde otomatik bir pişirme için, pişirme ortamının ve pişirilen yiyeceğin durumunu algılamak için kullanılabilecek algılama düzenekleri ve algılanan bu verilerin kullanılacağı pişirme algoritmasına yer verilmektedir. Özgün olarak mikrodalga fırın içerisinde pişirilen malzemenin yüzeyindeki sıcaklığı ölçmek üzere pişirme tepsisine bakacak şekilde yerleştirilmiş bir kızılötesi sensör anlatılmaktadır. Pişirilen malzemenin, tepsinin her tarafını kaplamaması durumunda da sağlıklı ölçüm yapabilmek için sistemde pişirme tepsisi bir motor tarafından döndürülmektedir. (Şekil 3.23) Ayrıca sensörün görüş açısını değiştirilebilir kılan yansıtıcı ikinci bir sensör yerleştirme tekniği de verilmektedir. (Şekil 3.24) Kullanılan kızılötesi algılama yöntemi sayesinde fırın pişirme haznesinin değil doğrudan pişirilen yiyeceklerin yüzeyindeki sıcaklık algılandığından mikrodalga fırınlarda yeniden ısıtma veya buz çözme gibi işlemler esnasında karşılaşılan yiyeceğin sıcaklığın istenilen sıcaklığın üzerine çıkması ve/veya istenmeyen aşırı pişirme ve kaynatma gibi problemlerin önüne geçilmektedir.



Şekil 3.23 Kızıl ötesi sensörlü mikrodalga fırın.



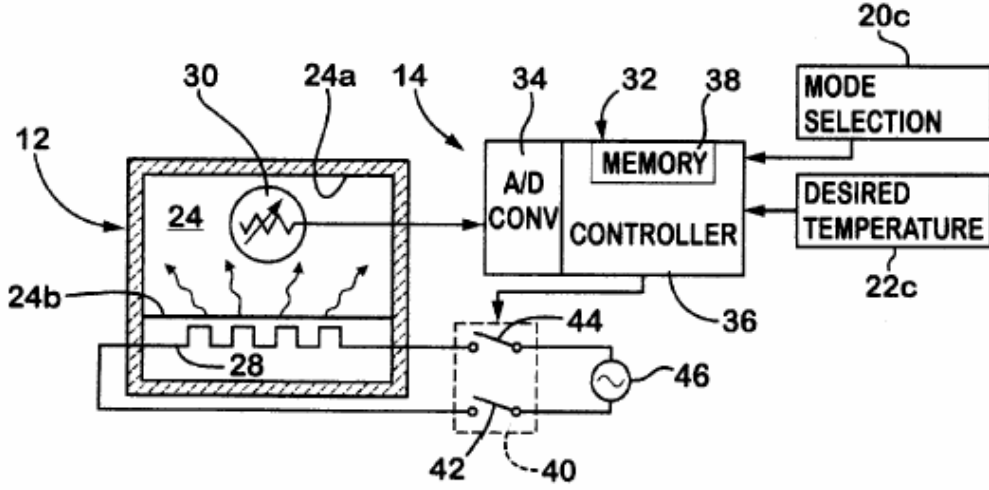
Şekil 3.24 Yansıtıcı sensör.

### 3.3.2 Fırında Ön Isıtma ile İlgili Metot ve Aparatlar

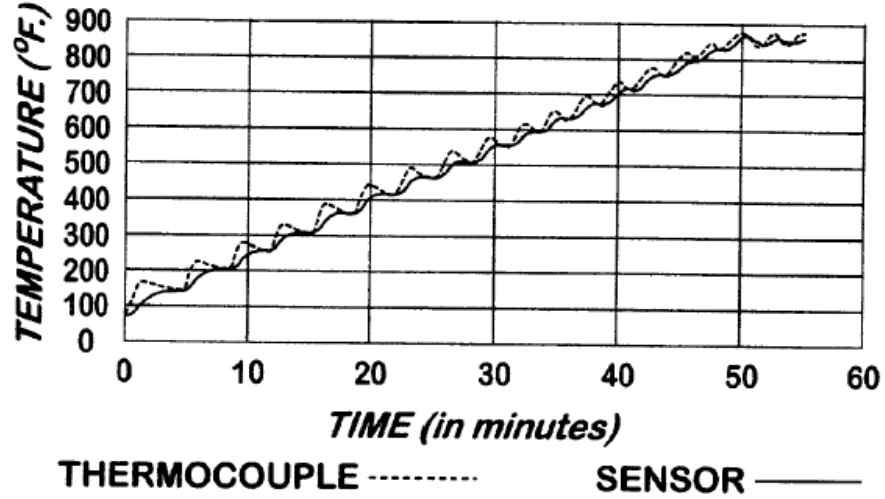
|                               |                                             |
|-------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>Patent No</b>              | US6201222                                   |
| <b>Patent Adı</b>             | Method and apparatus for preheating an oven |
| <b>Yayınlanma Tarihi</b>      | 13.03.2001                                  |
| <b>Buluşu Yapan Kişi(ler)</b> | Baker Richard L (US), Debeque Marvin L (US) |
| <b>Uygulayıcı(ları)</b>       | WHIRLPOOL CO (US)                           |

Anlatılan metot fırın içindeki sıcaklığın algılanması ve istenilen sıcaklığa varıldığında ısıtmanın sonlandırılması adımlarını ve kullanılan algoritmaları içermektedir. Sıcaklık artış hızının porselen gibi pişirme kaplarının çatlamasını ve yiyeceklerin alev almasını önleyecek şekilde kontrol altında olması sağlanmaktadır.

Ayrıca kavurma modu gibi yüksek ısı rejimine sahip pişirme veya fırının kendini temizlemesi gibi durumlarda da ısı artış eğim kontrolünün önemine değinilmiştir.



Şekil 3.25 Ön ısıtma (preheating) sisteminin blok diyagramı.



Şekil 3.26 Ön Isıtmada referans ve sensör çıkışları.

### 3.3.3 Optimum Pişirme İçin Yapay Sinir Ağı İle Pişirme Süresi Tayini

Patent No US5681496

Patent Adı

Apparatus for and method of controlling a microwave oven and a microwave oven controlled thereby

Yayınlanma Tarihi

28.01.1997

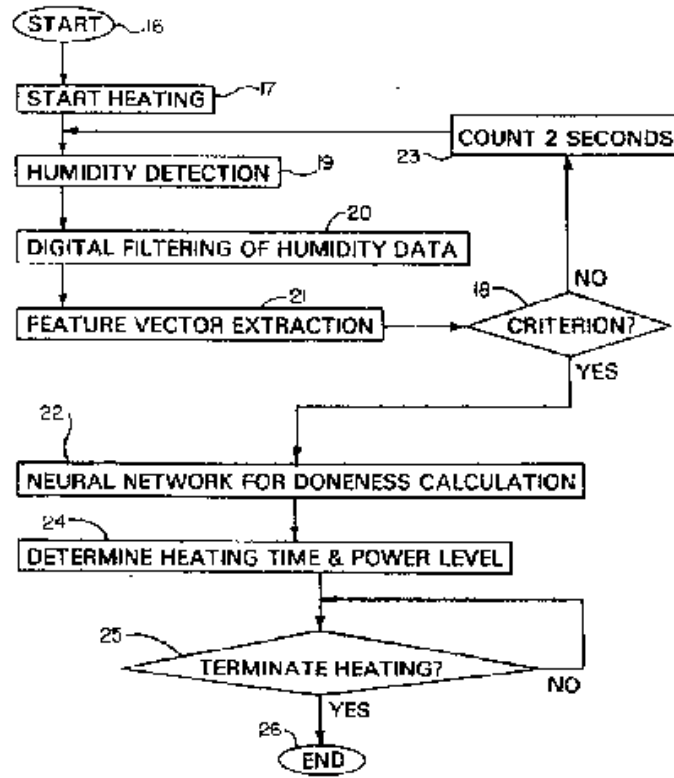
Buluşu Yapan Kişi(ler)

Michael James Brownlow, Oxford; Toshlo Nomura, Oxfordshire

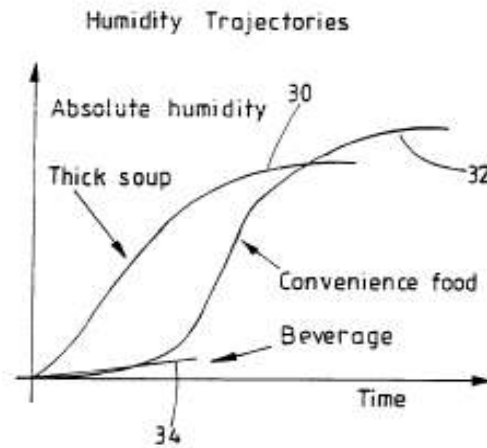
Uygulayıcı(ları)

SHARP KABUSHIKI KAISHA

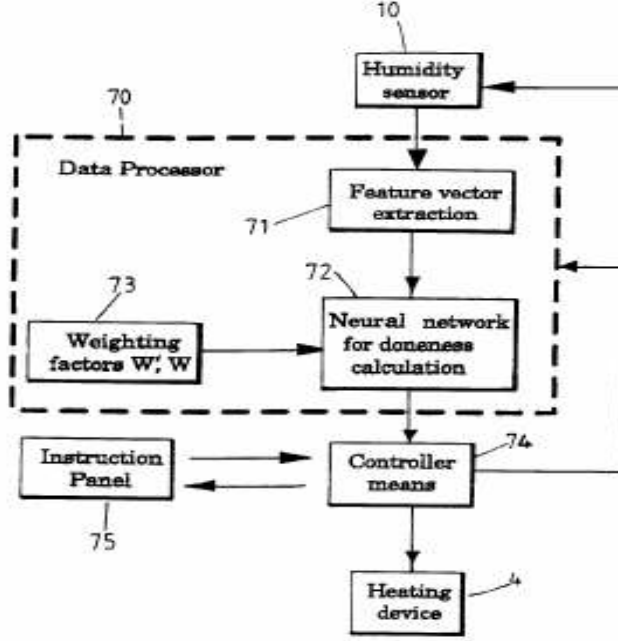
Nem datasını işleyerek pişirme rejimini ve pişirme sonlandırma kararını verme aşamasında yapay sinir ağı kullanılan bir algoritmadır.



Şekil 3.27 Isıtıcı gücü ve pişirme süresi ayarlamasının yapay sinir ağı tarafından yapıldığı otomatik pişirme algoritması.



Şekil 3.28 Farklı yiyecekler için nem-zaman eğrileri.



Şekil 3.29 Otomatik pişirme için yapay sinir ağı kullanan sistemin blok diyagramı.

### 3.3.4 Buhar (Nem) Üretme Üniteli Fırın

**Patent No** US5083505-EP0386862

**Patent Adı** Cooking apparatus

**Yayınlanma Tarihi** 28.01.1992

**Buluşu Yapan Kişi(ler)** Kohlstrung Peter [DE]; Lafuntal Ladislav [DE]

**Uygulayıcı(ları)** LECHMETALL LANDSBERG GMBH (DE)

Pişirme için uygun nem oranı, pişirilen yiyeceğin özelliğine bağlı olarak, fırın kapısının açılması veya ısıtma (yeniden ısıtma) yapılıyorsa pişirilen yiyecekte yeterli miktarda su olmaması gibi nedenlerle optimum pişirme için olması gereken değerin altına düştüğünde gereken nemi pişirme ortamına kazandırmak amacıyla ortama sıvı veya buhar salarak nem düzeyini arttırabilen bir sistem anlatılmaktadır.

Ayrıca nem oranını düşürmek gerektiğinde bu işi gerçekleştirmek üzere üfleyici ve yoğunlaştırıcı gibi bölümleri olan bir havalandırma ünitesi de fırın içerisindeki nemin her koşulda istenilen düzeyde tutulmasına olanak sağlamaktadır.

### 3.3.5 Yavaş Pişirme Modu (Güveç Modu)

**Patent No** US2004094539

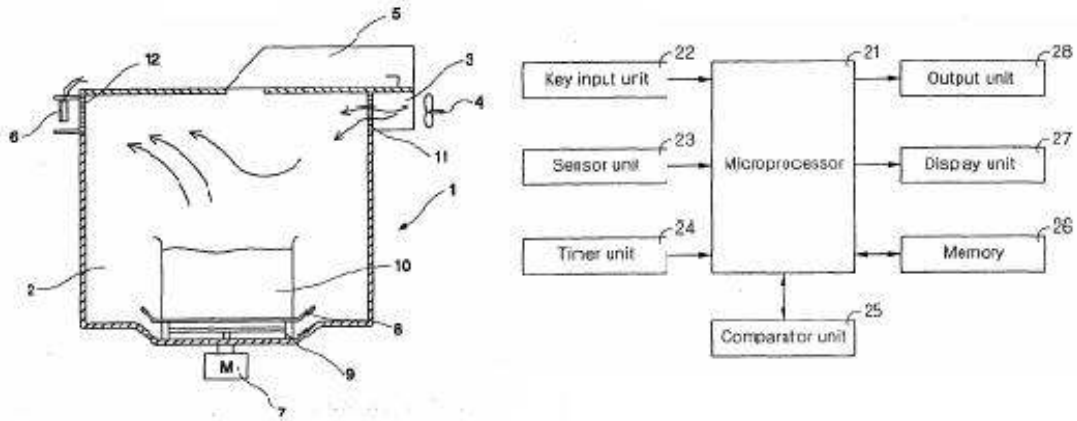
**Patent Adı** Cooking apparatus

**Yayınlanma Tarihi** 20.05.2004

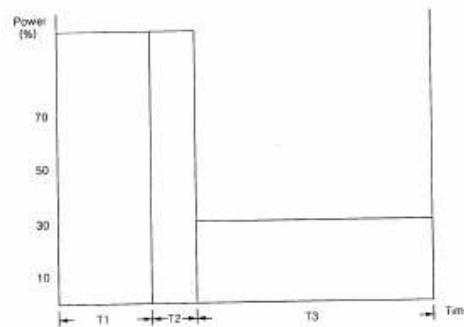
**Buluşu Yapan Kişi(ler)** Kim Kwang Hwa (KR)

**Uygulayıcı(ları)** MCKENNA LONG & ALDRIDGE LLP (US)

Piştirme kabinindeki nemi takip ederek güveç gibi yemekler için yavaş piştirme sağlayan, lezzetli piştirme için uygun ısıtıcı gücünü seçen ve piştirme süresini uygunlaştıran mikrodalga fırın tarif edilmiştir. Üç aşamalı bir piştirme söz konusudur. Piştirmeye önceden belirlenmiş olan süre boyunca tam güçle başlanır ve diğer aşamalar bu süre de elde edilen nem değerine göre kontrol edilir.



Şekil 3.30 Piştirme kabinindeki nemi takip ederek güveç gibi yemekler için yavaş piştirme sağlayan fırının kesiti ve blok diyagramı.



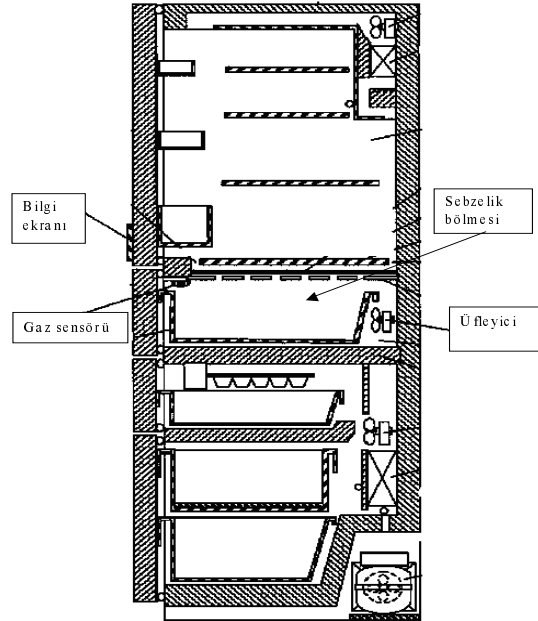
Şekil 3.31 Isıtıcı gücünün ayarlanması.

### 3.4 Buzdolabında Gaz Ve Nem Sensörlerinin Kullanımı

#### 3.4.1 Buzdolabında Meyve-Sebze Bozulma Algılama Ve Tazelik Kontrolü

|                        |                                                             |
|------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Patent No              | JP2002195971                                                |
| Patent Adı             | Refrigerator                                                |
| Yayınlanma Tarihi      | 10.07.2002                                                  |
| Buluşu Yapan Kişi(ler) | Kakita Kenichi, Ota Shuji, Ogino Tsuyoshi, Inoue Yoshikatsu |
| Uygulayıcı(ları)       | MATSUSHITA REFRIG CO LTD                                    |

Buzdolabı içerisinde meyve-sebze gibi besinlerin (garden stuff) saklandığı sebzelik bölmesinin havası içerisinde, çürümeyle (bozulmanın başlamasıyla) ortaya çıkan gazların konsantrasyonu ölçülür. Kullanılan gaz sensörü *etilen*, *aldehid*, *alkol*, *sülfür* ve *amonyak* grubu gazlara duyarlıdır. Algılanan bu gazların konsantrasyonunun belirli bir eşiği aşmasıyla sebzelik içerisindeki havayı üfleyen bir fan çalıştırılır. Bu sayede gazların ortamdan uzaklaştırılması ve yiyeceklerin taze kalma süresinin uzaması amaçlanır. Eğer üfleme yoluyla havanın tazelenmesine rağmen hızla çürüme gazları algılanıyorsa yiyecekler bozuldu anlamında kullanıcı bir ekran aracılığı ile uyarılır. (Şekil 3.32)



Şekil 3.32 Sebzelik içerisinde gaz algılayan buzdolabı.

### 3.4.2 Gaz Sensörlü Soğutucu

|                               |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Patent No</b>              | WO2005047788                        |
| <b>Patent Adı</b>             | Cooler comprising gas sensor        |
| <b>Yayınlanma Tarihi</b>      | 26.05.2005                          |
| <b>Buluşu Yapan Kişi(ler)</b> | Aydın Hekimoğlu                     |
| <b>Uygulayıcı(ları)</b>       | VESTEL BEYAZ ESYA SANAYİ VE Tİ (TR) |

Buzdolabında sebzelik etrafında veya kapı içerisine yerleştirilen gaz sensörleri ile sebze-meyvelerden bozulma/çürüme süreci esnasında serbest kalan gazların konsantrasyonunun algılanması ve belirli bir değeri aştığında kullanıcıya uyarı verilmesi yöntemine yer verilmektedir.

Kullanıcıya hem sesli hem de ışıklı uyarı verilmektedir. Gaz konsantrasyonu eşik değeri aştığında ışıklı bir gösterge aktifleştirilir; bundan sonra yine gaz miktarı artarak ikinci bir sınır değeri daha geçerse sesli uyarı yapılmaktadır.

Vestel' in patentinde ise yiyecek bozulmaya başladığı an kullanıcının uyarılması öngörülmektedir. Patentte verilen buzdolabı en az bir kapılı, sebzelik kısmı olan ve gaz sensörleri en az 1 adet olmak üzere buzdolabı sebzelik içerisine ve soğutucu kapısına yerleştirilmiştir. Gaz sensörü türü ve algılanması gerekli hedef gaz türü belirtilmemiştir. Buzdolabı kontrolü mikroişlemci ile yapılmaktadır. Kullanıcıyı bilgilendirmek için sesli veya ürün ön kullanıcı paneli vasıtasıyla görsel uyarı mevcuttur.

Sebzelik kısmına yerleştirilmiş olan gaz sensörü en az 1 adet sebzelik kısmında yan duvar üzerinde, en az 1 adet sebzelik kısmında arka duvar üzerinde ve en az 1 adet soğutucu kapı kolu üzerinde bulunmaktadır.

### 3.4.3 Buzdolabı İçerisindeki Havayı Sterilize Etme/Koku Giderme Birimi

|                               |                                                              |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Patent No</b>              | US5230220                                                    |
| <b>Patent Adı</b>             | Sterilizing/deodorizing apparatus for use in a refrigerator. |
| <b>Yayınlanma Tarihi</b>      | 27.07.1993                                                   |
| <b>Buluşu Yapan Kişi(ler)</b> | Kang Sung C (KR); Kim Kyung M (KR)                           |

**Uygulayıcı(ları)**

SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD (KR)

Buzdolabı içerisindeki havada bulunan bakteriler ve yiyecekler üzerinde bozucu etkileri bulunan veya hoş kokulu olmayan gazları ortamdan uzaklaştırmayı sağlayan bir sterilizasyon /koku giderme ünitesi patentlenmiştir. Bu ünite buzdolabı içerisindeki havayı kendi içerisine çeken ve gerekiyorsa ozon harcayan katalitik bir reaksiyonla sterilizasyonu gerçekleştiren ve buradan buzdolabı içerisine geri verilecek olan havada olması istenmeyen artık ozonu da okside ederek elemine eden iki kısımdan oluşmaktadır. Bu koku giderme birimi sterilizasyon/koku giderme işleminin gerekliliğini buzdolabı üzerindeki gaz detektörü ve sıcaklık sensöründen gelen bilgileri kullanarak otomatik olarak belirlemektedir.

#### **3.4.4 Çürüme Gazlarını Algılama Elemanı Ve Uygulamaları**

**Patent No**

EP0509328

**Patent Adı**

Method of detecting minute gas component in ambience and applied devices

**Yayınlanma Tarihi**

21.10.1992

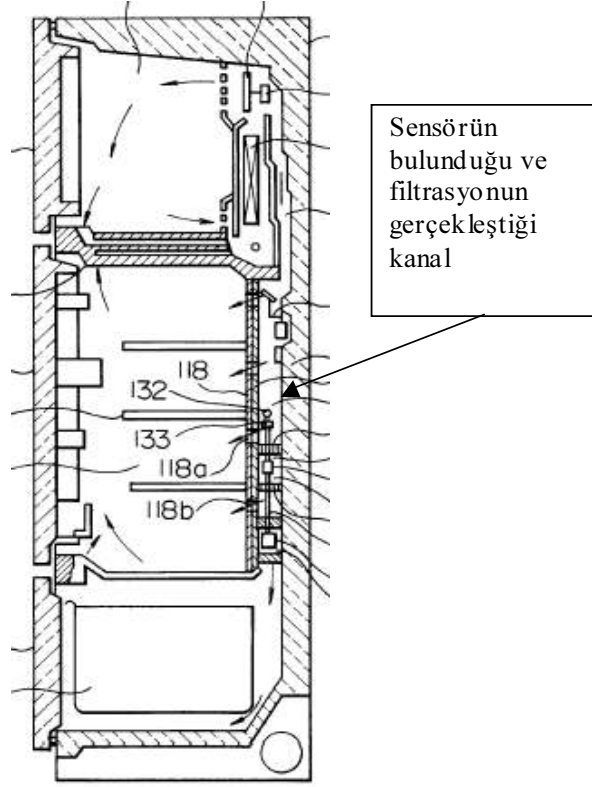
**Buluşu Yapan Kişi(ler)**

Arai Yuko, Honda Takashi, Ohnaka Noriyuki (JP)

**Uygulayıcı(ları)**

HITACHI (JP)

Ortamda bulunan hedef gazın çok düşük konsantrasyonlarını algılayabilmek ve yüksek hassasiyetle monitör etmek için kullanılan sensör, metot ve çeşitli uygulamalarını (gaz detektörü, iklimlendirme cihazları, otomobil, buzdolabı gibi ) içeren bir patenttir. Tarif edilen işlemler ultrasonik titreşimli ince film piezoelektrik malzeme kullanılarak üretilmiş hassas bir gaz sensörü kullanılarak yapılmaktadır. Özel olarak bu tip sensör entegre edilmiş bir buzdolabı uygulaması verilmiştir. Oluşan gazların konsantrasyonu sensör ve sinyal işleme devresi ile algılanır. Eğer yiyeceklerin bozulmasını hızlandırabilecek ofansif gazlar algılanırsa buzdolabının havası ozonlu bir filtre içerisinden geçirmek suretiyle temizlenmeye çalışılır. Okunan gaz değerleri buna rağmen sınırı aştığında kullanıcıya uyarı verilir.

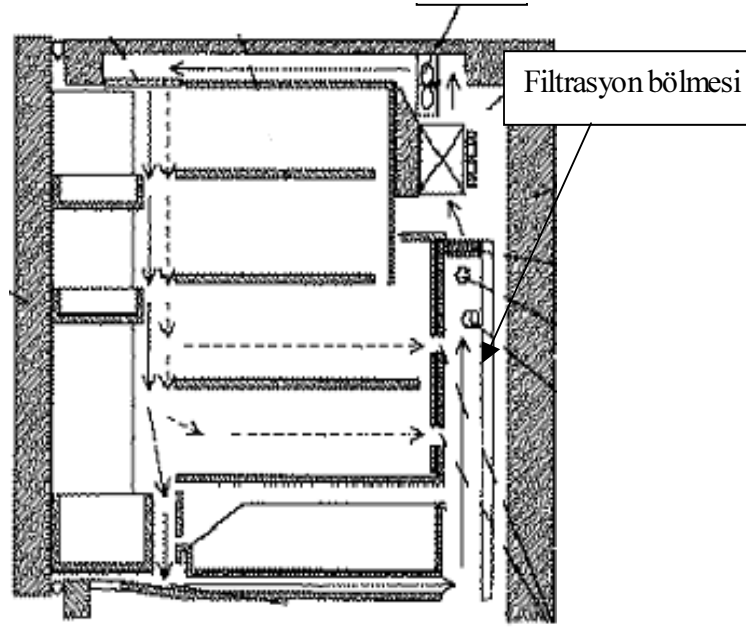


Şekil 3.33 İçerisindeki gazları takip eden buzdolabı.

### 3.4.5 Saklama Ortamındaki Gazları/Kokuyu Algılayan Ve Seviyesini Düzenleyen Buzdolabı

|                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Patent No</b>              | JP200432039                       |
| <b>Patent Adı</b>             | Refrigerator                      |
| <b>Yayınlanma Tarihi</b>      | 18.11.2004                        |
| <b>Buluşu Yapan Kişi(ler)</b> | Morishita Kenichi, Sasabe Shigeru |
| <b>Uygulayıcı(ları)</b>       | MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD    |

Bu patentte soğutma alanı içerisindeki koku/gaz konsantrasyonunun hedeflenen seviyelerde tutulabilmesi için ultraviyole lamba içeren bir koku giderme filtresi ekipmanları ve bu sistemin sahip olması gereken bazı özellikler anlatılmaktadır. Ultraviyole lamba içeren böyle bir dolapta soğutma gazının alev alıcı (yanıcı) özellikte olmaması veya lambanın böyle bir tehlikeye yol açmayacak şekilde elektrotsuz olması gerektiği söylenmektedir.



Şekil 3.34 Ultraviyole lambalı koku filtresi olan buzdolabından bir kesit.

Koku giderme işlemin buzdolabının kapısı kapatıldığında saklama ortamı içerisindeki havanın filtre içine üflenerek temizlenmesiyle gerçekleştirdiği anlaşılmaktadır

#### 3.4.6 Koku Sensörlü Ve Soğuk Katot Ultraviyole Lambalı Koku Filtresi Olan Buzdolabı

|                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| <b>Patent No</b>              | JP2003279233      |
| <b>Patent Adı</b>             | Home Refrigerator |
| <b>Yayınlanma Tarihi</b>      | 02.10.2003        |
| <b>Buluşu Yapan Kişi(ler)</b> | Abe Takumi        |
| <b>Uygulayıcı(ları)</b>       | SANYO CO LTD      |

Bu patentte buzdolabı içerisindeki havayı kokulardan temizlemek için geliştirilmiş bir düzenek tarif edilmektedir. Saklama bölmelerindeki hava, girişinde koku sensörü ve içerisinde soğuk katotlu ultraviyole flüoresan lamba olan odacığa üflenir. Koku sensöründen alınan değer havanın temizlenmesi gerektiğini işaret ettiğinde lamba devreye girerek koku giderme işlemini gerçekleştirir.

### 3.4.7 Sebze/Meyve Bölmesinde Bozulma Olduğunda Kullanıcıyı Uyaran Buzdolabı

|                               |                          |
|-------------------------------|--------------------------|
| <b>Patent No</b>              | JP2003247773             |
| <b>Patent Adı</b>             | Refrigerator             |
| <b>Yayınlanma Tarihi</b>      | 05.09.2003               |
| <b>Buluşu Yapan Kişi(ler)</b> | Nakama Hiroto            |
| <b>Uygulayıcı(ları)</b>       | MATSUSHITA REFRIG CO LTD |

Sebzeliğe yerleştirilen gaz sensörü ile ortamdaki gaz miktarını algılayan ve buna bağlı olarak yiyeceklerin tazeliğini uzun süre koruması için tazelik yönetimi yapan bir buzdolabının patentidir. Ayrıca saklanan yiyeceklerin durumu buzdolabının ön tarafında bulunan kullanıcı arayüzü aracılığı ile kullanıcıya gösterilmektedir.

### 3.4.8 Sebze/Meyve İçin Tazelik Kontrolü

|                               |                                                 |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Patent No</b>              | JP2003075383                                    |
| <b>Patent Adı</b>             | Controller for freshness of fruit and vegetable |
| <b>Yayınlanma Tarihi</b>      | 12.03.2003                                      |
| <b>Buluşu Yapan Kişi(ler)</b> | Hirota Masanori, Matsumo Takuya, Fukui Hideki   |
| <b>Uygulayıcı(ları)</b>       | MATSUSHITA REFRIG CO LTD                        |

Bu patentte buzdolabında saklanan sebze ve meyvelerin tazeliğinin kontrol edilmesini sağlayan bir sisteme ait ekipman ve metotlara yer verilmiştir. Sebzeliğe yerleştirilmiş bulunan ve gaz konsantrasyonu değişimini gerilim değişimi olarak aktaran bir sensör ve sensör verilerini değerlendiren ve tazelik durumu hakkında kullanıcıyı bilgilendiren bir mikroişlemcili sistem tariflenmektedir.

### 3.4.9 Sebzelikte Saklanan Yiyecekler Bozulmadan Önce Uyarı Veren Buzdolabı

|                   |              |
|-------------------|--------------|
| <b>Patent No</b>  | JP2002267338 |
| <b>Patent Adı</b> | Refrigerator |

**Yayınlanma Tarihi** 18.09.2003

**Buluşu Yapan Kişi(ler)** Matsumo Takuya, Tsujimoto Kahoru, Takeuchi Kazuyoshi, Fukuda Masaru, Michimune Yoshikoi, Sato Takao, Tanaka Sumiko, Nakamura Atsushi

**Uygulayıcı(ları)** MATSUSHITA REFRIG CO LTD

Sebze/meyve cinsi yiyeceklerin bozulma süreci içerisinde çıkardıkları çeşitli gazlardan birinin veya bir kısmının ortam içerisinde belli bir miktara ulaşması yiyeceğin bozulmaya başladığını göstermektedir. Anlatılan sistemde buzdolabının sebzelik bölmesine yerleştirilen bir gaz sensörüyle bahsedilen gazların ortamda hangi konsantrasyonda olduğu ölçülmekte ve sensörden alınan bilgiye bağlı olarak sesli veya ışıklı bir uyarı verilmektedir. Bu sayede kullanıcı buzdolabını hiç açmadan sebzelikteki yiyeceklerinin tazeliği hakkında bilgi sahibi olmaktadır.

#### **3.4.10 Buzdolabı İçin Gaz/Koku Kontrolörü**

**Patent No** JP2126086

**Patent Adı** Odor controller for refrigerator

**Yayınlanma Tarihi** 15.05.1990

**Buluşu Yapan Kişi(ler)** Okano Rie

**Uygulayıcı(ları)** FIGARO ENG INC

Buzdolabında koku giderme işleminin yapılması kararının verilmesi işleminin; gaz sensöründen gelen işaretin yanında sıcaklık ve nemin göz önüne alınarak daha sağlıklı olarak verildiği bir kontrol yapısı anlatılmaktadır. Bu sayede koku gidericinin basit bir geri beslemeli sistemle hassas olarak kontrol edildiği belirtilmektedir.

#### **3.4.11 Buzdolabında Biyosensörler**

**Patent No** WO0106248

**Patent Adı** Biosensors for monitoring air conditioning and refrigeration

**Yayınlanma Tarihi** 25.01.2001

**Buluşu Yapan Kişi(ler)** Chatterjee Sharmista, Satyapal Sunita, Michels Harvwy

**Uygulayıcı(ları)** CARRIER CORP (US)

Gerçek zamanlı olarak ilgilenilen ortam havasındaki biyolojik komponentleri algılayan, monitör eden biyosensörlü bir sistem patentidir. Biyosensörler bir veya daha fazla biyolojik elemanın ortamdaki yoğunluklarını ölçülebilir bir elektriksel sinyale çeviren çeşitli algılama biçimlerine sahip sensörlerdir; enzimlere, antijenlere, hücrelere, organellere, bakterilere ya da uçucu organiklere duyarlı olabilirler. Biyosensörlerin havalandırma(ısıtma, soğutma, iklimlendirme) ve saklama(buzdolabı, soğuk hava deposu) sistemlerinde kullanılabileceği söylenmektedir. Buzdolabında herhangi bir bölmenin havası içerisinde bulunması istenmeyen bir biyolojik komponentin algılanması filtrelemenin veya kullanıcıya uyarı vermenin ilk adımını oluşturmaktadır. Bu patentte de buzdolabında tazelik yönetimi yapmaya imkan verebilecek; gayet ayrıntılı algılamaya imkan veren düzeneklerin bulunduğu anlatılmaktadır. Örneğin ticari olarak ulaşılabilir durumda bulunan *Legionella* veya *E-coli* bakterilerine duyarlı sensörlerin bulunduğu söylenmektedir.

### 3.5 Patent Araştırması Sonuçları

Yapılan patent taraması sonucunda akıllı bir pişirme için gereken bilgilerin nem ve gaz sensörleri ile elde edilmesi ve bu bilgiler ile nem ve sıcaklık kontrolü yapılarak kullanıcı memnuniyeti sağlayacak kaliteli pişirme sağlamanın mümkün olduğu görülmüştür. Sensörlerden elde edilen bilgiler uygun pişirmeyi gerçekleştirmek için fırının ilgili komponentlerini kumanda edecek otomatik kontrol sisteminin giriş büyüklükleri olarak kullanılmaktadır. Fırında pişirmenin başlangıç aşamalarında alınan nem bilgisi ile pişirilmekte olunan yiyeceğin miktarı ve türü belirlenebilmektedir. Gaz sensörü pişirme ortamından elde edinilen verilerin analizi ile yiyecek türünün, pişirme süresinin belirlenmesinde ve komponentlerin sağlıklı ve kaliteli pişirmeyi sağlayacak şekilde kontrol edilmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Buzdolabında özel tasarlanmış bir bölmede (örn. sebzelik) belirli tür yiyecek grupları için sıcaklık, nem ve gaz algılama ile yiyeceğin tazeliğinin algılanması mümkündür. Gaz sensörleri yiyecek türüne uygun saklama koşullarının temin edilmesi ve yiyeceklerin saklama sürelerini arttırmanın yanında, yiyecekler bozulduğu zaman kullanıcının uyarılmasına da olanak vermektedir.

Gaz sensörü tarafından algılanan gaz konsantrasyonu değeri önceden belirlenen veya sistem tarafından yiyecek buzdolabına konulduğunda belirlenen eşik değerlerini aştığında, görsel ve

işitsel yollarla yiyeceğin durumu hakkında kullanıcının bilgilendirildiği düzeneklere ait patentler, buzdolabında gaz algılama ilgili patentlerin büyük kısmını oluşturmaktadır. Ayrıca sadece gaz konsantrasyonunu algılayan ve gerektiğinde havayı bu istenmeyen gazlardan ve/veya bakterilerden temizleyen filtre üniteleri olan sistemlerin patentleri bulunmaktadır.

Konuyla ilgili patentlerin sayısındaki artışında gösterdiği gibi nem ve gaz sensörlerinin kullanılmasıyla kullanıcıların kazandığı kolaylık ve ekonomi göz önüne alındığında yakın bir gelecek içinde nem ve/veya gaz sensörlü fırınların ve buzdolaplarının şu an olduğundan çok daha yaygın olarak kullanılan ve aranılan ürünler haline geleceğini söylemek mümkündür.

#### 4. NEM VE GAZ ALGILAMA YAPAN BİR TİCARİ FIRININ İNCELENMESİ

Bu bölümde elektronik birimlerinin dizaynı için gereken bilgi altyapısının oluşturulması hedeflenen nem ve/veya gaz algılaması yapan bir fırın için tecrübe sağlayabilecek bazı ürünlere üzerinde yapılan incelemelere yer verilmiştir. Bu amaçla üzerinde nem sensörü veya nemlendirme ünitesi bulunan AEG Competence ve ElcoBrandt grubu markalarından olan De Dietrich DP490X model elektrikli ankastre fırınlar incelenmiş; edinilen sonuçlara yer verilmiştir.

Yapılan literatür araştırmaları sonucu ticari olarak satılan ve üzerinde nem sensörü veya nemlendirme ünitesi olan iki adet elektrikli ankastre fırın tespit edilmiştir. Bunlar AEG Competence ve De Dietrich DP490X model numaralı ürünlerdir.

##### 4.1.1 De Dietrich DP490X/Arçelik PF860

De Dietrich DP490X elektrikli ankastre fırın, Arçelik PF860 ürün kodu ile Türkiye pazarında da satılmaktadır. Ürüne ait temel özellikler aşağıda verilmiştir:

- Turbo Modu
- Izgara Modu
- Piroolitik Temizleme Fonksiyonu
- Özel Baca Tasarımı ve Soğuk Kapak/Kapı Özelliği
- Akıllı Pişirme Sistemi (Nem/Koku algılama)

##### 4.1.2 Kavramsal İnceleme

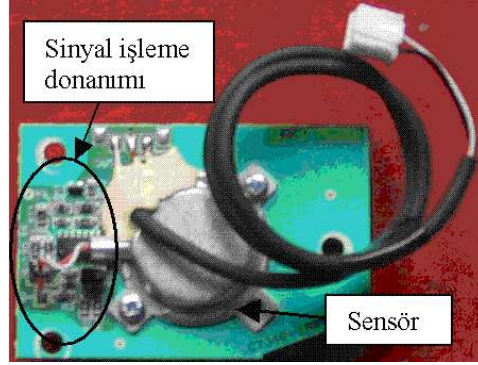
İngiltere’de De Dietrich markası altında satılan DOP 490X model numaralı ürün incelenmiştir. Bu ürün üzerinde “*Multifunction Plus Pyroclean ICS Matrics*” konsepti ile pazarlanmaktadır. “ICS” kısaltması “*Akıllı Pişirme Sistemi (Intelligent Cooking System)*” kelimelerinin baş harflerinden gelmektedir.

##### 4.1.3 Nem Sensörün İncelenmesi

De Dietrich DOP 490X model elektrikli ankastre fırında nem algılamak üzere mutlak nem sensörü kullanılmış ve fırın baca kısmına yerleştirilmiştir. Fırın soğuk kapak özelliği ile birlikte gelen soğuk havanın baca yapısı içerisinde basma kanalı üst tavanından içeri bakacak şekilde yerleştirilmiştir.

Fırında nem algılamak üzere kullanılan mutlak nem sensörü, OHMIC Instruments firmasının ABS-300 model numaralı ürünüdür. Bu sensör algılama mekanizması ısı iletkenlik prensibine dayanan bir mutlak nem sensörüdür.

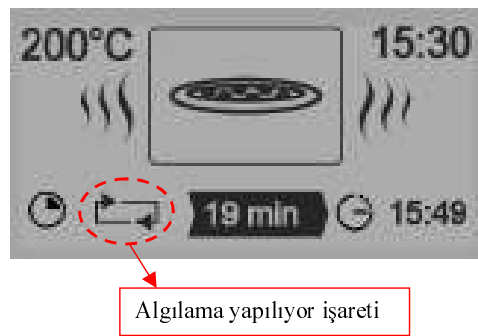
Sensör 15V DC gerilim ile beslenmekte ve 0-13mV arasında çıkış vermektedir. Sensör fırın üzerinde, sinyal işleme donanımı ile entegre kullanılmıştır. Bu kart enstrümantasyon kuvvetlendiricisi olarak kullanılabilen *National Semiconductor* firmasına ait LMC6044 entegresi ve çevre birimlerini içermekte ve besleme, toprak ve çıkış uçlarını içeren üç uçlu bir konnektör ile fırın elektronik kontrol kartına bağlanmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Ürün üzerinde bulunan sensör kartı.

#### 4.1.4 De Dietrich DP490X Fırının Kullanıma İlişkin Bilgiler

Ürün kullanma kılavuzu ve kontrol paneli üzerindeki menüler incelenerek, ICS menüsü altında bulunan pişirme programları dışında nem algılama veya kontrol özelliklerinin kullanılmadığı görülmüştür. Ürün kullanma kılavuzunda fırında sensör kullanılarak nem ve koku algılaması yapıldığı anlarda, ekranda aşağıdaki işaretin belireceği (Şekil 4.2) ve bu esnada fırın kapısının açılması durumunda algılamanın yanlış yapılacağı bilgisi verilemektedir.



Şekil 4.2 Fırın ekranında algılamanın gösterilmesi.

“Akıllı Pişirme Sistemi” menüsü aşağıdaki özellikleri içermektedir:

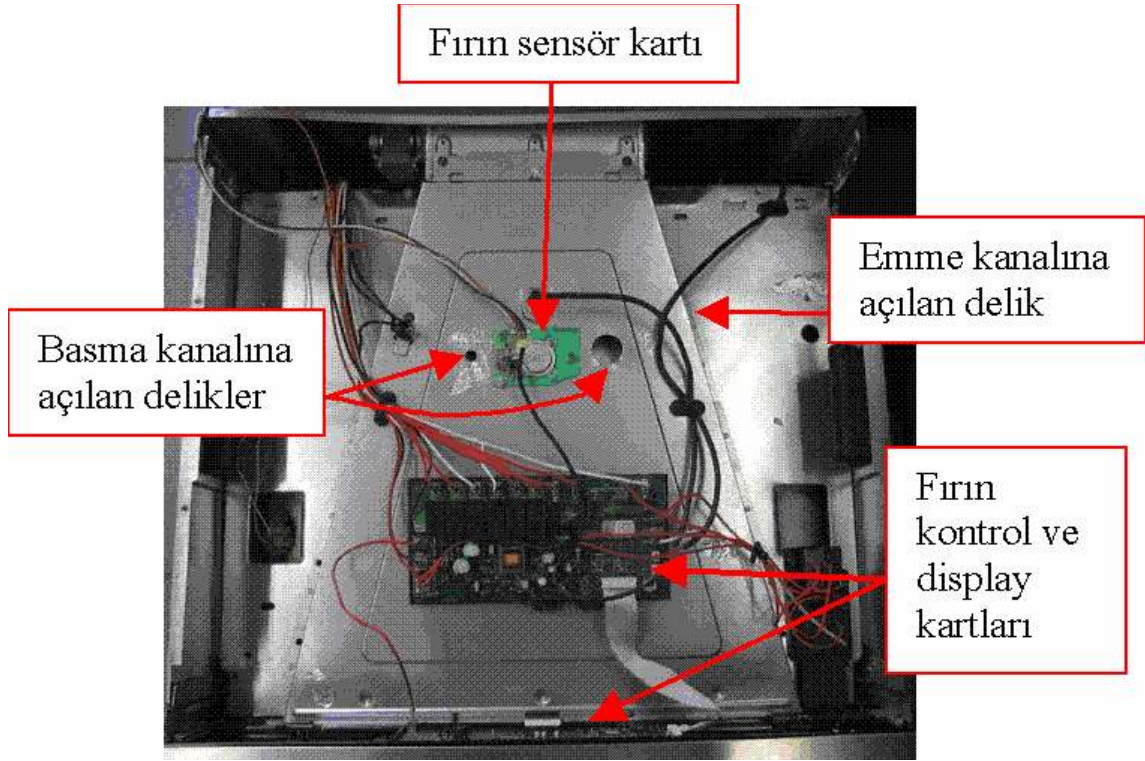
- Bu pişirme menüsü altında *Pizza*, *Turta*, *Rosto*, *Tavuk*, *Kuzu*, *Balık*, *Sebzeler*, *Kekler*, *Çörekler* ve *Sufle* gibi pişirme modları bulunmaktadır.

- Kullanıcı tarafından bu pişirme modlarından herhangi birisi seçildiğinde, kullanıcıdan herhangi bir *sıcaklık* veya *süre* girdisi istenmemektedir. *Pişirme sıcaklığı* ve *süresi* ilgili değerler ilgili pişirme modunun seçilmesi ile ekranda otomatik olarak gösterilmekte ve değiştirilememektedir.
- Bir sonraki adımda ekranda seçilen moda göre kullanıcıya hangi *tepsi konumunun* kullanılması gerektiği önerilmekte ve ardından pişirmeye başlamak için onay istenmektedir.
- Fırında “*Kendi Kendini Temizleme Özelliği*” için iki seçenekli bir menü bulunmaktadır. Bunlardan biri *Pyromax* olarak adlandırılmıştır ve 2 saat süren *sabit süreli* bir temizleme işlemini gerçekleştirmektedir. Diğer pirolitik temizleme modu *Pyrocontrol* olarak isimlendirilmekte ve kavitenin kirlilik seviyesi ısı iletkenlik sensörü ile algılanarak optimum temizleme süresi otomatik olarak belirlenmektedir.

#### 4.1.5 Ölçüm Sistemi

De Dietrich DOP 490X elektrikli ankastre fırının nem algılama sistemini incelemek ve bilgi edinmek için bir ölçme ve veri toplama sistemi hazırlanmıştır. Bu amaçla ölçme ve veri toplama sistemi üzerinde nem ölçmek amacıyla 4 adet sensör kullanılmıştır (Şekil 4.3):

- Fırın bacası içerisine yerleştirilen ve mutlak nem algılamada kullanılan nem sensörün çıkışı incelenmiştir. Bu sayede sensör çıkış sinyalinin, ilgili pişirme programlarında değişimi ve elektriksel karakteri hakkında bilgi edinmek amaçlanmıştır.
- Basma kanalı içerisine fırın sensörünün hemen yanına bir termokuplör ile birlikte, Honeywell HIH3610 bağıl nem sensörü yerleştirilmiştir. Bu durumda bacadaki mutlak nem fırın sensöründen okunmuş, bağıl nem sensörü verisi ve hemen yanındaki termokuplörden alınan sıcaklık bilgisiyle de referans veriler edinilmiştir.
- Fırın bacasında emme kanalı içerisine bir termokuplör ile birlikte Honeywell HIH4000 bağıl nem sensörü konumlandırılmıştır.

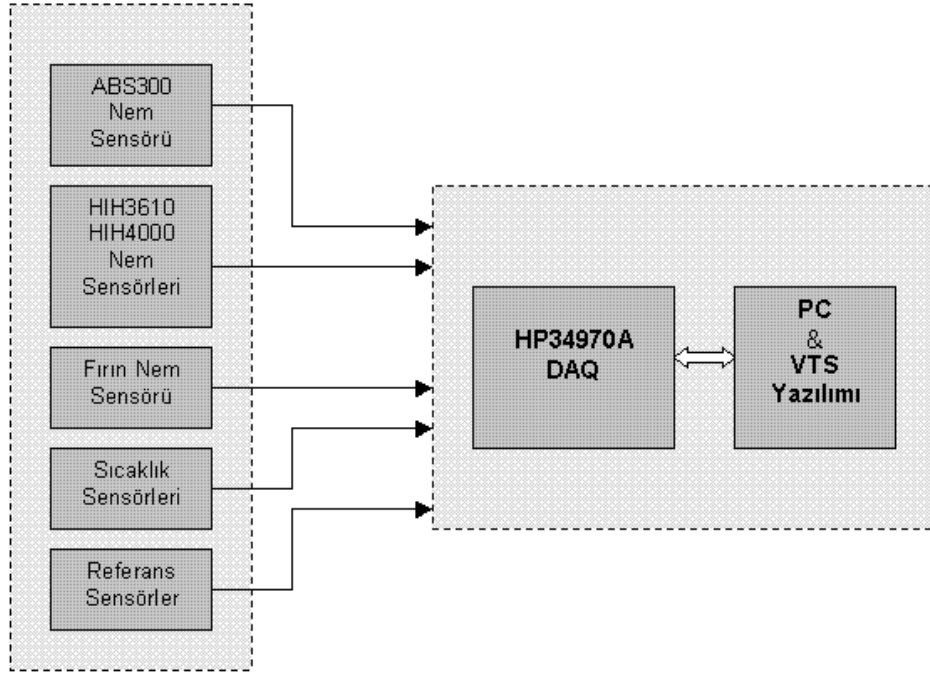


Şekil 4.3. Bacanın üstten görünümü ve sensör yerleşimleri.

- Fırın içerisinde orta noktaya bir OHMIC ABS-300 mutlak nem sensörü yerleştirilmiştir. Doğrudan fırın kavitesi içerisine nem sensörü yerleştirmek hem konstrüksiyon hem de bazı pişirme programlarındaki yüksek sıcaklık nedeniyle mümkün değildir. Bu nedenle nem sensörü bacaya yerleştirilmekte ve fırın orta noktasında değişen nem miktarı ile bacasındaki nem miktarı arasındaki ilişki kullanılmaktadır. Ölçümlerde fırın orta noktasına nem sensörü yerleştirilerek bu bağıntının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Nem parametresi sıcaklık ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle sıcaklık/nem ilişkisini ortaya koymak ve sıcaklık kompanzasyonu yapabilmek için; mutlak nem ve bağıl nem ilişkilerini tanımlayabilmek için fırın içerisinde ve bacada 9 farklı noktaya termokuplör yerleştirilmiştir. Bu sıcaklık ölçüm noktaları şunlardır:

- Fırın içi sıcaklığı ölçmek için orta tepsi konumuna yerleştirilen bir ızgaranın orta noktası ve dört köşesi.
- Ürünün üzerinden iki adet RTD sıcaklık sensörü bulunmaktadır; bunların oldukları noktalar. (Emme kanalına fırın içerisinden çıkan baca bağlantısının kavite ucu ve arka duvarın sağ üst köşesi.)
- Basma kanalı içinde tavanın ortasına yakın bir nokta.
- Basma kanalının içinde yan duvar yakınında bir nokta.



Şekil 4.4 Kurulan ölçüm sistemi.

#### 4.1.6 Yapılan Ölçümler

Elektrikli ankastre fırında nem sensörünün en fazla kullanılacağı program KEK ve BÖREK olarak düşünülmüştür. Bu nedenle nem sensörünün De Dietrich DP490X model elektrikli ankastre fırında etkinliğini belirlemek için “*Akıllı Pişirme Sistemi*” altında bulunan KEK ve PİZZA modunda deneyler yapılmıştır.

PİZZA pişirme modu için AZ, ORTA ve ÇOK olmak üzere üç farklı yük miktarını seçecek şekilde; fırın tepsisi içine 250ml, 500ml ve 750 ml su konularak “*Akıllı Pişirme Sistemi*”nin etkinliği incelenmiştir. PİZZA modu için sıcaklık fırın elektronik kontrol sistemi altındaki otomatik pişirme menülerinden 200 °C ve pişirme süresi 17dk olarak verilmektedir.

KEK pişirme modu için aynı mantıkla 250 ml, 500 ml, 750 ml ve 1 lt su konulmuş tepsilerle deneyler yapılmıştır. KEK modu için fırın otomatik kontrolü tarafından önerilen sıcaklık ve pişirme süresi değerleri 170 °C ve 40 dk biçimindedir.

Ayrıca kirlilik seviyesine göre temizleme süresini seçen *Pyrocontrol* modunda, biri fırın temizken (TEMİZ) ve fırın duvarlarına çok küçük hamur parçaları ve bir miktar yağ bulaştırılmışken (KİRLİ) olmak üzere iki farklı test yapılmıştır.

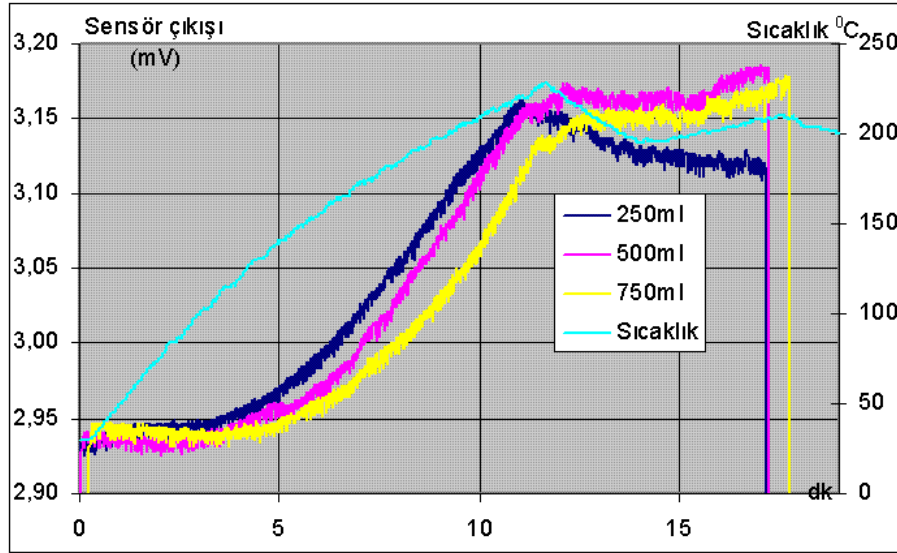
#### 4.1.7 Ölçüm Sonuçları

PİZZA ve KEK modu için ortak olan ve tüm “*Akıllı Pişirme Sistemi*” menüsü altındaki modlarda aynı işlevlere sahip olduğu görülen nem algılama sistemi sadece pişirme süresini değiştirmektedir. Pişirme süresinin değiştirilmesi dışında algılama sonuçlarına bağlı olarak ısıtıcıların ON/OFF zamanlarının kontrol edilmesi, güçlerinin değiştirilmesi veya uygun ısıtıcı kombinasyonlarının belirlenmesi gibi bir pişirme optimizasyonu olmadığı görülmüştür. Aşağıda Çizelge 4.1’de PİZZA ve KEK modu için nem algılamaya bağlı olarak geliştirilen “*Akıllı Pişirme Sisteminde*” göre önerilen pişirme zamanları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1 Yük miktarına bağlı pişirme süresi değişimi

| ICS Modu | Su miktarı | Başlangıçta pişirme süresi | Algılama süresi | Algılama sonrasında pişirme süresi |
|----------|------------|----------------------------|-----------------|------------------------------------|
| Pizza    | 250ml      | 17dk                       | 11dk            | 17dk                               |
| Pizza    | 500ml      | 17dk                       | 11dk            | 17dk                               |
| Pizza    | 750ml      | 17dk                       | 11dk            | 18dk                               |
| Kek      | 250ml      | 40dk                       | 27dk            | 34dk                               |
| Kek      | 500ml      | 40dk                       | 27dk            | 38dk                               |
| Kek      | 750ml      | 40dk                       | 27dk            | 43dk                               |
| Kek      | 1lt        | 40dk                       | 27dk            | 40dk                               |

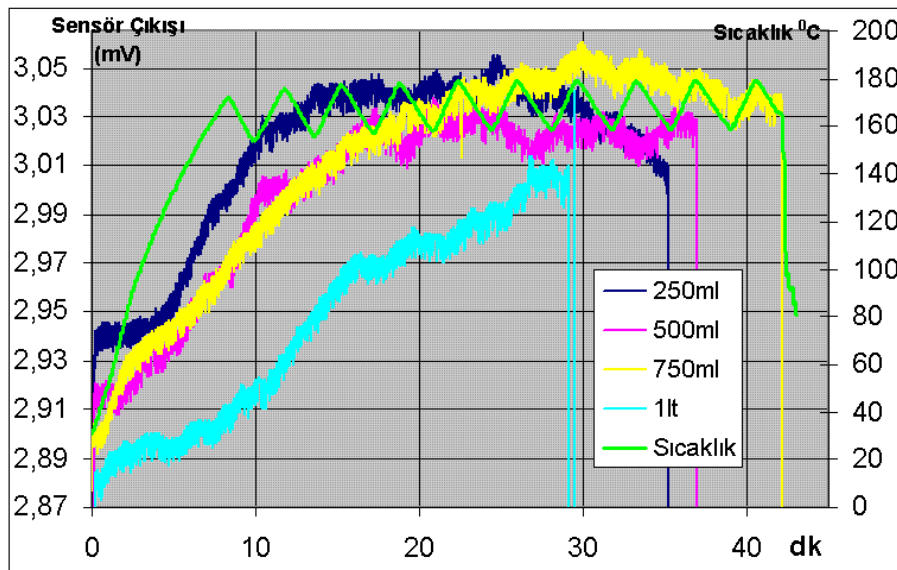
Ölçüm değerleri incelendiğinde PİZZA modunda “algılama yapılıyor” işaretinin kaybolma anı olan 11. dakikanın sıcaklığın yaklaşık olarak set değerine ulaştığı zaman olduğu görülmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 PIZZA modunda sıcaklık ve nem sensörü değişimi.

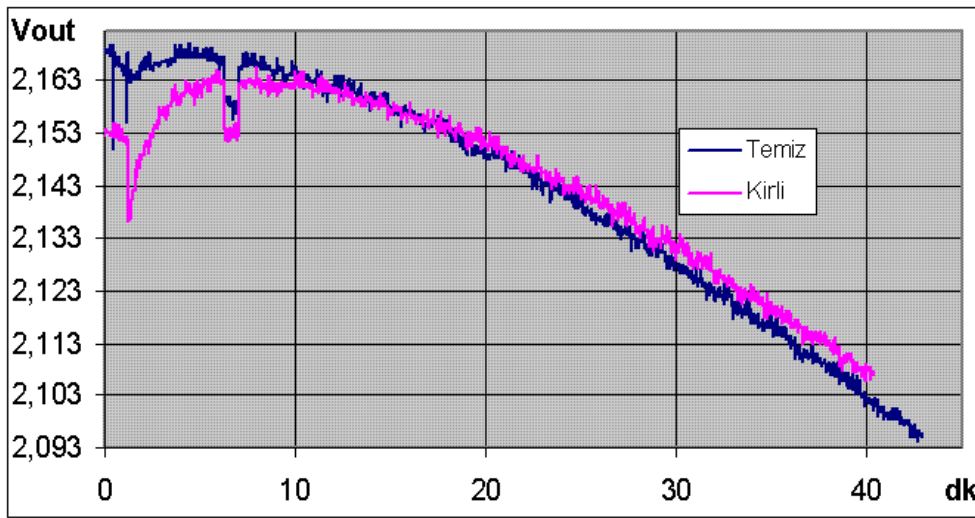
Kek modunda algılama bitiş süresi olan 27. dakikanın sıcaklık veya nem gibi bir parametre için kritik bir an olmadığı görülmektedir (Şekil 4.6).

*Pyrocontrol* modunda fırın içerisi KİRLİ ve TEMİZ iken yapılan testlerde; ısıl iletkenlik sensörü ile kirli/temiz kararının oldukça sağlıklı verildiği belirlenmiştir. Fırın TEMİZ iken pyrocontrol modu başlatıldığında “algılama yapılıyor” işareti ekranda belirmiş; 36 dakika sonra kaybolmuş ve temizleme süresi 1saat 46 dakika olarak değişmiştir. KİRLİ durum için benzer şekilde 36 dakika boyunca algılama simgesi görülmüş, ancak simge kaybolduğunda verilen 2 saatlik temizleme süresi değişmemiştir.



Şekil 4.6 KEK modunda sıcaklık ve nem sensörün değişimi.

Burada önemli bir nokta; fırın bacasına yerleştirilen tek bir ısıl iletkenlik sensörü ile pişirme prosesi sırasında nem seviyesi, temizleme prosesi sırasında ise gaz seviyesi algılanmaktadır. De Dietrich DOP 490X elektrikli ankastre fırında fırın bacasına OHMIC ABS-300 mutlak nem sensörü yerleştirilmiştir. Bu nem sensörü ısıl iletkenlik algılama mekanizmasına göre çalışmaktadır. Havanın ısıl iletkenliğinin yalnızca nemin değil havayı oluşturan gazların tümünün bir fonksiyonu olduğu ve pirolitik temizleme esnasında fırın içerisinde bir nem kaynağı olmadığı göz önüne alınırsa fırın üzerinde bulunan ısıl iletkenlik nem sensörü ile gaz algılama yapıldığı görülmektedir. *Pyrocontrol* modunda algılamanın yapıldığı ilk 36 dakikayı içeren, fırın sensörüne ait sinyal işleme donanımının çıkışı Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 Pyrocontrol modunda fırın sensörünün çıkışı.

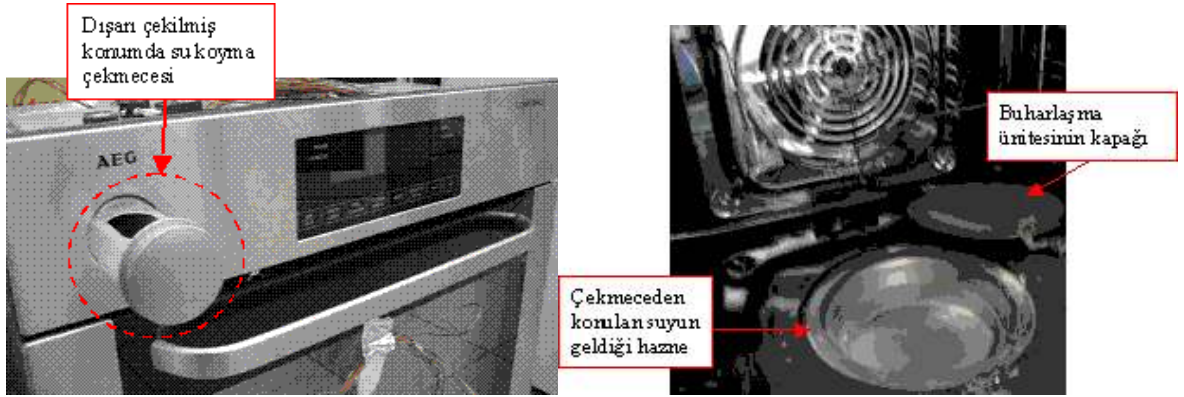
De Dietrich DOP 490X elektrikli ankastre fırında ICS fonksiyonu sırasında ne tür kabullerin kullanıldığı ve hangi parametrelerin dikkate alındığının belirlenmesi için bazı ek testler yapılmıştır. Kullanıcının ardı ardına pişirme yapacağı durumlarda ilk adımda ICS modu kullanıldıysa, ikinci adımda yeniden ICS modu kullanılarak pişirme yapılmak istenirse öncelikle fırın iç sıcaklığı okunmaktadır. Eğer ilk pişirme sonrası fırın iç sıcaklığı 30-40<sup>0</sup>C'lere kadar inmediyse, fırın elektronik kontrolü tarafından herhangi bir yeni ICS modunun başlatılmasına izin vermemekte “*fırın şu an sıcak*” uyarısı vermektedir. Ancak fırın içi sıcaklık belirli bir değere geldikten sonra yeni bir ICS modu başlatılabilmektedir. Bu şekilde düzenlenmiş bir algoritma müşteri açısından problem yaratabilir. Çünkü: temel müşteri alışkanlıkları incelendiğinde kullanıcıların ardı ardına pişirme işlemlerinde artık ısıyı kullanmak istediği bilinmektedir.

De Dietrich DOP 490X elektrikli ankastre fırında, fırın tamamen soğumadan *pyrocontrol* modu çalıştırılmak istendiğinde her hangi bir uyarı olmaksızın pirolitik temizleme başlamaktadır;

ancak “algılama yapılıyor” simgesi ekranda belirmemekte ve temizleme süresi sabit (2 saat) kalmaktadır. Bu durumda da fırın sıcaklığını kaybetmeden pirolitik temizleme işlemi başlatılarak enerji tüketiminden tasarruf edilirken; kirlilik seviyesi belirlenmeye çalışılmamakta ve buradan gelebilecek her hangi bir kontrol ihtimali göz ardı edilmektedir.

#### 4.2 AEG Competence

AEG Competence elektrikli ankastre fırın, buharlı üniteli fırın olarak pazarlanmaktadır. Bu ürün üzerinde yapılan incelemede sıcaklık kontrolü dışında akıllı pişirme için kullanılabilecek herhangi bir algılama veya kontrol düzeneği bulunmamaktadır. Konvansiyonel fırınlardan farklı olarak ön panel üzerinde bulunan çekmecesinden konulan su, bir hortum içinden akarak kavite tabanında bulunan hazneye dolmakta ve buradan buharlaşmaktadır (Şekil 4.8). Ürün üzerinde nem algılama sistemi olmadığı için pişirme testleri yapılmamış, yalnızca buhar ünitesi ve yerleşimi incelenmiştir.



Şekil 4.8 AEG Competence fırının iç ve dış görünümü.

#### 4.3 İnceleme Sonuçları

Ticari olarak satılan elektrikli ankastre fırınlar içerisinde yalnızca *De Dietrich DP490X* modeli üzerinde nem sensörü bulunmaktadır. AEG Competence elektrikli ankastre fırın üzerinde ise buharlı pişirmeyi sağlayacak nemlendirme ünitesi mevcuttur. Bu iki elektrikli ankastre fırının nem sensörü, nem algılama ve pişirme kontrol mekanizmaları incelenmiştir. Edinilen sonuçlar şunlardır:

- *De Dietrich DP490X* model üründe baca kesitinde OHMIC Instruments üreticisine ait ABS300 mutlak nem sensörü vardır. Nem sensörü fırın baca kesitine yerleştirilmiştir. Fırın

baca kesitindeki nem değeri kullanılarak, fırın orta noktasındaki nem değeri kestirimi yapılmaktadır.

- *De Dietrich DP490X* elektrikli ankastre fırında nem algılama “*Akıllı Pişirme Sistemi*” ismi altında pazarlanmaktadır. “Akıllı Pişirme Sistemi” altında farklı yiyecek türlerine ait pişirme menüleri mevcuttur. Bu menülerde yiyecek türüne bağlı olarak yiyecek *pişirme süresi*, *sıcaklığı*, *tepsi raf konumu* belirlenmiştir ve kullanıcı yönlendirilmektedir. “Akıllı Pişirme Sistemine” ait menüden bir pişirme programı seçildiğinde pişirme periyodunun başlangıcında belirli bir süre nem sensörü sinyali değerlendirilmekte ve optimum pişirme süresi hesaplanarak pişirme süresi kontrolü yapılmaktadır.
- Elektrikli ankastre fırında fırın bacasına yerleştirilen tek bir mutlak nem sensörü ile; pişirme prosesi sırasında nem algılamak, temizleme prosesi sırasında ise gaz algılayarak temizleme süresinin kontrolünü otomatik sağlamak mümkündür. Fırında enerji etiketlerinin kullanımı ile enerji optimizasyonu daha da önem kazanacaktır. Kendi kendini temizleme özelliğine sahip fırınlarda yüksek sıcaklıkta temizleme işlemi yapıldığı için; doğru temizleme süresinin tespiti enerji optimizasyonu için önemlidir.
- AEG Competence elektrikli ankastre fırında ise nem algılama amaçlı herhangi bir nem sensörü kullanılmamaktadır. Buharlı pişirme için nemlendirme ünitesi mevcuttur. Besinlerin sağlıklı pişirmesinin sağlanması için buharlı pişirme önemlidir. AEG Competence fırındaki nemlendirme ünitesinin elektrikli ankastre fırına entegre edilmesi kolaydır.
- İki ayrı elektrikli ankastre fırının nem algılama ve nemlendirme üniteleri incelendiğinde; her iki türünde de nem algılama ve kontrol ve buharlı pişirme özelliklerinin etkin olarak kullanılmadığı görülmektedir. Kullanıcılara ekstra fonksiyonellik, konfor ve hijyen sağlayacak ilave özelliklerin fırınlara entegre edilmesi mümkündür. Bu alanda yapılabilecek yenilikler şunlardır:
  - i. Yiyecek tür ve miktarının algılanması çalışması: Mevcut elektrikli fırınlarda yiyecek tür ve miktarı kullanıcı tarafından seçilmektedir. Nem algılama çalışmaları sırasında yiyeceğin miktarının, pişirme sırasında fırın içerisindeki nem miktarı algılanarak belirlenebileceği görülmüştür. Yiyeceğin miktarını algılama algoritması geliştirilerek, elektrikli ankastre fırınlara entegre edilebilir.
  - ii. Yiyecek türüne ve miktarına bağlı olarak ısıtıcıların değişken zamanlarda ve değişken güçlerde devreye sokulması.
  - iii. Yiyecek tür ve miktarına bağlı olarak fırın içerisine yerleştirilen kapakçık, valf, klape vb...gibi elemanların kontrolü.
  - iv. Yiyecek tür ve miktarına bağlı olarak, fan kontrolünün değişken hızlarda yapılması.

- v. Nem algılama ve buharlı pişirme yiyecek kalitesi ve hijyen için önemlidir. Fırın ana kontrol kartı tarafından denetlenen bir buharlaştırma ünitesi yardımıyla pişirme sırasında fırın içi kaviteye sağlıklı pişirme kriterlerine uygun olarak buhar/nem yaratılması mümkündür.

## 5. ELEKTRİKLİ ANKASTRE FIRINDA NEM ALGILAMANIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu bölümde Arçelik Pişirici Cihazlar İşletmesi tarafından üzerinde nem algılama işleminin gerçekleştirilmesine imkan verecek mekanik özelliklere sahip bir prototip üzerinde gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmiştir.

Yapılan literatür tarama çalışması, incelenen patentler ve sensör teknik dökümanlarından elde edilen bilgiler ışığında ısı iletkenlik sensörleri fırında nem algılamada kullanılmaya uygunluklarıyla öne çıkmaktadırlar. Bu nedenle yapılan çalışmada bu tip bir sensör üzerinde yoğunlaşmış; muhtemel bir ticari uygulama için uygulamaya özel dinamikler ile sensörün etkileşimi anlaşılmaya çalışılmıştır.

Yapılan çalışmalar aşağıda verilen alt başlıklar çerçevesinde incelenmiştir:

- i. Fırın üzerinde optimum nem sensörü yerleşkesinin belirlenmesi
- ii. Ölçümler/Deneysel çalışmalar için fırın veri toplama sisteminin hazırlanması
- iii. Sensörü sinyalinin değerlendirilmesi
- iv. Fırın orta noktası ile sensör yerleşkesi (fırın baca) arasındaki nem ilişkisinin kurulması
- v. Yiyeceğin miktarı ile mutlak/bağıl nem arasındaki ilişkinin incelenmesi

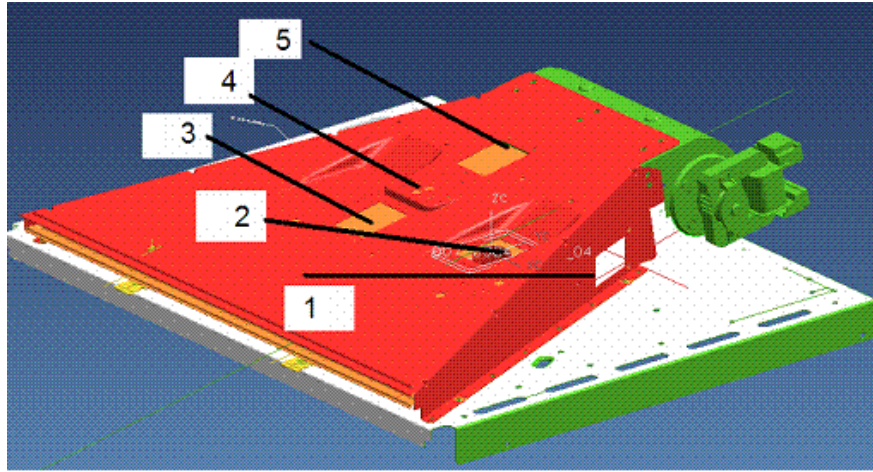
### 5.1 Sensör Yerleşkesinin Belirlenmesi

Bir elektrikli ankastre fırında nem sensörünün yerleştirilebileceği iki alan bulunmaktadır. Sensör ya doğrudan pişirmenin gerçekleştiği yerde (kavite) yada bu ortamın nem bilgisini taşıyan kavite neminin dışarıya atıldığı yol (baca) üzerinde konumlandırılabilir. Ancak zorlayıcı değerlere kadar ısınması, sensör yüzeyinin kirlenmesi ihtimalinin yüksek olması, içerisindeki hava akışının algılama için uygunsuz olması kaviteyi bacaya göre daha elverişsiz bir konum olarak göstermektedir. Bu kısıtlar altında sensörün bacaya yerleştirilmesi kaçınılmaz olmaktadır. Ancak sensörden alınan nem bilgisinin doğruluğu açısından bacada nereye yerleştirileceği de ciddi bir sorundur. Bu bölümde bu problem ele alınmıştır.

Fırında nem algılama çalışmalarında kullanılan fırın prototipi Arçelik Pişirici Cihazlar İşletmesi tarafından hazırlanmıştır. Fırın, şasisi üzerine sıcaklığı düşürülmüş özel tasarım soğuk baca eklenmiş bir elektrikli ankastre fırındır. Bu tasarımda fırın kapağının altındaki yarıklardan emilen ortam havası, fırın kapağı, baca emme kanalı ve baca basma kanallarını dolaşarak dışarı

atılmaktadır. Bu yol üzerinde emme kanalı ortalarında kavite ile emme kanalını birleştiren bir açıklık bulunmaktadır. Bu noktada dış ortamdan emilen hava fırın içerisindeki hava ile karışmakta ve taşıdığı nem miktarı kavite içerisinde üreyen nem ile ilişkili olmaktadır.

Nem algılama amaçlı kullanılacak nem sensörünün optimum yerleşkesinin belirlenmesinde ARÇELİK Pişirici Cihazlar İşletmesinde Sn. Murat Gündoğdu tarafından yürütülen “*Havalandırma Kanalında Optimum Sensör Yerleşkesinin Belirlenmesi*” çalışmalarının sonucu referans alınmıştır. Bu çalışmanın sonuçları yapılan ilave çalışmalarla güçlendirilmiş ve edinilen sonuçlar birleştirilerek nem sensörü için optimum algılamanın yapılabileceği yerleşke baca kesiti üzerinde 3 numaralı konum olarak belirlenmiştir (Şekil 5.1). 3 numaralı konumu da içeren 3 farklı nokta için ölçüm alınan noktanın kavite içerisindeki havanın nemini temsil etme doğrulukları Çizelge 5.1’den görülebilir.



Şekil 5.1. Bacada sensör yerleştirilebilecek noktalar.

Çizelge 5.1 Sensör yerleşkesi-kavite nem miktarı algılama doğrulukları.

|                                 | zorlanmış taşınım |       | doğal taşınım |       |
|---------------------------------|-------------------|-------|---------------|-------|
|                                 | ön ısınma         | rejim | ön ısınma     | rejim |
| 1 nolu konum bağıl nem sensörü  | 91,9%             | 89,8% | 98,1%         | 97,7% |
| 2 nolu konum bağıl nem sensörü  | 74,4%             | 57,1% | 97,6%         | 85,4% |
| 3 nolu konum bağıl nem sensörü  | 88,0%             | 96,6% | 96,9%         | 95,2% |
| 3 nolu konum mutlak nem sensörü | 86,0%             | 96,8% | 96,3%         | 94,6% |

Ayrıca fırın veri toplamı sisteminin hazırlanmasının ardından, referans nem probu ile Şekil2.1’de verilen farklı sensör konumlarında ölçümler alınmıştır. Alınan sonuçlar 3 numaralı konumun kavite içerisindeki nemin fırın baca yerleşkesine yerleştirilen nem sensörü ile en yüksek

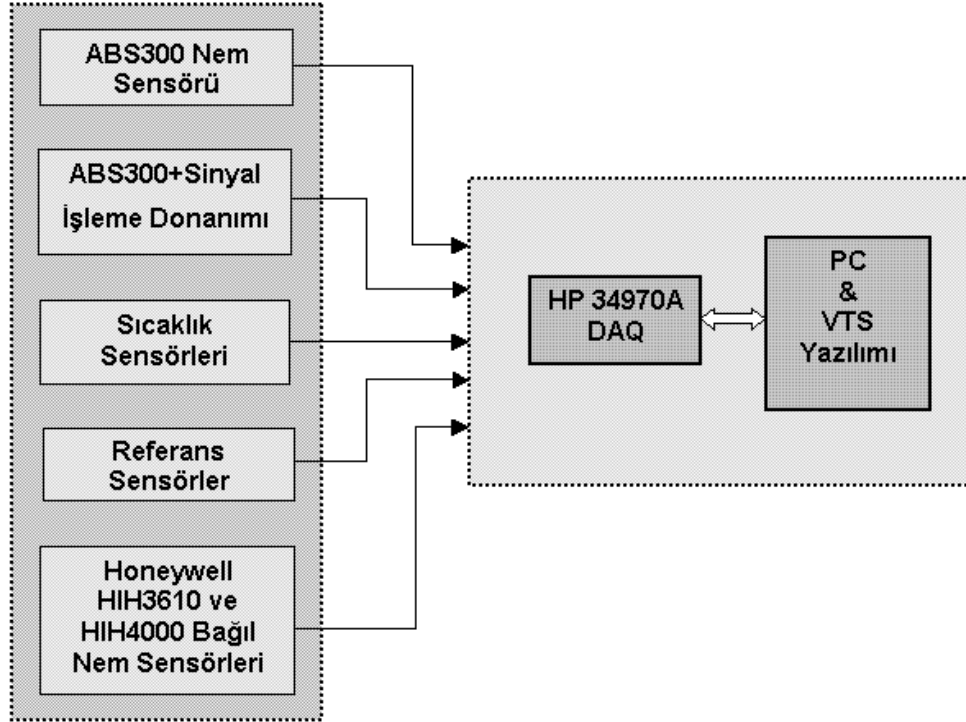
doğrulukla algılanabilecek sensör yerleşkesi olduğunu göstermektedir. Bu nedenle prototip fırın üzerinde ilerideki safhalarda alınan ölçümlerde sensör yerleşkesi 3 numaralı yerleşke olarak baz alınmıştır.

## 5.2 Fırın Veri Toplama Sistemi

Fırında nem algılama alanındaki ölçüm ve deneysel çalışmaları gerçeklemek için bir veri toplama sistemi (Fırın VTS) hazırlanmıştır. Çalışmalar boyunca yapılan ölçümler *HP-Aglient 34970A Data Logger* (DAQ) cihazı ile okunarak yapılmış ve cihaza ait veri toplama yazılımı üzerinden sayısal ortama aktarılmıştır. Kullanılan tüm nem sensörleri, sıcaklık sensörleri ve referans nem probu bu DAQ sistemi aracılığı ile 1 Hz örnekleme frekansında edinilmiştir. Aşağıda Şekil 5.2’de Fırın VTS’ ye ait sistem bileşenleri verilmiştir. Ölçümler sırasında fırın VTS’ de kullanılan algılayıcılara ait detaylar ekte verilmiştir:

- *ABS300 Mutlak Nem Sensörleri:* Fırında nem algılama uygulamalarında kullanılmak üzere OHMIC INSTRUMENTS ABS300 mutlak nem sensörleri belirlenmiştir. 2 adet OHMIC INSTRUMENTS ABS300 mutlak nem sensörü fırın veri toplama sistemi içerisine entegre edilmiştir. Sensörlerden bir tanesi fırın baca kesitinde optimum sensör yerleşkesi olarak belirlenen 3 numaralı konuma yerleştirilmiştir. Diğer sensör ise fırın kavitesi içerisindeki nemin ölçülmesi ve ABS300 mutlak nem sensörünün yüksek sıcaklık ve nem değerlerindeki performansının test edilmesi amacıyla fırın orta noktasına yerleştirilmiştir.
- *Referans Sensörler:* Alınan ölçümlerin güvenilirliğini belirlemek amacıyla mutlak nem sensörleri yerleştirilen bölgelere referans bir sıcaklık ve nem algılama ünitesi olan Vaisala HMP230 cihazı entegre edilmiştir.
- *Bağıl Nem Sensörleri:* Fırın sistemi üzerinde verilen 4 ve 1 numaralı konumlara da yine ölçüm yeterliliklerinden emin olunan Honeywell bağıl nem sensörleri yerleştirilmiştir. Bu sayede bağıl nem sensörü kullanılması halinde karşılaşılabilecek kritik durumların ve emme kanalı içerisinde (1 numaralı konum) oluşan nem koşulların belirlenmesi hedeflenmiştir.
- *Sıcaklık Sensörleri:* Nem ölçümü sıcaklık parametresi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle nem ölçümü yapılan noktalarda aynı zamanda sıcaklık ölçümü de yapılmıştır. Sıcaklık bilgisi kullanılarak bağıl ve mutlak nem değerleri arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.
- *ABS300+Sinyal İşleme Donanımı:* OHMIC INSTRUMENTS ABS300 mutlak nem sensörü ile elde edilen sinyalin değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir elektronik

donanımın sensör sinyaline etkisini görmek için; fırın veri toplama sistemine ABS300 mutlak nem sensörüyle birlikte değerlendirilmiş sensör çıkışı da entegre edilmiştir.



Şekil 5.2 Fırın Veri Toplama Sistemi blok diyagramı.

### 5.3 Ölçüm Koşulları

Fırında nem algılama çalışmalarında hedefe uygun deney tasarımı yapılmış ve bir dizi ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlerde aşağıdaki varsayımlar esas alınmıştır:

Elektrikli ankastre fırına nem algılama ile akıllı pişirme fonksiyonları kazandırılması ve/veya pişirme kalitesinde artış sağlanması amaçlanan yiyecek grubunun ilk aşamada KEK ve BÖREK türü yiyecekler olduğu kabul edilmiş ve oluşturulan ölçüm koşullarının buna uygun olması sağlanmıştır.

Yapılan ölçümlerde kullanılan pişirme parametreleri 180<sup>0</sup>C, STATİK/TURBO, 40 dk pişirme süresi ve ortanın bir altındaki tepsi konumu standart olarak belirlenmiştir. AZ, ORTA ve ÇOK miktarlarda yiyecek; tepsiye 250ml, 500ml ve 1lt su konularak benzetim ve modelleme yoluna gidilmiştir.

Yapılan deneylerde ilk aşamada fırın baca kesitine yerleştirilen referans nem probu ile aynı yerleşkedeki ABS300 mutlak nem sensöründen edinilen değerler karşılaştırılmıştır. Ayrıca fırın içerisine yerleştirilen ABS300 mutlak nem sensörü ve referans nem probu ile alınan nem

değerleri analiz edilmiştir. Ürün üzerinde sensörün fırın içerisine yerleştirilme güçlüğü nedeniyle; fırın baca kesitinden edinilen nem değeri ile fırın kavitesi içerisindeki nem değeri ilişkisi kurulmuştur. İkincil analizlerde ise fırın içerisinde değişen yiyecek miktarı ile kavite içinde ve/veya baca kesitindeki nem arasındaki ilişkinin belirlenmesine odaklanılmıştır.

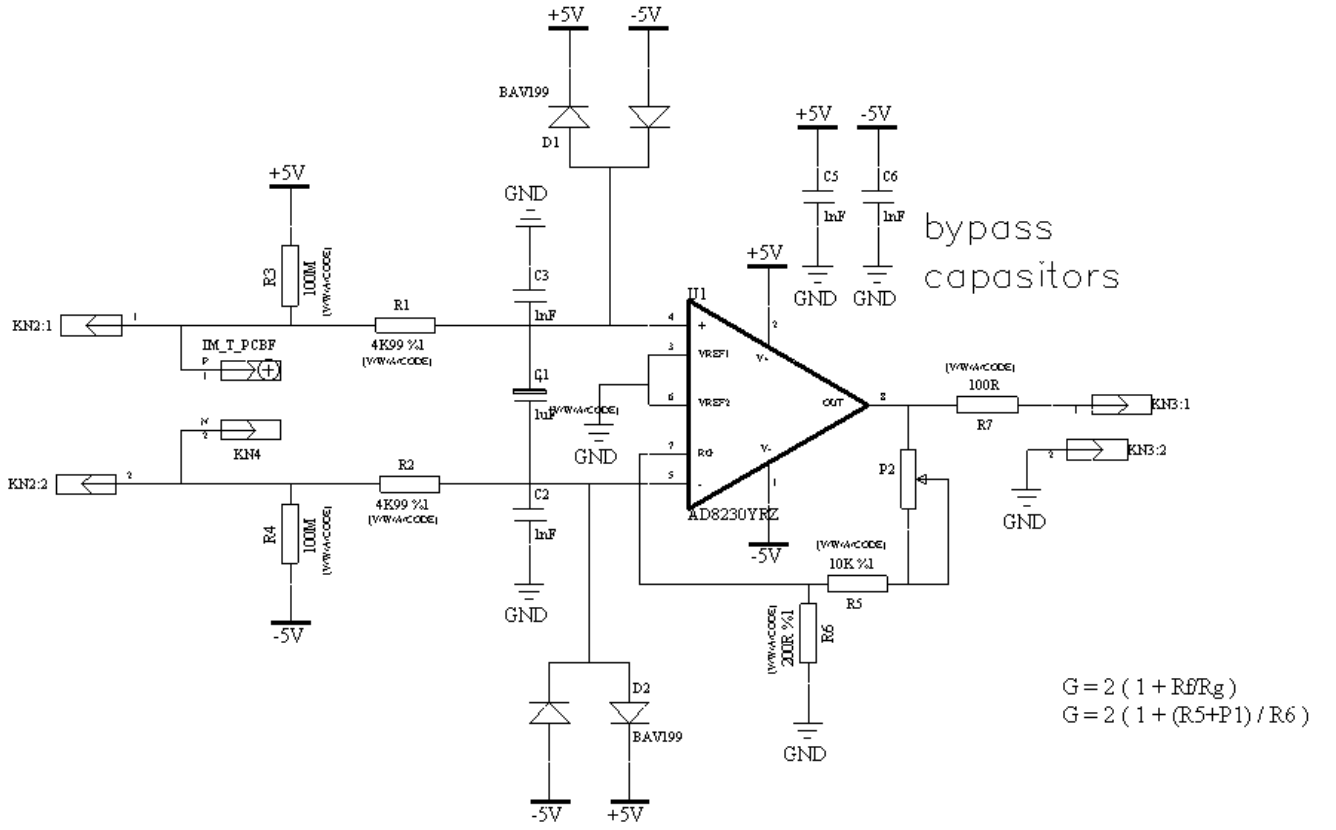
## **5.4 ABS-300 Nem Sensörü İle Mutlak Nemin Algılanması**

### **5.4.1 Sinyal İşleme Donanımı**

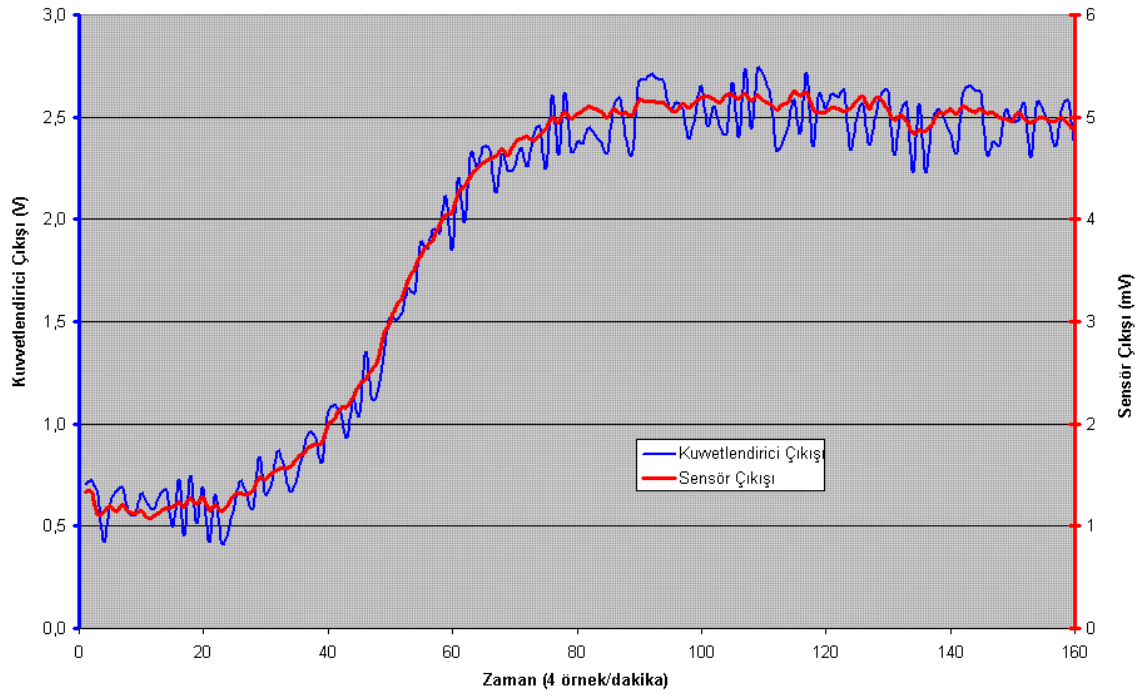
Fırında nem algılama çalışmalarında OHMIC INSTRUMENTS ABS300 mutlak nem sensörü kullanılmıştır. ABS300 mutlak nem sensörü ısı iletkenlik algılama mantığına dayalı çalışmaktadır. Sensör çıkışı değişim aralığı 0-13mV olarak verilmektedir[Ek 1]. Fırın nem algılama çalışmaları sırasında baca kesitinde sensör yerleşkesinde, ABS300 mutlak nem sensörünün çıkışının yaklaşık olarak 0-6 mV aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bu büyüklükte bir sinyalin ürün üzerinde bozulmadan elektronik kontrol kartına taşınması ve standart analog dijital çeviriciler tarafından işlenmesinin güçlüğü nedeniyle sensör çıkışının kuvvetlendirilmesi, gürültü etkilerinin en aza indirgenmesi gerekmektedir. Bu amaçla ABS300 mutlak nem sensörünün çıkışı bir enstrümantasyon kuvvetlendiricisi ile yükseltilmiştir (Şekil 5.3). Devrede ana eleman olarak Analog Devices AD8230 entegresi (enstrümantasyon kuvvetlendiricisi) kullanılmıştır. Ölçümler sırasında devrenin kazancı 500'e ayarlanmış ve işaret 0V DC - 5V DC arasına ölçeklenmiştir. Tipik bir ölçüm için sensör çıkışı ile kuvvetlendirici çıkışının değişimleri Şekil 5.4'ten görülebilir. Hedeflenen çalışma bölgesinde elektronik donanım kararlı ve doğrusal bir davranış göstermektedir.

ABS300 mutlak nem sensörü teknik spesifikasyonlarına göre  $130 \text{ g/m}^3$ 'den büyük mutlak nem değerleri için doyuma ulaştığı verilmektedir. Ancak yapılan ölçümlerde fırın kavitesi içerisinde mutlak nem değerinin  $300\text{-}350 \text{ g/m}^3$ 'e kadar çıktığı görülmüştür. Bu sorun; üretici verileri ile deneylerden elde edilen bilgiler birleştirilerek, ABS300 mutlak nem sensörü için bir işaret işleme algoritması oluşturularak aşılmıştır.

Burada önemli bir konu: fırın baca kesiti içerisine 3 nolu sensör yerleşkesine yerleştirilen nem sensörü ile pişirme prosesi sırasında fırın kavitesinde (orta nokta) değişen nem miktarı algılanmaktadır. Burada yer verilen algılama mantığının doğru çalışması; fırın baca kesitindeki nem miktarı ile fırın kavitesi içerisindeki nem miktarı arasındaki ilişkinin tanımlanmasına bağlıdır. Başka bir ifade ile fırın baca kesitindeki nem miktarı ile fırın kavitesindeki nem miktarı arasında kullanılabilir bir ilişki olmalıdır. Çalışma sırasında bu ilişkiyi tanımlamak için bir deney tasarımı ve bir dizi ölçüm yapılmıştır.



Şekil 5.3 Enstrümantasyon kuvvetlendiricisi devre şeması.



Şekil 5.4 Sensör ve kuvvetlendirici çıkış sinyalleri.

## 5.4.2 ABS-300 Sensör Sinyalinin Değerlendirilmesi

### 5.4.2.1 Baca Koşullarında ABS-300

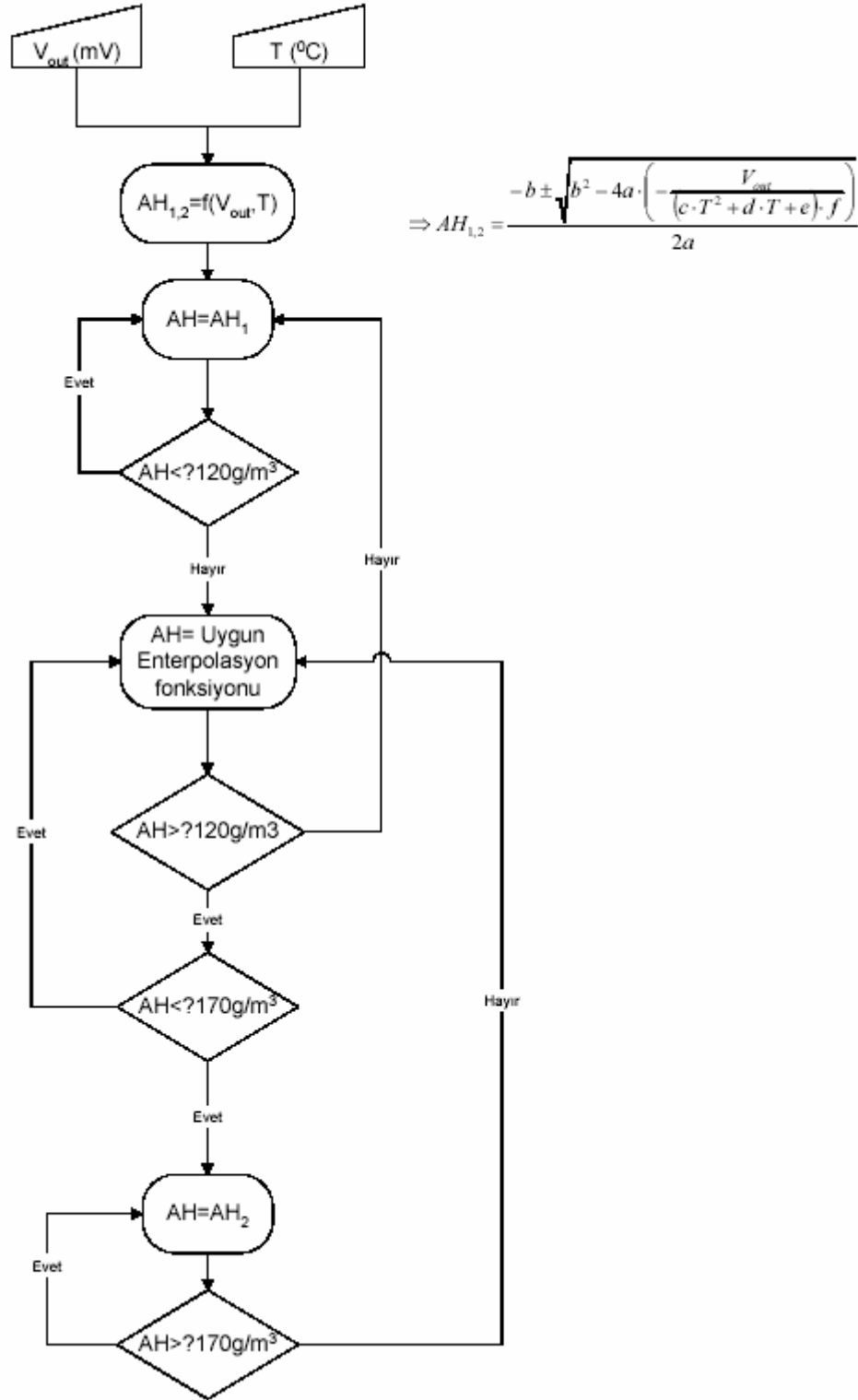
Fırın baca koşullarında OHMIC INSTRUMENTS ABS-300 mutlak nem sensörü ile teknik spesifikasyonlarında verilen sınırlar çerçevesinde sorunsuz ölçüm yapılabilmektedir. Fırın baca içerisinde okunan mutlak nem değeri ve sıcaklık verisi kullanılarak bağıl nem değeri üreticisi tarafında verilen eşitlikle hesaplanabilmektedir.

Bacada mutlak nem değeri algılama sınır değerlerinin tamamen içerisinde kalmaktadır. Sıcaklık açısından bakıldığında da sensörün maksimum değişim aralığına sahip olduğu sıcaklığa yakın sıcaklık değerleri olduğu görülmektedir.

### 5.4.2.2 Fırın Orta Noktası Koşullarında ABS-300

OHMIC INSTRUMENTS ABS300 mutlak nem sensörünün teknik spesifikasyonlarında  $130 \text{ g/m}^3$ 'den büyük mutlak nem değerleri için doyuma ulaştığı verilmektedir. Ancak yapılan ölçümlerde kavite içerisindeki mutlak nem değerinin  $300\text{-}350 \text{ g/m}^3$ 'e kadar çıktığı görülmüştür. Bu sorun üretici verileri ile deneylerden elde edilen bilgiler birleştirilerek; ABS300 için bir işaret işleme algoritması oluşturularak aşılmıştır (Şekil 5.5).

Yapılan deneyler sonucunda fırın içindeki çalışma koşulları olarak görülen  $20\text{-}180^\circ\text{C}$  ,  $0\text{-}350 \text{ g/m}^3$  aralığında ABS-300'ün çıkış sinyalinin değerlendirilmesinin 3 farklı çalışma aralığı için ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Bu aşamalar  $0\text{-}120 \text{ g/m}^3$  ,  $120\text{-}170 \text{ g/m}^3$  ve  $170\text{-}350 \text{ g/m}^3$  aralıklarıdır.



Şekil 5.5 Yüksek nemde ABS300 mutlak nem sensörü sinyalinin değerlendirilmesi.

Üretici firma tarafından 0-200<sup>0</sup>C ve 0-130g/m<sup>3</sup> aralığı için tablolar halinde sıcaklık ve sensör çıkışına bağlı olarak mutlak nem değerleri verilmiştir. Bu değerler son derece kullanışlıdır ancak çalışma aralığının birinci kısmı için yeterli olmaktadır.

Üretici tarafından mutlak nem ve sıcaklığa bağlı olarak sensör çıkışını (köprü gerilimini) veren bir fonksiyon verilmektedir. (Eşitlik 5.1) (AH: **A**bsolute **H**umidity)

$$V_{out} = (a \cdot AH^2 + b \cdot AH) \cdot (c \cdot T^2 + d \cdot T + e) \cdot f \quad (5.1)$$

$$a = -0,00067742$$

$$b = 0,17704445$$

$$c = -0,000017156$$

$$d = -0,00088115$$

$$e = 1,11463$$

$$f = 1,062806$$

Mutlak nem, bu eşitlikten sensör çıkış geriliminin ve sıcaklığın fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi bulunabilir: (Eşitlik 5.2)

$$V_{out} = (a \cdot AH^2 + b \cdot AH) \cdot (c \cdot T^2 + d \cdot T + e) \cdot f$$

$$a \cdot AH^2 + b \cdot AH = \frac{V_{out}}{(c \cdot T^2 + d \cdot T + e) \cdot f}$$

$$a \cdot AH^2 + b \cdot AH - \frac{V_{out}}{(c \cdot T^2 + d \cdot T + e) \cdot f} = 0$$

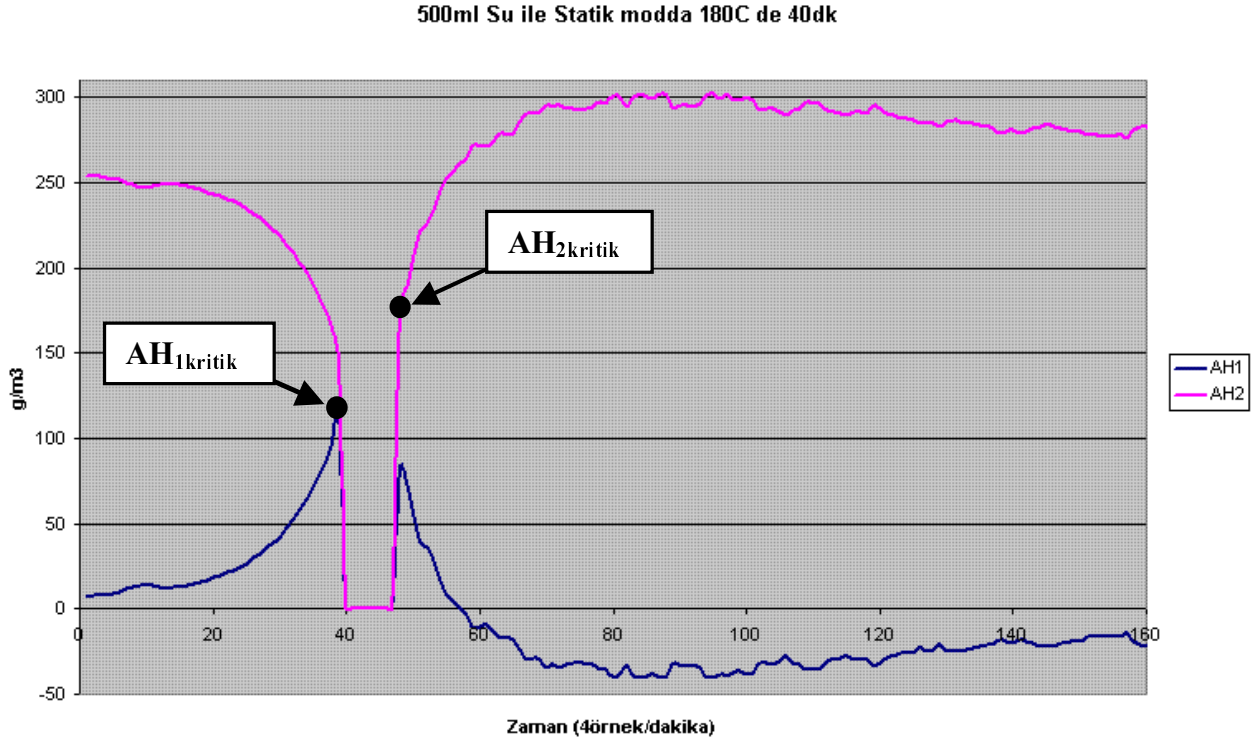
$$\Rightarrow AH_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4a \cdot \left( -\frac{V_{out}}{(c \cdot T^2 + d \cdot T + e) \cdot f} \right)}}{2a}$$

$$\Rightarrow AH_{1,2} \cong \frac{-0,1771 \mp \sqrt{0,1771^2 - 4 \cdot (-0,000677) \cdot \left( -\frac{V_{out}}{((-0,0000172) \cdot T^2 + (-0,00088) \cdot T) + 1,115} \cdot 1,0628 \right)}}{2 \cdot (-0,000677)}$$

$$\Rightarrow AH_{1,2} \cong \frac{0,1771 \mp \sqrt{0,03137 - 0,002548 \cdot \frac{V_{out}}{((-0,0000172) \cdot T^2 + (-0,00088) \cdot T) + 1,115}}}{0,001354} \quad (5.2)$$

Bulunan  $AH=f(V_{out},T)$  fonksiyonu fırın içerisinde karşılaşılan gerçek  $V_{out}$  ve  $T$  değerleri için incelendiğinde fırın içerisindeki mutlak nemin yaklaşık olarak 0-120g/m<sup>3</sup> aralığı için  $AH_1$ 'e ve 170-350g/m<sup>3</sup> aralığında  $AH_2$ 'ye eşit olduğu görülmektedir.

120-170g/m<sup>3</sup> aralığı için ise  $AH=f(V_{out},T)$  fonksiyonun diskriminant değeri sıfırdan küçük olmakta dolayısı ile  $AH_1$  ve  $AH_2$  kompleks hale gelmekte ve verilen fonksiyon mutlak nemi temsil edememektedir (Şekil 5.6).

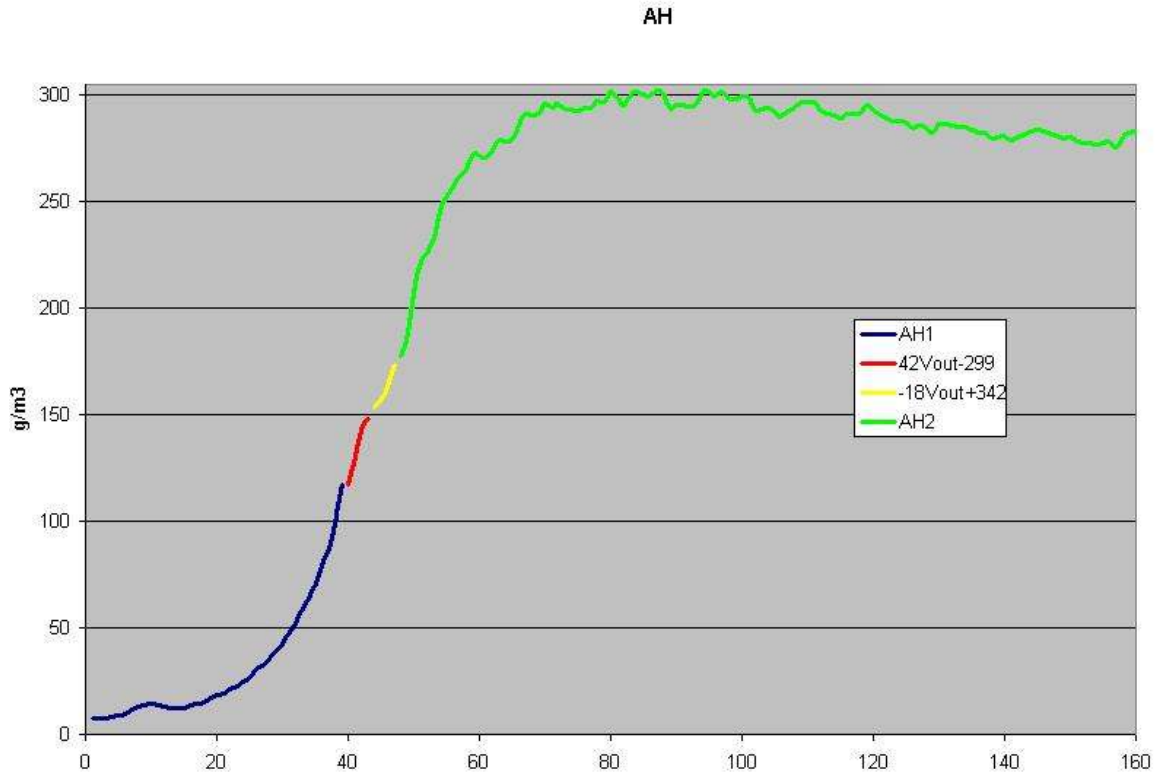


Şekil 5.6  $AH_1$  ve  $AH_2$ 'nin değişimi.

OHMIC INSTRUMENTS ABS300 mutlak nem sensörünün teknik spesifikasyonlarında sensörün algılama yapabildiği aralığı 0-130 g/m<sup>3</sup> olarak verilmiş ve 130 g/m<sup>3</sup> değerini sensörün doyma değeri olarak vermiştir. Ayrıca karşılaştırma yapıldığında üretici tarafından 0-200<sup>0</sup>C ve 0-130g/m<sup>3</sup> aralığı için verilen tablo değerlerinin  $AH_1$  ile örtüştüğü görülmektedir.

Bu durumda çalışma koşullarında sensör çıkış sinyalinin ( $V_{out}$ ) tüm çalışma bölgesi için hazırlanmış bir tablodan okuma yapmak suretiyle veya 3 farklı çalışma bölgesi için 3 farklı fonksiyon ile temsil edilmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır. Yapılan deneyler ile tüm çalışma bölgesi için kullanılabilecek bir gerilim, sıcaklık-mutlak nem tablosu oluşturulmuştur. Ayrıca  $AH=f(V_{out},T)$  fonksiyonun diskriminantının sıfırdan küçük olduğu bölge belirli bir yaklaşıklıkla doğrusal interpolasyondan geçirilerek,  $AH$  fonksiyonu aşağıdaki gibi (Eşitlik 5.3) tanımlanmıştır. ( $AH_{1kritik}$  olarak verilen değer  $AH_1$ 'in mutlak nemi temsil etmemeye başlamadan önce, kompleks hale gelmeden önce aldığı  $AH_1$  değeridir. Benzer şekilde  $AH_{2kritik}$  de  $AH_2$ 'nin mutlak nemi temsil etmeye başladığı  $AH_2$  değeri olarak tanımlanmaktadır.)

$$AH(V_{out}, T) = \begin{cases} AH_1 & , & AH \leq AH_{1kritik} \\ 42*V_{out} - 299 & , & AH_{1kritik} \leq AH \leq 150g/m^3 \\ -18*V_{out} + 342 & , & 150g/m^3 \leq AH \leq AH_{2kritik} \\ AH_2 & , & AH_{2kritik} \leq AH \end{cases} \left( \begin{array}{l} AH_{1kritik} \cong 120g/m^3 \\ AH_{2kritik} \cong 170g/m^3 \end{array} \right) \quad (5.3)$$



Şekil 5.7 Değerlendirilmiş sensör çıkışına göre kavitedeki mutlak nem değişimi.

## 5.5 Ölçüm Sonuçları

Fırın VTS sisteminden edinilen verilerin analizi dört farklı hedefe bağlı olarak yapılmıştır:

- i. Fırın orta noktası (kavite içi) nem değişimi
- ii. Fırın baca kesiti (baca içerisi) nem değişimi
- iii. Fırın baca kesiti ile fırın orta noktası arasındaki mutlak nem ilişkisi
- iv. Fırın içerisindeki yiyecek miktarı ile mutlak nem arasındaki ilişki

Yapılan deneylerde ilk aşamada referans nem probundan ve bacaya yerleştirilen ABS300 nem sensöründen elde edilen mutlak nem değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca fırın içerisine yerleştirilen ABS300 nem sensörü ve referans nem probundan alınan mutlak nem değerleri

bacada okunan değerler arasındaki ilişki incelenmiştir. Uygulamada nem sensörünün fırın içerisine yerleştirilmesi güçlüğünden dolayı, bacada okunan mutlak nem değerinden kavite içindeki nemin belirlenmesi hedeflenmiştir. İkincil olarak değişen yük (su) miktarının kavite içinde ve/veya bacada nem açısından meydana getirdiği değişiklikler araştırılmıştır.

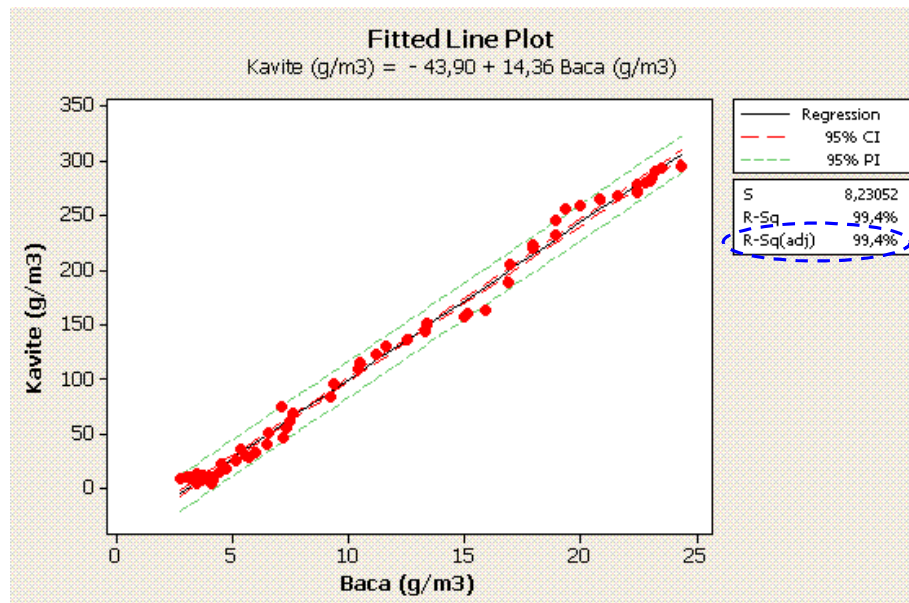
### 5.5.1 Mutlak Nem Açısından Kavite/Baca İlişkisi

Yapılan deneylerde ilk aşamada fırın baca kesitine yerleştirilen referans nem probu ile aynı yerleşkedeki ABS300 mutlak nem sensöründen edinilen değerler karşılaştırılmıştır. Ayrıca fırın içerisine yerleştirilen ABS300 mutlak nem sensörü ve referans nem probu ile alınan nem değerleri analiz edilmiştir. Ürün üzerinde sensörün fırın içerisine yerleştirilme güçlüğü nedeniyle; fırın baca kesitinden edinilen nem değeri ile fırın kavitesi içerisindeki nem değeri ilişkisi kurulmuştur. İkincil analizlerde ise fırın içerisinde değişen yiyecek miktarı ile kavite içinde ve/veya baca kesitindeki nem arasındaki ilişkinin belirlenmesine odaklanılmıştır (Şekil 5.8 ve 5.9).

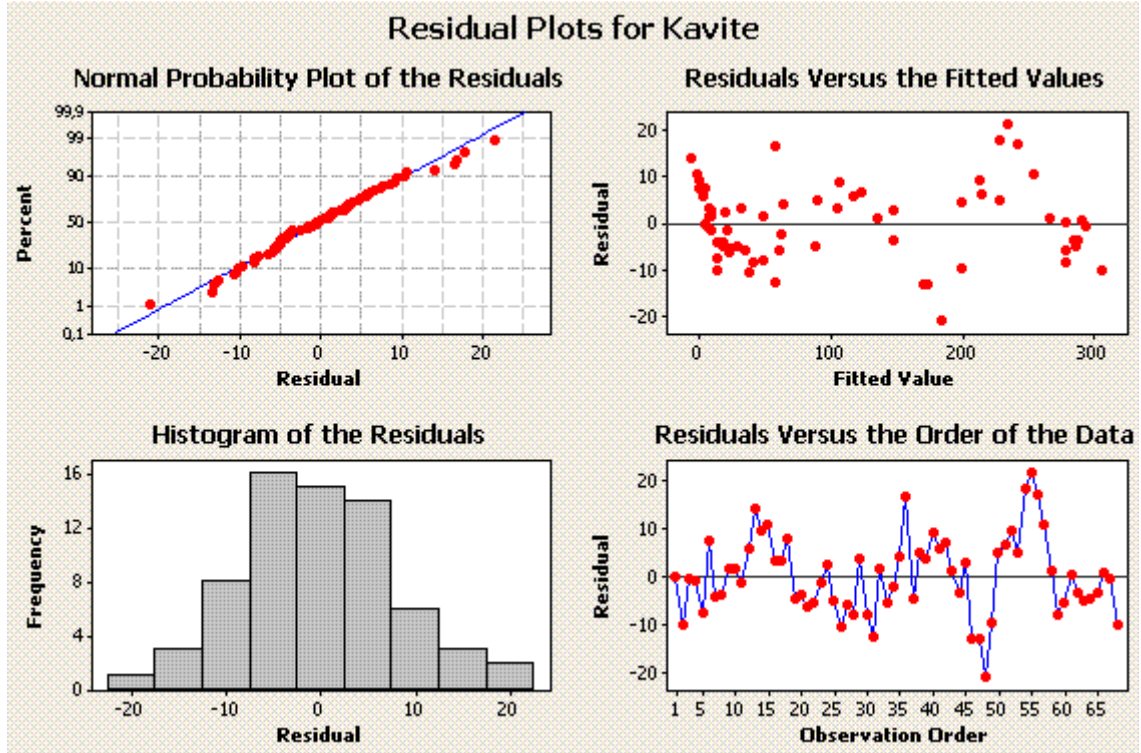
Yapılan ölçümler ve veri analizleri sonucu fırın kavitesi içerisindeki nem miktarı ile fırın baca kesiti arasında doğrusal bir ilişki olduğu göstermektedir.

$$\text{Mutlak Nem (Fırın Orta Nokta)} = 14,36 \times \text{Mutlak Nem (Fırın Baca)} - 43,90 \quad (5.4)$$

Fırın orta noktasındaki mutlak nem ile baca kesitindeki mutlak nem arasındaki ilişkiyi açıklayan bu regresyon modeli değişkenliğin %99,4'ünü açıklamaktadır, doğruluğu yüksektir.



Şekil 5.8 Fırın kavite-baca mutlak nem ilişkisi.

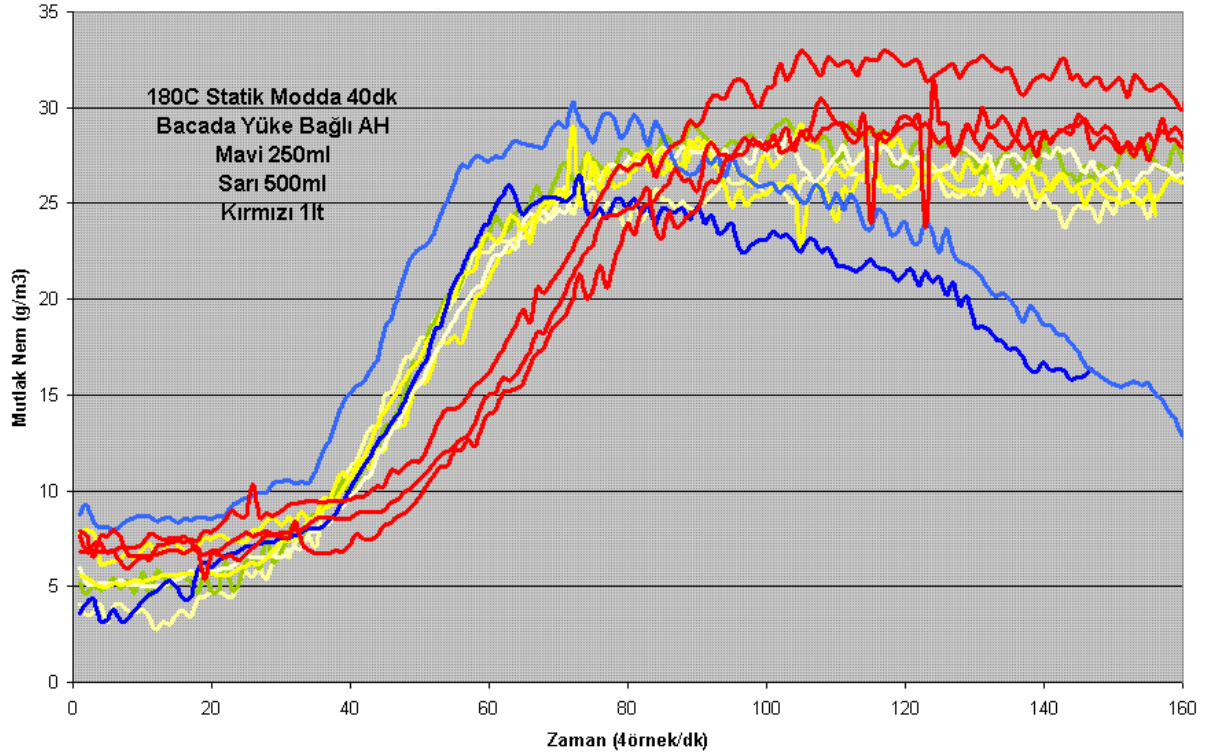


Şekil 5.9 Regresyon modeline ait artık sinyalin dağılımı.

Şekil 5.9’da regresyon modeline ait artık sinyallerin dağılımı verilmiştir. Görüldüğü üzere modele ait artık sinyallerin dağılımı normaldir, modelin uygunluğu yüksektir. Modelin uzun dönemli davranışında herhangi bir hata bulunmamaktadır.

### 5.5.2 Nem/Yiyecek Miktarı İlişkisi

Farklı miktarlarda su ile yapılan testlerde bacada elde edilen mutlak nem grafiklerinin su miktarına ilişkin bir karakter sergiledikleri görülmüştür (Şekil 5.10). Grafikler incelendiğinde tepsiye su konulan miktarının, bacadaki mutlak nemin zamana bağlı değişimini fark edilir şekilde etkilediği görülmektedir. Örneğin 250 ml su ile yapılan deneyler eğrinin maksimum değerine ulaşmasının ardından azalan bir değişim göstermesinden seçilirken, 500 ml ve 1 lt su deneyleri eğrilerin maksimum değerleri ve maksimum değerlerine ulaşma sürelerinin farklılıkları ile ayırt edilebilmektedirler.



Şekil 5.10 Farlı miktarlarda su ile yapılan toplam 9 ölçüm için bacada nemin değişimi

### 5.6 Yapılan ölçümlere ilişkin değerlendirme

Fırın baca kesitine yerleştirilen OHMIC INSTRUMENTS ABS300 mutlak nem sensörü ile fırın kavitesi içerisindeki nem miktarının algılanabildiği ortaya koyulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- i. Yapılan literatür araştırması sonuçlardan ısı iletkenlik prensibine dayalı algılama yapan nem sensörlerinin fırın gibi yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren uygulamalardaki avantajları bilinmektedir. Bu nedenle fırında nem algılama çalışmalarında OHMIC INSTRUMENTS ABS300 ısı iletkenlik nem sensörü kullanılmıştır.
- ii. OHMIC INSTRUMENTS ABS300 ısı iletkenlik nem sensörü sinyalinin değerlendirilmesi için elektronik tasarım ve sinyal değerlendirme algoritması geliştirilmiştir.
- iii. Fırın baca kesiti içerisinde optimum nem algılamayı sağlayan sensör yerleşkesi belirlenmiştir. Elektrikli ankastre fırında baca kesitinde 3 numaralı sensör yerleşkesinde OHMIC INSTRUMENTS ABS300 mutlak nem sensörü ile doğru ve tekrarlanabilir ölçümler alınabilmektedir.

- iv. Fırın baca kesiti ve fırın orta noktasına (kavite) yerleştirilen nem sensörleri verileri analiz edilerek; baca kesitindeki nem değeri ile kavite içindeki nem değeri arasındaki ilişki kurulmuştur. Yapılan ölçümler ve veri analizleri sonucu fırın kavitesi içerisindeki nem miktarı ile fırın baca kesiti arasında doğrusal bir ilişki olduğu göstermektedir.

$$\text{Mutlak Nem (Fırın Orta Nokta)} = 14,36 \times \text{Mutlak Nem (Fırın Baca)} - 43,90$$

- v. Fırın orta noktasındaki mutlak nem ile baca kesitindeki mutlak nem arasındaki ilişkiyi açıklayan bu regresyon modeli değişkenliğin %99.4'ünü açıklamaktadır. Bu sonuç göstermektedir ki, fırın baca kesiti içerisine yerleştirilen bir nem sensörü ile pişirme sırasında fırın kavitesi içerisinde değişen nem miktarını algılamak mümkündür.
- vi. Fırın içerisinde AZ, ORTA ve ÇOK miktarda yiyeceğin davranışını modellemek üzere 250 ml, 500 ml ve 1 lt su ile yapılan pişirme deneylerinde elde edilen veriler incelendiğinde, nem sensörü kullanılarak yiyeceğin miktarı hakkında kestirimde bulunmak mümkündür. Ön çalışmalardan elde edilen bu sonuç elektrikli ankastre fırında nem algılama yoluyla yiyeceğin miktarının algılanması ve yiyecek cins ve miktarına uygun otomatik pişirme algoritmasının geliştirilmesinde kullanılabilir.

Gelinen noktada elektrikli ankastre fırına nem sensörünü entegre etmek ve nem algılama algoritmalarını geliştirmek için elde edilmesi gereken bilinmeyenler şöyle sıralanabilir:

- i. Elektrikli ankastre fırında nem algılama ve kontrole dayalı pişirme algoritmasının hangi yiyecek türlerini kapsayacağı belirlenmelidir.
- ii. KEK ve BÖREK gibi özel bazı yiyecekler için belirli miktarda yiyecekler esas alınarak (AZ, ORTA ve ÇOK); yiyeceğin miktarı, nem miktarı ve optimum pişirme süresi ile optimum pişirme algoritmasının geliştirilmesine yönelik pişirme testleri yapılmalıdır. Bu deneysel çalışmalarda elde edilen enstrümantal sonuçlara paralel kullanıcı beğenisini temsil edecek duyuşal testler yapılmalı ve ilk planda iki tür yiyecek için (KEK ve BÖREK) nem algılama ve kontrole yönelik elektronik kontrol algoritmasında kullanılabilecek bir veri tabanı hazırlanmalıdır.
- iii. Olası bir nem kontrollü fırın için nem algılamanın yanında yiyeceğin besin değerini yitirmeden, kaliteli pişirilmesine imkan tanıyan bir “Nemlendirme Ünitesi”nin elektrikli ankastre fırında entegre edilmesi için mekanik tasarım çalışmaları yapılmalıdır.

Elektrikli ankastre nem algılama ve kontrolün entegre edilmesinin ürün ve kullanıcıya

getirebileceği artı değerler şunlardır:

- Yiyecek miktarı kestirimi.
- Sadece sıcaklığa değil; sıcaklık ve neme dayalı pişirme algoritması.
- Pişirme süresi, ve fırın komponentlerin kontrolüne dayalı otomatik pişirme.
- Optimum pişirme süresinin belirlenmesi.
- Süre ve enerji tasarrufu.
- Piřirmede hijyen/kalite.

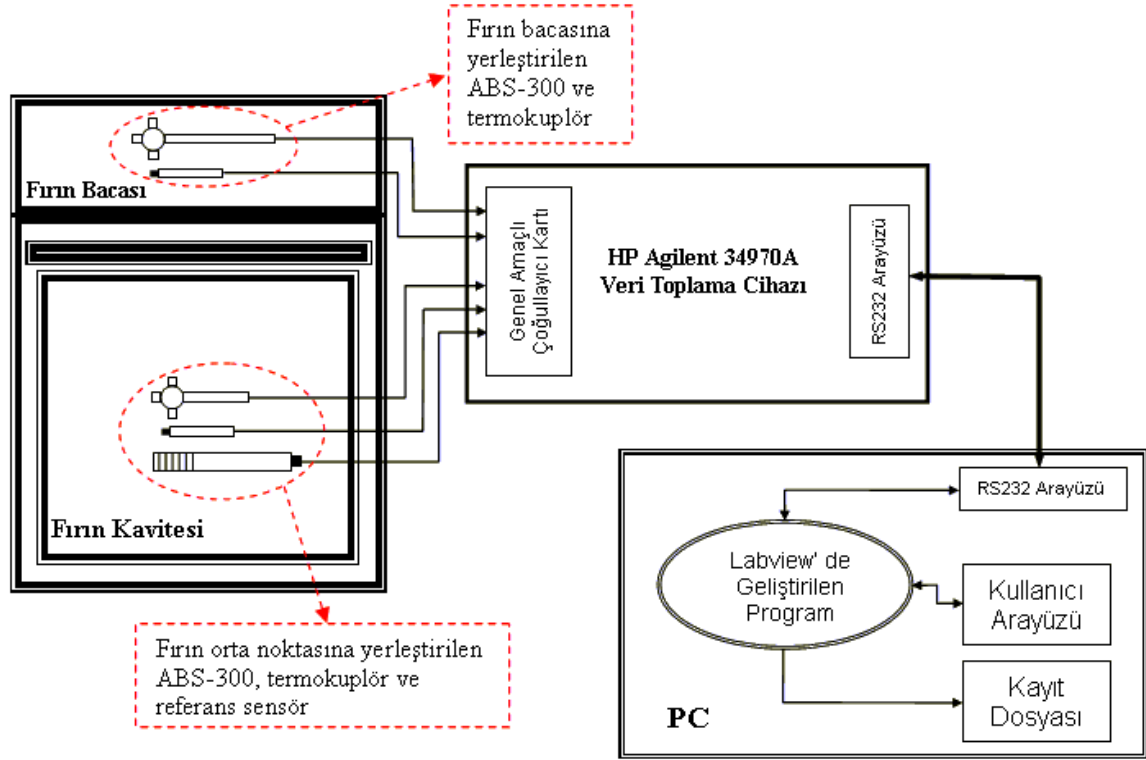
## 6. FIRIN NEM ÖLÇME ENSTRUMENTASYONU

Bir önceki bölümde değinildiği üzere nem algılamaya dayalı yiyecek miktarı kestirimi veya otomatik pişirme/ısıtma işlemlerinin başarısı sensörden alınan elektriksel işaretin doğru anlamlandırılmasına bağlıdır. Diğer taraftan farklı yiyecek türlerinin pişirmenin değişik aşamalarında ortama bıraktıkları nem miktarı, gerek miktar kestirimi açısından gerekse pişmenin algılanması açısından ciddi farklılıklar gösterdikleri bilinmektedir. Ayrıca değişik sensörlerin algılama karakteristiklerine ve fırın üzerindeki yerleşimlerine bağlı olarak aynı yiyecek türü için dahi farklı sonuçların elde edilmesi gayet olasıdır.

ABS-300 için kek ve/veya böreği olarak temsil etmesi açısından fırın tepsisine su konularak yapılan ölçümlere önceki bölümlerde yer verilmiştir. Bu ölçümler fırında nem algılamanın gerçekleştirilebilirliğinin görülmesi, getireceği faydaların, fırında yapılması gerekebilecek yapısal değişikliklerin öngörülmesi ve olası sensör sinyalinin değerlendirilmesi açısından yapılmış ve yeterli bilgi birikimi sağlanmıştır. Ancak piyasaya sürülecek bir nem algılaması yapan fırının üretilebilmesi için mutlaka bilinmesi gereken net yiyecek çeşidi/miktarı-nem/sensör çıktısı veri tabanı elde edilmiş değildir. Gerek bu veri tabanının elde edilmesi çalışmalarında gerekse değişik yapıda(geometride) farklı nem algılama yapan fırınların dizaynı çalışmalarında kullanılmak üzere bir nem algılama enstrumantasyonu uygulaması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen uygulama ile fırında nem algılama ile ilgili yapılacak deneysel çalışmalar için genel amaçlı bir ölçüm sistemi sağlanmıştır.

### 6.1 Kullanılan Birimler ve Uygulama

Yapılan uygulama, geliştirilen bir PC arayüz programı ve bir veri toplama cihazı üzerine kurulmuştur. Bir referans probunun, iki adet termokuplörün ve iki adet ABS-300 ısıl iletkenlik nem sensörünün bağlandığı HP Aglient 34970A DAQ veri toplama cihazı; *National Instruments* firması tarafından üretilen grafik tabanlı yazılım geliştirme ortamı olan Labview' de hazırlanan arayüz programı ile PC ile haberleştirilerek cihaza bağlanan sensörlerden elde edilen verilerin bilgisayar ekranında gösterilmesi ve bir kayıt dosyasında saklanması sağlanmıştır. (Şekil 6.1)



Şekil 6.1 Gerçeklenen enstrumantasyon uygulamasını oluşturan birimler.

### 6.1.1 HP Agilent 34970A DAQ Veri Toplama Cihazı

34970A veri toplama cihazı gelişmiş bir genel amaçlı bir ölçme aytıdır. İçerisine yerleştirilen çoğullayıcılar ile toplam 60 farklı kanaldan AC veya DC gerilim ve akım, frekans veya termokuplör, RTD ve termistör sıcaklığı okuyabilmektedir. Ayrıca özle amaçlı çoğullayıcı kartları ile birlikte; kontrol cihazı “*actuator*” olarak kullanılabilmekte yahut sayısal işaretler veya RF işaretleri okumak için kullanılabilmektedir. Bu cihaz kendi başına büyük bir sistem olup; giriş kanallarından okuduğu büyüklükleri, üzerindeki ekranda gösterebilmekte ve GPIB (Genel Amaçlı Enstruman Yolu “*General Purpose Instruments Bus*” ve RS232 protokolleri ile bilgisayara aktarabilmektedir. (Şekil 6.2)



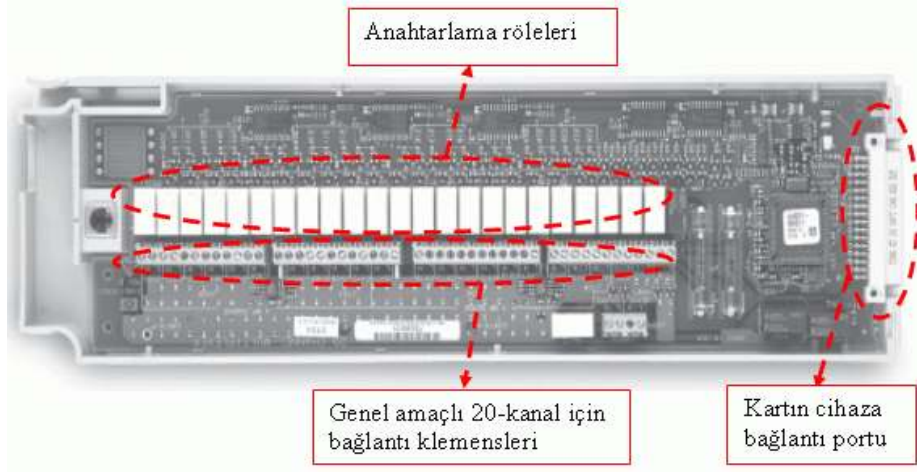
Şekil 6.2 HP Agilent 34970A DAQ veri toplama cihazının ön ve arka yüzlerinin görünümüleri

Aşağıdaki tabloda cihazın okumayabildiği elektriksel büyüklükler için çalışma aralığı, hassasiyeti ve sıcaklık bağımlılığı verilmiştir.

Çizelge 6.1 HP Agilent 34970A spesifikasyonları

|                                     | Range                             | Frequency, etc.                | 23°C±1°C        | Temperature Coefficient<br>0°C–18°C, 28°C–55°C |
|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------------------------------|
| DC Voltage                          |                                   |                                |                 |                                                |
|                                     | 100.0000 mV                       |                                | 0.0030 + 0.0035 | 0.0005 + 0.0005                                |
|                                     | 1.000000 V                        |                                | 0.0020 + 0.0006 | 0.0005 + 0.0001                                |
|                                     | 10.00000 V                        |                                | 0.0015 + 0.0004 | 0.0005 + 0.0001                                |
|                                     | 100.0000 V                        |                                | 0.0020 + 0.0006 | 0.0005 + 0.0001                                |
|                                     | 300.000 V                         |                                | 0.0020 + 0.0020 | 0.0005 + 0.0003                                |
| True RMS AC Voltage <sup>[4]</sup>  |                                   |                                |                 |                                                |
|                                     | 100.0000 mV                       | 3 Hz–5 Hz                      | 1.00 + 0.03     | 0.100 + 0.004                                  |
|                                     | to 100.0000V                      | 5 Hz–10 Hz                     | 0.35 + 0.03     | 0.035 + 0.004                                  |
|                                     |                                   | 10 Hz–20 kHz                   | 0.04 + 0.03     | 0.005 + 0.004                                  |
|                                     |                                   | 20 kHz–50 kHz                  | 0.10 + 0.05     | 0.011 + 0.005                                  |
|                                     |                                   | 50 kHz–100 kHz                 | 0.55 + 0.08     | 0.060 + 0.008                                  |
|                                     |                                   | 100 kHz–300 kHz                | 4.00 + 0.50     | 0.20 + 0.02                                    |
|                                     | 300.0000V                         | 3 Hz–5 Hz                      | 1.00 + 0.05     | 0.100 + 0.008                                  |
|                                     |                                   | 5 Hz–10 Hz                     | 0.35 + 0.05     | 0.035 + 0.008                                  |
|                                     |                                   | 10 Hz–20 kHz                   | 0.04 + 0.05     | 0.005 + 0.008                                  |
|                                     |                                   | 20 kHz–50 kHz                  | 0.10 + 0.10     | 0.011 + 0.012                                  |
|                                     |                                   | 50 kHz–100 kHz                 | 0.55 + 0.20     | 0.060 + 0.020                                  |
|                                     |                                   | 100 kHz–300 kHz <sup>[5]</sup> | 4.00 + 1.25     | 0.20 + 0.05                                    |
| Resistance <sup>[6]</sup>           |                                   |                                |                 |                                                |
|                                     | 100.0000                          | 1 mA current source            | 0.0030 + 0.0035 | 0.0006 + 0.0005                                |
|                                     | 1.000000 k                        | 1 mA                           | 0.0020 + 0.0006 | 0.0006 + 0.0001                                |
|                                     | 10.00000 k                        | 100 µA                         | 0.0020 + 0.0005 | 0.0006 + 0.0001                                |
|                                     | 100.0000 k                        | 10 µA                          | 0.0020 + 0.0005 | 0.0006 + 0.0001                                |
|                                     | 1.000000 M                        | 5.0 µA                         | 0.002 + 0.001   | 0.0010 + 0.0002                                |
|                                     | 10.00000 M                        | 500 nA                         | 0.015 + 0.001   | 0.0030 + 0.0004                                |
|                                     | 100.0000 M                        | 500 nA/10 M                    | 0.300 + 0.010   | 0.1500 + 0.0002                                |
| Frequency and Period <sup>[7]</sup> |                                   |                                |                 |                                                |
|                                     | 100 mV                            | 3 Hz–5 Hz                      | 0.10            | 0.005                                          |
|                                     | to 300 V                          | 5 Hz–10 Hz                     | 0.05            | 0.005                                          |
|                                     |                                   | 10 Hz–40 Hz                    | 0.03            | 0.001                                          |
|                                     |                                   | 40 Hz–300 kHz                  | 0.006           | 0.001                                          |
| DC Current (34901A only)            |                                   |                                |                 |                                                |
|                                     | 10.00000 mA                       | <0.1 V burden                  | 0.005 + 0.010   | 0.002+ 0.0020                                  |
|                                     | 100.0000 mA                       | <0.6 V                         | 0.010 + 0.004   | 0.002 + 0.0005                                 |
|                                     | 1.000000 A                        | <2 V                           | 0.050 + 0.006   | 0.005 + 0.0010                                 |
| True RMS AC Current (34901A only)   |                                   |                                |                 |                                                |
|                                     | 10.00000 mA                       | 3 Hz–5 Hz                      | 1.00 + 0.04     | 0.100 + 0.006                                  |
|                                     | and 1.000000 A                    | 5 Hz–10 Hz                     | 0.30 + 0.04     | 0.035 + 0.006                                  |
|                                     |                                   | 10 Hz–5 kHz                    | 0.10 + 0.04     | 0.015 + 0.006                                  |
|                                     | 100.0000 mA                       | 3 Hz–5 Hz                      | 1.00 + 0.5      | 0.100 + 0.06                                   |
|                                     |                                   | 5 Hz–10 Hz                     | 0.30 + 0.5      | 0.035 + 0.06                                   |
|                                     |                                   | 10 Hz–5 kHz                    | 0.10 + 0.5      | 0.015 + 0.06                                   |
| Temperature                         | Type                              | 1-Year Accuracy                |                 |                                                |
| Thermocouple                        | B                                 | 1100°C to 1820°C               | 1.2°C           | 0.03 °C                                        |
|                                     | E                                 | -150°C to 1000°C               | 1.0°C           |                                                |
|                                     | J                                 | -150°C to 1200°C               | 1.0°C           |                                                |
|                                     | K                                 | -100°C to 1200°C               | 1.0°C           |                                                |
|                                     | N                                 | -100°C to 1300°C               | 1.0°C           |                                                |
|                                     | R                                 | 300°C to 1760°C                | 1.2°C           |                                                |
|                                     | S                                 | 400°C to 1760°C                | 1.2°C           |                                                |
|                                     | T                                 | -100°C to 400°C                | 1.0°C           |                                                |
| RTD                                 | R <sub>0</sub> from 49Ω to 2.1 kΩ | -200°C to 600°C                | 0.06°C          | 0.003 °C                                       |
| Thermistor                          | 2.2 k, 5k, 10k                    | -80°C to 150°C                 | 0.08°C          | 0.002 °C                                       |

Uygulamada veri toplama cihazı bir adet 34901A model numaralı genel amaçlı çoğullayıcı kartı ile birlikte çalıştırılmıştır. (Şekil 6.2) Genel amaçlı çoğullayıcı kart 17 adet gerilim, frekans ve termokuplör okuyabilen 3 adet de akım okuyabilen toplam 20 adet kanala sahiptir. Kanallar tek ucu topraklı (*single ended*) veya yüzer (*floating*) olarak kullanılabilir. Bu kanallardan ikisi termokuplörler ve iki tanesi de ABS-300 mutlak nem sensörleri için yüzer (farksal) işaretler okunacak biçimde kullanılmıştır. ABS-300' lerin ihtiyaç duydukları 15V DC uyarı gerilimi ayrıca kullanılan bir güç kaynağından karşılanmıştır.



Şekil 6.3 HP Agilent 34901A genel amaçlı çoğullayıcı kartın görünümü.

Genel amaçlı çoğullayıcı kart, yüksek hız gerektiren uygulamalar için özel olarak geliştirilmemiş olup röleleri çok hızlı değildir. 34790A bu kart üzerindeki bir kanaldan maksimum 40ms aralıklarla örnek alabilmektedir. Örnekleme periyodu bu değerden yukarı doğru 1ms' lik adımlarla cihazı kontrol eden yazılım aracılığı ile konfigüre edilmektedir. Labview' de geliştirilen yazılım kartın anahtarlama hızı maksimum olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu örnekleme frekansı 40-50ms olmakta ve her bir kanaldan yaklaşık 200ms aralıklarla örnek alınmaktadır. Bu hız fırında nem algılama çalışmaları süresince karşılan nem ve sıcaklık değişimlerinin doğru şekilde izlenmesine engel olmamaktadır. Ayrıca sinyal kalitesini eniyileştirmek için ilgili kanalların ayarlanabilir olan giriş dirençleri maksimize edilmiştir.

### 6.1.2 Labview ve Geliştirilen Yazılım

Labview, veri toplama ve kontrolünde, veri analizi ve veri sunumunda kullanılan, G programlama dili tabanlı bir grafiksel program geliştirme ortamıdır. C ve Pascal veya Visual Basic gibi programla dillerinde yazılım geliştirirken kullanılan komutların ve fonksiyonların tamamına yakını grafik birimlerle ifade edilmiştir. Özel olarak enstrümantasyon sistemleri için hazırlanmış

bu yazılım geliştirme ortamı sıklıkla kullanılan bir çok döngü ve alt programı da tümleşik olarak içermektedir. Bu alt yapısı sayesinde enstrümantasyon sistemleri için kısa sürede program geliştirmeyi sağlamaktadır. *National Instruments* firması tarafından üretilen bu ortamda geliştirilen bir çok yazılım test ve ölçüm, veri toplama ve kontrolü, bilimsel araştırma, süreç/işlem takibi, fabrika otomasyonu gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Grafik programlama ortamında hazırlanan yazılım, derlendikten sonra çalışabilir bir program haline gelmekte ve konvansiyonel PC programları gibi istenilen her yerde kullanılabilir. [12]

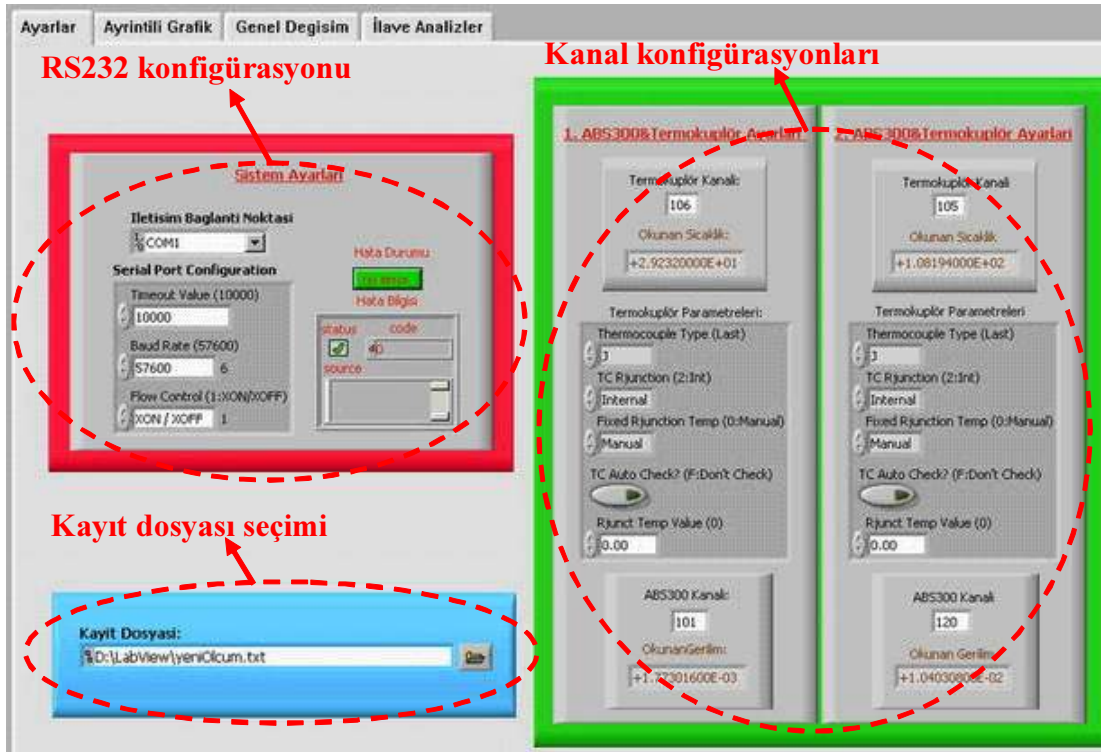
Yukarıda tanıtılan grafik ortamda geliştirilen yazılım aşağıda sıralanan işlevleri yerine getirmektedir:

- PC' nin RS232 iletişim protokolü üzerinden HP Aglient 34970A DAQ veri toplama cihazı ile haberleşmesinin sağlanması
- Fırına yerleştirilen sensörlerin veri toplama cihazı içerisindeki çoğullayıcı karta bağlandıkları kanal numaralarının kullanıcıdan alınması
- Kullanıcı tarafından seçilen kayıt dosyası içerisine ölçüm verilerinin saklanması
- Veri toplama esnasında kullanıcı tarafından istenilen bilgilerin bilgisayar ekranında sayısal değer ve grafik olarak görüntülenmesi

Yazılımın veri toplama cihazı ile haberleşmesi Labview grafik programlama ortamı için 34970A' ya özel olarak geliştirilen ve *National Instruments* tarafından sağlanan sürücü (*driver*) modülü (*vi*) kullanılarak sağlanmıştır. Bu modülün ihtiyaç duyduğu kontrol parametrelerinin kullanıcı arayüzü aracılığı ile (ayarlar sekmesi) girilebildiği bir yapı oluşturulmuştur.

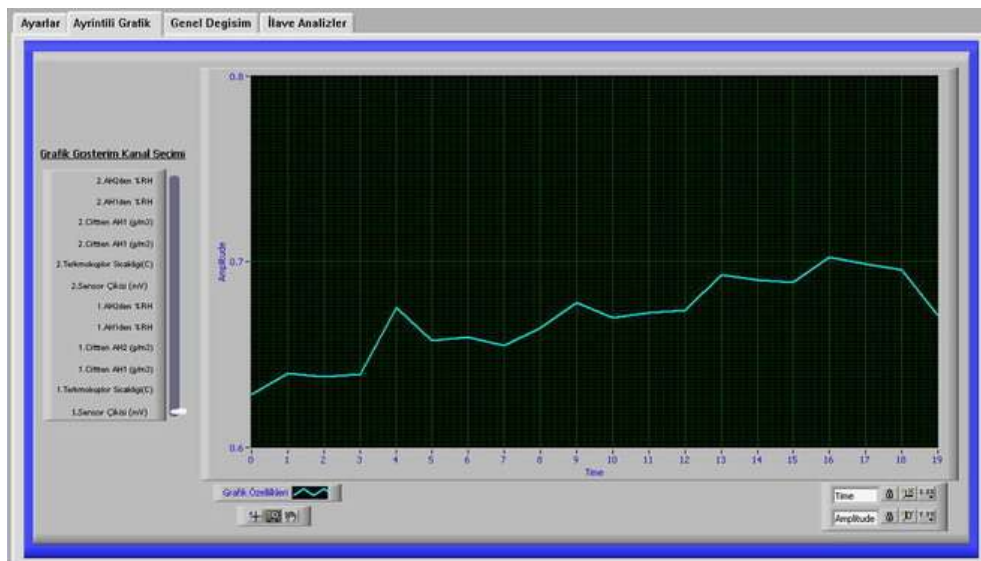
Geliştirilen yazılımın kullanıcı arayüzü 4 sekme üzerine kurulmuştur: Ayarlar, ayrıntılı grafik, genel değişim ve ilave analizler. Ayarlar sekmesi içerisinde sensörler ve termokuplörlerin veri toplama cihazına bağlandıkları kanallar, termokuplörlere ait özellikler, kayıt dosyası ve RS232 iletişim parametrelerine ait değerler kullanıcıdan alınmaktadır.

Veri toplama cihazı ile haberleşmesi Labview grafik programlama ortamı için 34970A' ya özel olarak geliştirilen ve *National Instruments* tarafından sağlanan sürücü (*driver*) modülü (*vi*) kullanılarak sağlanmıştır. Bu modülün ihtiyaç duyduğu kontrol parametreleri bu sekmeye girilmektedir.



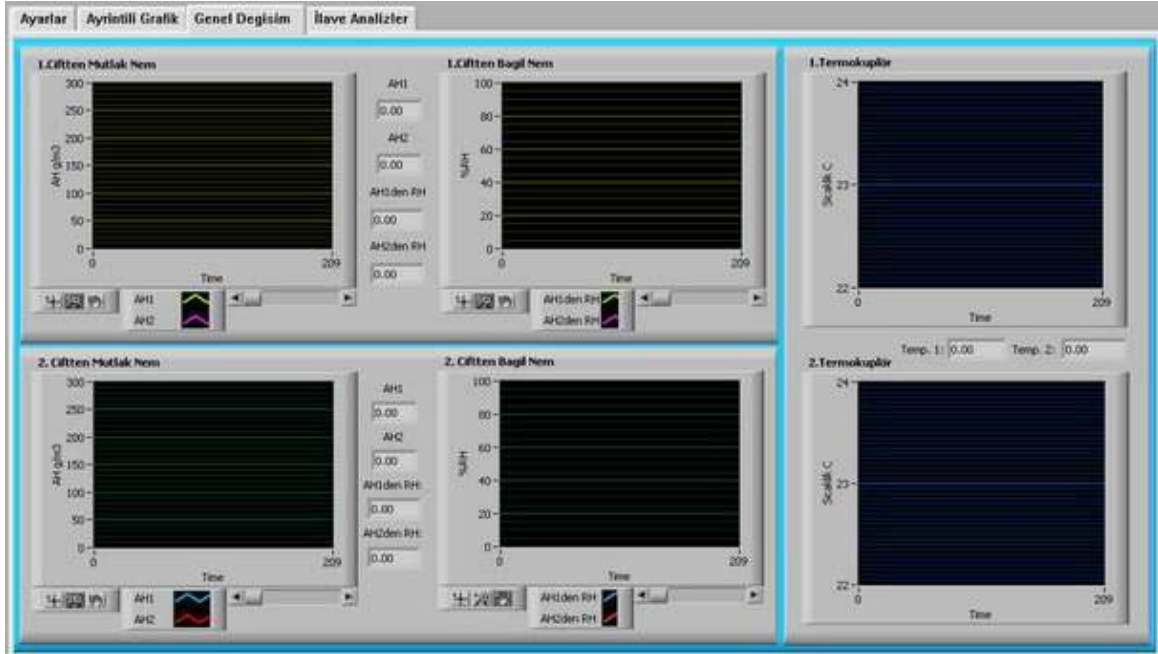
Şekil 6.4 Geliştirilen yazılımın ayarlar sekmesi.

Ayrıntılı grafik sekmesinde sisteme bağlanan sensörlerden elde edilen verilerin değişimi, istenilen zaman aralığında ve ölçekte görüntülenmektedir. ABS-300' den alınan gerilim ve termokuplörlerden okunan sıcaklık birleştirilerek mutlak nem ve bağıl nem hesaplanmaktadır. Kullanıcı fırın içerisindeki veya bacadaki bağıl nemi, mutlak nemi veya sıcaklığı seçerek ayrıntılı olarak görebilmektedir.



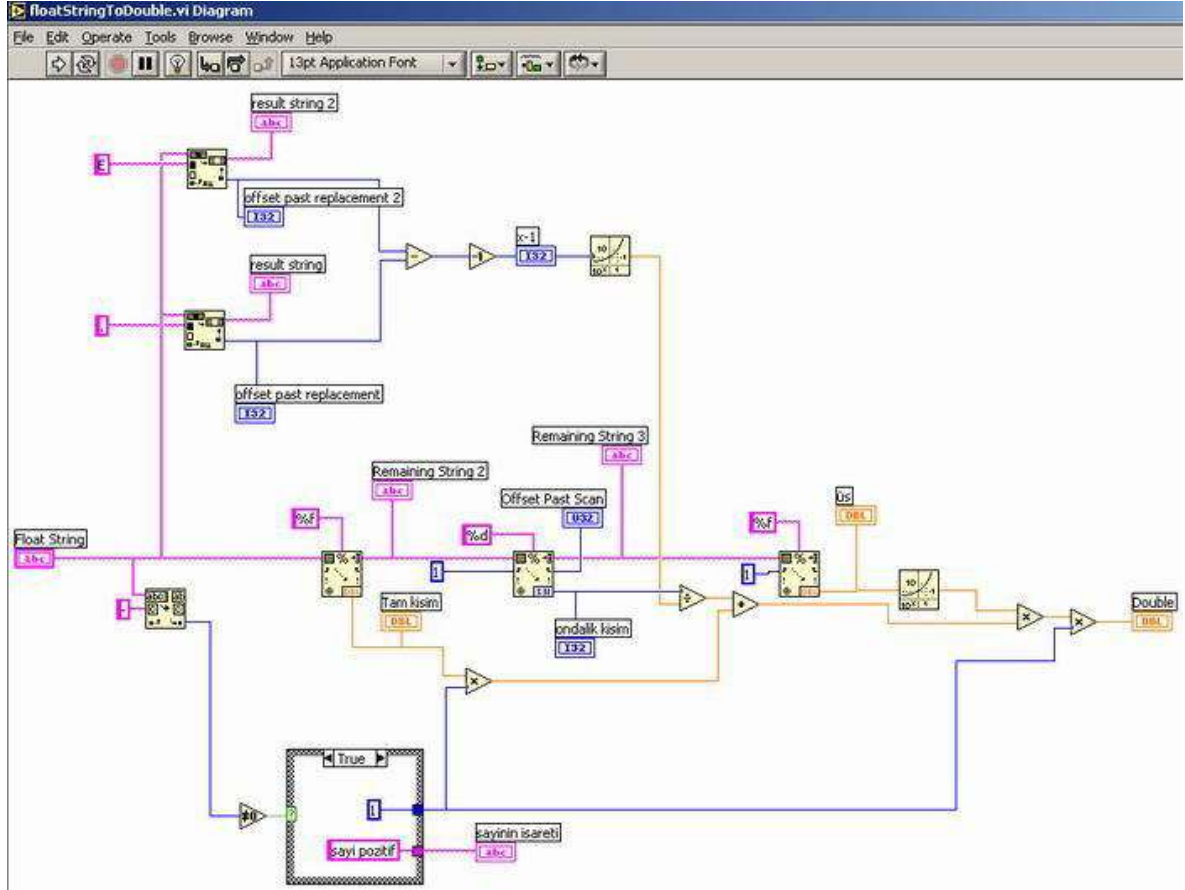
Şekil 6.5 Geliştirilen yazılımın ayrıntılı grafik sekmesi.

Genel değişim sekmesi ölçülen ve hesaplanan tüm büyüklükleri küçük grafiklerle görüntüleyen ve iki farklı sensör yerleşim noktası arasındaki farkların incelenmesi için dizayn edilen bir penceredir.



Şekil 6.6 Geliştirilen yazılımın genel değişim sekmesi.

Geliştirilen yazılımın büyük bir kısmı “sanal enstrümanlar” ın (*virtual instruments*) kısaltması olan ve “vi” olarak isimlendirilen; Labview kütüphanelerinde standart olarak bulunan alt programlar kullanılarak geliştirilmiştir. Yalnızca geliştirilen uygulamaya özel 3 adet vi sıfırdan oluşturulmuştur. Oluşturulan bu alt programlardan ikisi okunan sıcaklık ve gerilim bilgilerinden mutlak nemin elde edilmesini sağlayan “Vout+Temp\_to\_AH” alt programı, bağlı nemin elde edilmesini sağlayan “AH\_to\_RH” alt programlarıdır ve yalnızca ilgili matematiksel fonksiyonları gerçeklemektedirler. Üçüncü alt program ise veri toplama cihazından *string* tipte gelen verinin *double* değişken tipine dönüştürülmesi işlemini yapmaktadır.

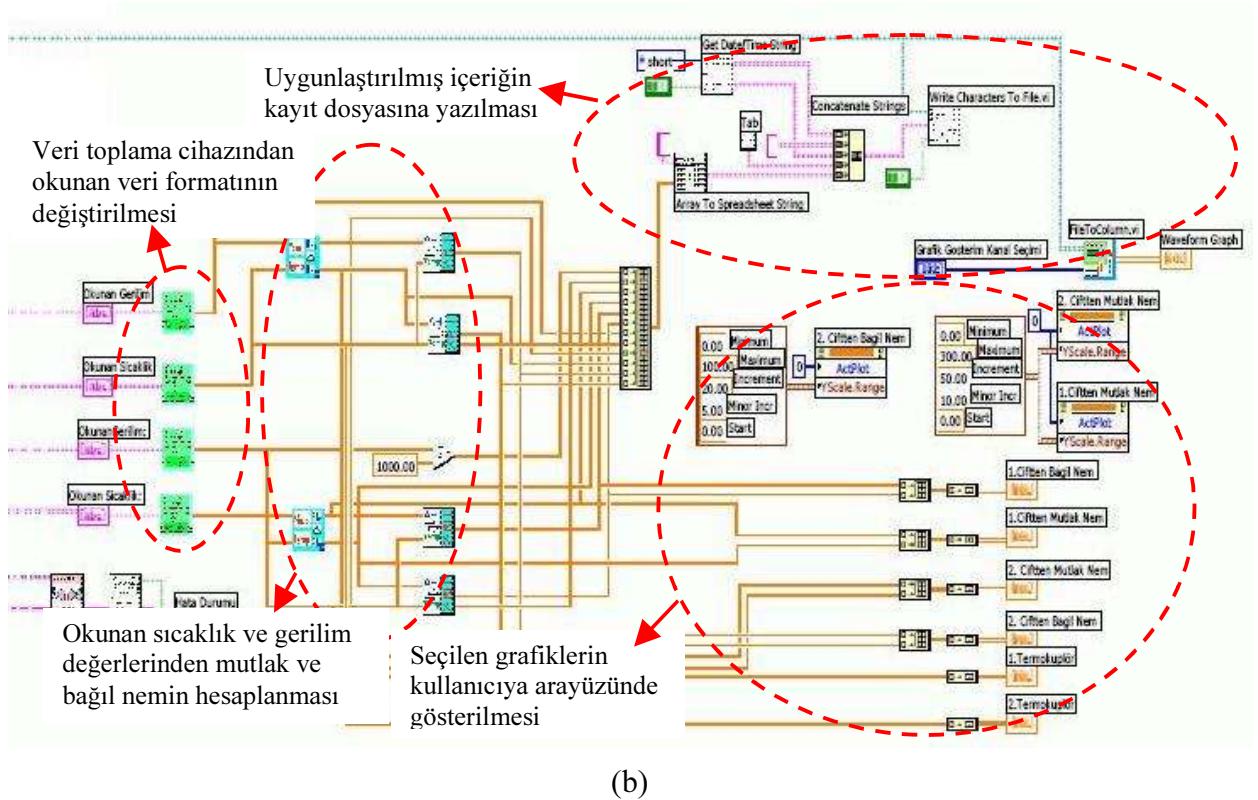
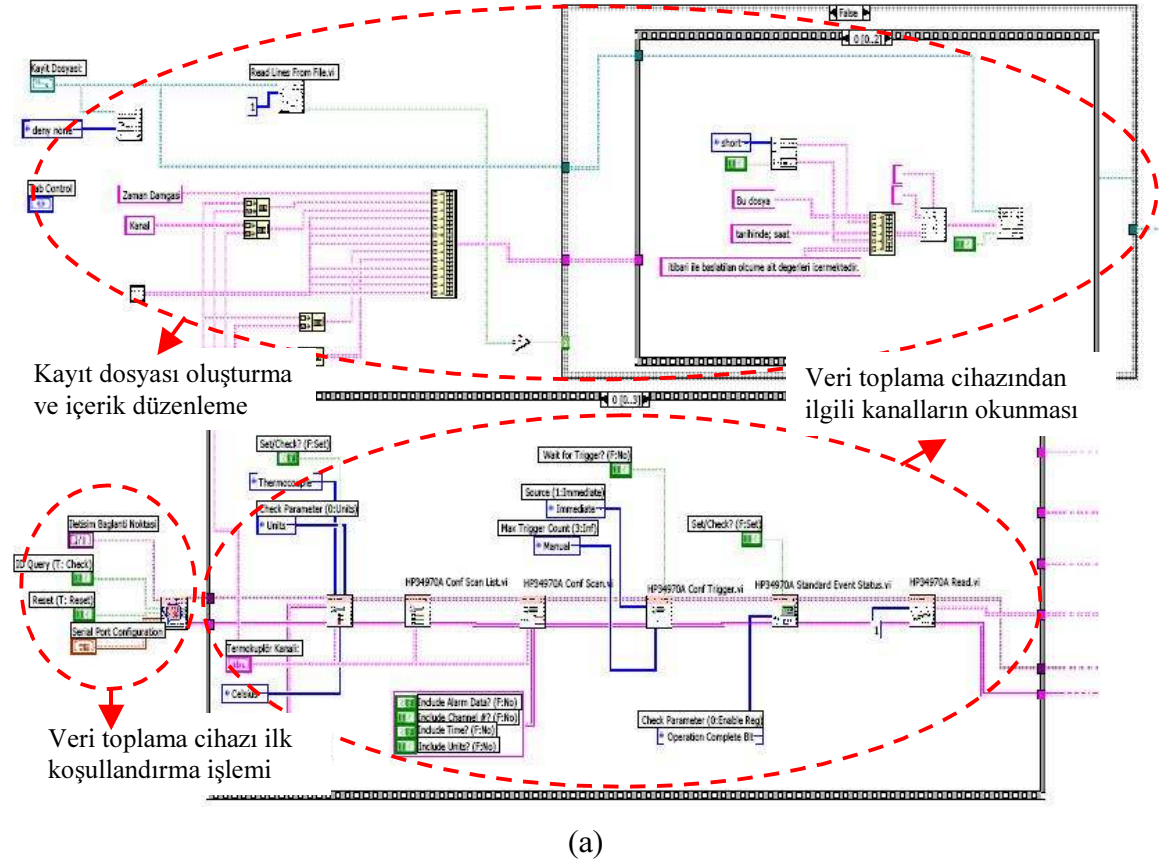


Şekil 6.7 İçerisinde kayan noktalı sayı formatında değer saklanmış olan bir *string* değişkeninden *double* tipte aynı değerli sayıyı tutan değişkeni elde eden *vi*.

Gerçeklenen yazılımın akış diyagramı ve Labview yazılım geliştirme ortamına ait blok diyagram iki parça halinde Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’ da görülebilir.



Şekil 6.8 Geliştirilen yazılımın (genel) akış diyagramı



Şekil 6.9 Grafik programla ortamına geliştirilen yazılıma ait blok diyagramın  
(İki parça halinde: a ve b)

### 6.1.3 Sisteme Eklenebilecek Özellikler

Gerçeklenen sistem gelişime açık bir yapıda dizayn edilmiştir. İlave analizler sekmesi ileride ihtiyaç duyulacağı düşünülen yeni işlevlere ayrılmıştır. Kullanılan veri toplama cihazının sahip olduğu çok sayıda özelliğin aktif olarak kullanılması ve cihazın verimli kullanımı hedeflenmiştir. Nem değişiminin türevi gibi anlam taşıyabilecek bazı anlamlı fonksiyonlarının izlenmesi, pişirme açısından anlamlandırılması veya fırın ısıtıcılarının zamanlanması muhtemel ek özellikler olarak sayılabilir.

Farklı yiyeceklerin fırın içerisinde sebebiyet verdikleri nem değişimlerinin öğrenilmesinin ardından, pişirme kalitesinin artırılması amacıyla ısıtıcıların zamanlanması ve/veya güçlerinin değiştirilmesine ilişkin çalışmaların yapılması öngörülmektedir. Bu amaçla 34970A' ya bir adet 34903A genel amalı anahtarlama kartı (*General purpose actuator*) eklenerek çıkış birimi olarak kullanılabilir. Bu kart üzerinde 20 adet SPDT röle bulunan ve 300V, 1A' e kadar işaretleri taşıyabilen bir anahtarlama kartıdır. Veri toplama cihazı, yazılımdan aldığı komutlara bağlı olarak ilgili röleleri istenilen duruma çekmektedir.

Geliştirilen yazılıma eklenebilecek küçük modüller ve fırın ısıtıcılarının (Turbo ısıtıcı/fanı, alt ısıtıcı, üst ısıtıcı, ızgara rezistansı gibi...) bu karta bağlanması ile fırında nem algılama ve kontrol adına yapılabilecek tüm çalışmaların gerçekleştirilen enstrümantasyon aracılığı ile yapılması planlanmıştır.

## 7. SENSÖR SİNYALİNİN İŞLENMESİ

Beyaz eşyada sensör uygulamaları ismi altında yapılan bu çalışmanın kapsamı içerisinde sensörlerden elde edilen elektriksel işaretlerin cihazlar üzerinde bulunan kontrol kartlarına uygun şekilde taşınması adına araştırmalar yapılmıştır.

Beyaz eşyalarda kullanılabilecek sensörlere ait çıkış işaretlerinin (Gerilim, akım, frekans, v.b), bu işareti işleyecek kontrol birimine taşınmadan önce veya kontrol birimi içerisinde yukarıda sayılan parametrelere bağlı olarak çeşitli işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Genel olarak sinyal işleme ismi anılan bu işlemler:

- kuvvetlendirme,
- gürültüden arındırma,
- işaretin, işareti giriş olarak alan sisteme uygunlaştırması, (DC olarak ötelenmesi veya AC işaretlerin doğrultulması gibi...)
- sensörlerin sıcaklık gibi çapraz bağımlılıklarından kaynaklanan bozulmaların giderilmesi,
- sinyal ile uyaran arasındaki ilişkinin lineerleştirilmesi

olarak listelenebilir.

Sıralanan bu işlemler sonrasında beyaz eşyalarda kullanılan mikrodenetleyicilere taşınan sinyal mikro denetleyici tarafından sayısallaştırılarak ilgili algoritmaların giriş büyüklükleri olmaktadır. Şüphesiz bu işlemlerden bir kısmı mikroişlemcili sitemin kendisi tarafından da yapılabilir. Örneğin sensörden alınan işaret sayısallaştırıldıktan sonra yazılımla gerçekleştirilen sayısal filtreler ile filtrelenebilir veya düşük genlikli sinyalleri sayısallaştıran ADC' ler kullanılarak kuvvetlendirme ihtiyacı ortadan kaldırılabilir. Sıcaklık Ancak böyle ekstra işlemleri yürütmeleri için her hangi bir beyaz eşyada kullanılan mikrodenetleyicinin bu işlemleri yapabilecek özelliklere (hız ve bellek gibi.. ) sahip olması gerekmektedir.

Bu çalışmada sensörlerden alınan işaretlerin, beyaz eşyadaki kontrolleri yürüten merkezi birimlere işlenmiş olarak taşınması durumunda kullanılabilecek yenilikçi yöntemler araştırılmıştır. Sensör sinyalinin küçük bir donanımla işlenip, genel amaçlı olarak düşünülebilecek bir karaktere büründürülmesi amaçlanmıştır. Örneğin %0-100 bağıl nemin 0-5V arasında DC bir işaretle lineer olarak temsil edilmesi istenmiştir. Bu sayede elde edilen sinyalin farklı (fırın veya buzdolabı gibi...) veya farklı model(iki farklı fırın modeli gibi...) beyaz eşyalara entegre edilebilir olacağı düşünülmüştür.

Söz edilen işlemler yalnızca sensör sinyalleri için ihtiyaç duyulan işlemler olmayıp bir çok elektronik sistemde karşılaşılan işlemlerdir. Dolayısı ile bu görevleri yerine getiren genel açmalı devreler literatürde mevcuttur. Literatürde görülmüştür ki sensör sinyallerinin işlenmesi amacıyla kullanılan elektronik devreler, konvansiyonel OpAmpli veya transistörlü kuvvetlendirici devreleridir. Temel kuvvetlendirici topolojilerine eklenen bazı sıcaklık duyarlı elemanlar ve RC yapıları aracılığı ile de sıcaklık kompensasyonu ve filtreleme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu yapıların incelenmesi çalışma kapsamı dışında tutulmuş; yenilikçi (sensör) sinyal işleme yöntemleri ile ilgilenilmiştir. Bu kapsamda tek bir entegre ile tanımlanan bütün sinyal işleme adımlarını gerçekleyen Texas Instruments PGA309 ve Cypress PSoC isimi iki farklı donanım incelenmiştir.

### 7.1 Texas Instruments PGA309

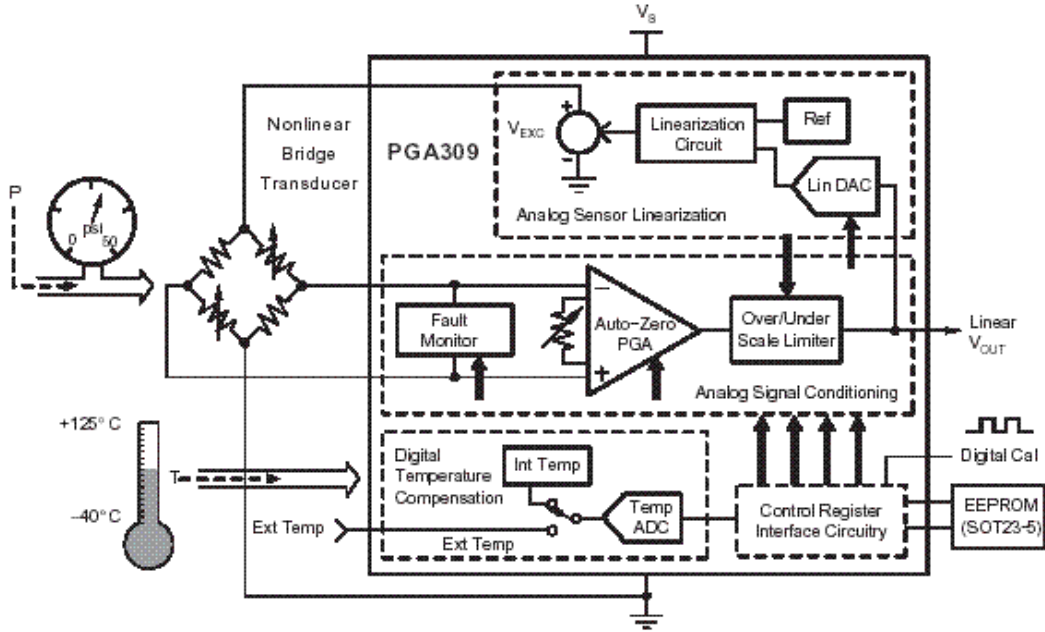
PGA309 köprü tipi sensörler için özel olarak geliştirilmiş, mixed yapıda (analog ve sayısal katları olan) Burr-Brown (Texas Instruments) firmasına ait bir analog sensör koşullandırma ve kuvvetlendirme entegresidir. PGA kısaltması “*Programmable Gain Amplifier*” kelimelerinin baş harflerinden gelmekte ve ürün komple sensör koşullandırıcı “*Complete bridge sensor conditioner*” ismi ile tanıtılmaktadır.

Bu bölümde anlatılan çalışma PGA309 ve PGA309 Geliştirme Modülü’nün özellikleri ve kullanımı hakkında ayrıntılı bilgi edinilmesi, uygulamalar yapılarak ürünün performansının görülmesi olarak tanımlanabilir.

Önceki bölümlerde de verildiği üzere olası bir nem algılamalı fırında kullanılması önerilen sensör tipi ısıl iletkenlik tipi (mutlak) nem sensörleridir. Bundan önceki çalışmalarda buna uygun olarak ABS-300 kullanılmıştır. Ancak PGA309 entegresinin yenilikçi özelliklerinin anlaşılması ve sensör ile kullanımında getirdiği avantajların/dezavantajların görülmesi için yapılan bu çalışmada bazı elektriksel uygunsuzluklar nedeniyle ABS-300 kullanılmamıştır. Bahsedilen uygunsuzluk ABS-300’ ün 15V besleme gerilimine ihtiyaç duyması ve çıkış uçlarındaki ortak mod geriliminin (7,5 V) PGA309’ un girişine uygulanabilecek fark sinyalinin maksimum ortak mod gerilim değerini aşması olarak özetlenebilir. Bu uygunsuzluğun bir DC öteleyici devresiyle aşılabileceği düşünüldükçe; PGA309, ilave devrenin etkilerinden ve tasarım zamanından tasarruf sağlamak amacıyla ABS-300 ile benzer sinyal işleme gereksinimlerine sahip yine Wheatstone köprüsü yapısında Intersema firmasına ait bir MEMS basınç sensörü basınç sensörü ile birlikte kullanılarak incelenmiştir.

### 7.1.1 PGA309' un Özellikleri ve Yapısı

PGA309 köprü tipi sensörlerin kullanımı için gereken uyarma (excitation) ve kuvvetlendirme işlemlerini gerçekleştiren; ayrıca offset düzeltme, gürültü giderme, doğrusallaştırma (nonlineerlik giderme) ve sıcaklık kompanzasyonu gibi sinyal işleme adımlarını gerçekleyen bir yapıya sahiptir. Bunların dışında hata izleme ve sinyal ölçekleme gibi fonksiyonları da bulunmaktadır. Şekil 7.1 PGA 309'un özellikleri ve donanım yapısı hakkında fikir vermektedir.



Şekil 7.1 PGA309 blok diyagramı.

#### 7.1.1.1 Donanım Yapısı

PGA309 hem analog ve hem sayısal katları olan; girişine bağlı olan sensörden aldığı analog işaretin değerlendirilmesini (kuvvetlendirme, ölçekleme ve sinyal işleme adımları) sağlayan gerilim modlu kompleks yapıda bir entegredir. Sayılan bu analog işlemler entegre içerisinde bulunan sayısal kontrollü kuvvetlendiriciler ile gerçekleştirilmektedir.

PGA309 üzerinde bir de analog-sayısal çevirici (ADC) bulunmaktadır. Bu ADC, entegre üzerinde bulunan diyot akımının veya dışardan bağlanan NTC, RTD, diyot gibi bir sıcaklık algılama elemanının üzerinde düşen gerilimi sayısal sıcaklık bilgisine çevirmektedir. Elde edilen sıcaklık bilgisine bağlı olarak analog kazanç ve ölçekleme devrelerinin kontrol parametreleri seçilmektedir.

Analog birimlerin kontrolünü sağlayan bu parametreler seri haberleşen bir EEPROM üzerinden saklı bulunmaktadır. PGA309 iki farklı seri haberleşme protokolü (1-wire ve 2-wire) üzerinden

EEPROM da bulunan kontrol parametrelerini okuyabilmekte ve üzerinde bulunan analog katları, duruma uygun kazanç değerlerine set etmektedir.

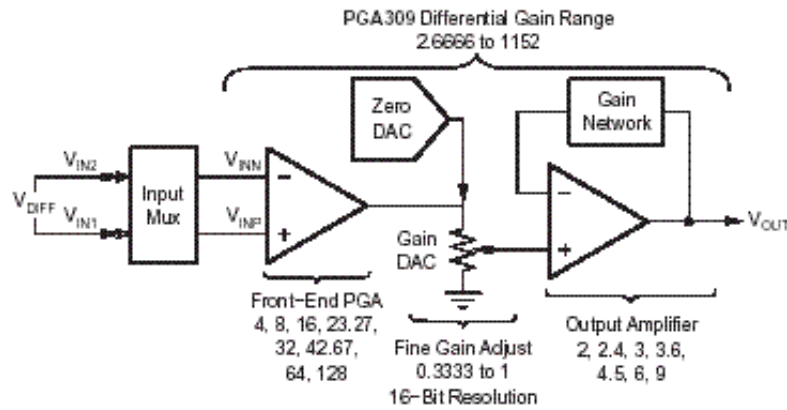
PGA309'un EEPROM ihtiyacı, PGA309'un bir mikroişlemcili sistem dahilinde kullanılması durumunda ek bir maliyet olmaktan çıkarılabilir yapıdadır. Sistem EEPROM' unun uygun olması durumunda (seri haberleşen EEPROM olması şartı ile) PGA309 bu EEPROM' u kullanabilmektedir. Ayrıca mikroişlemcinin veya mikro denetleyicinin seri haberleşme protokolü üzerinden PGA309 ile haberleşerek, PGA309'un EEPROM olmaksızın çalıştırılması da mümkündür.

### 7.1.1.2 Özellikler/Fonksiyonlar

Aşağıda PGA309'un önemli fonksiyonları verilmiştir:

#### Kazanç Fonksiyonu:

PGA309 kazanç fonksiyonunu sayısal olarak kontrol edilen 2 kuvvetlendirici ve 1 ölçekleme katı ile gerçeklemektedir. PGA309'un toplam kazancı 2,6666 ile 1152 arasında olabilmektedir. Bu katlardan şekil 2.2'de görülen *GainDAC* katının kazanç değeri çalışma sırasında değişebilmekte ve sıcaklığa bağlı span kompanzasyonunu gerçeklemektedir. Diğer iki katın kazancı ise reset sonrasında EEPROM' dan okunmakta ve çalışma boyunca sabit kalmaktadır.

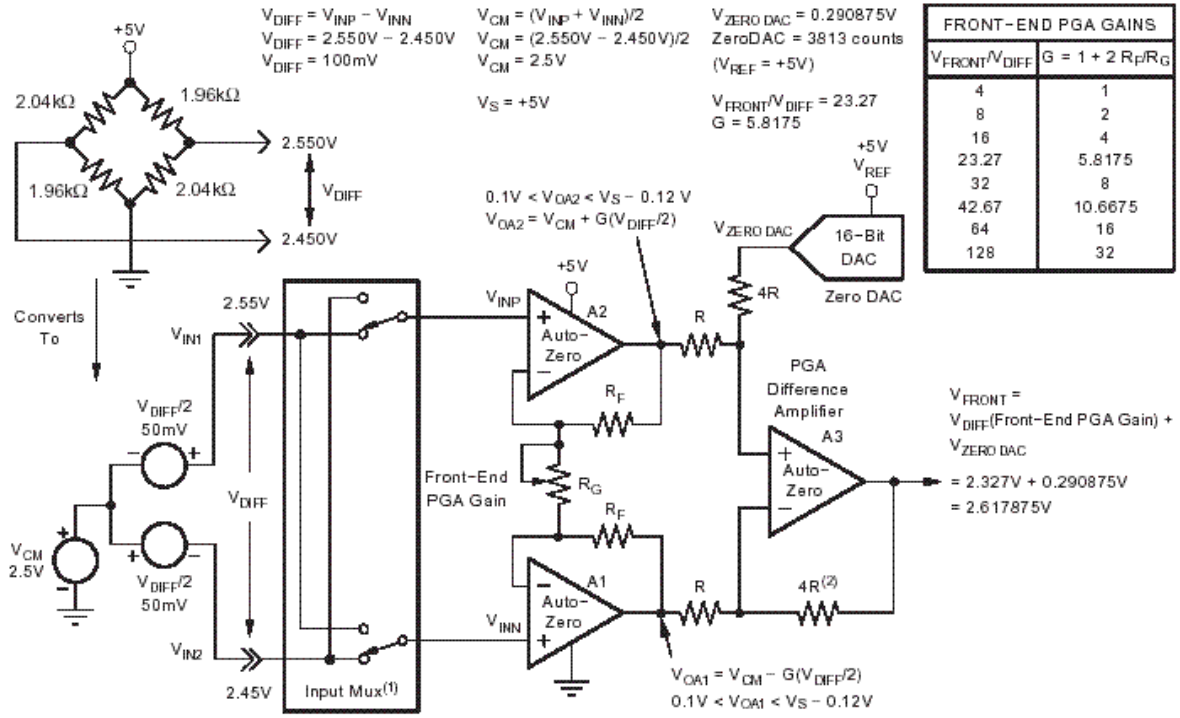


Şekil 7.2 PGA309 kazanç katları blok diyagramı.

Ayrıca *Front-End PGA* olarak isimlendirilen enstrümantasyon kuvvetlendiricisinin girişinde bulunan *mux* ile sensörün sisteme bağlantı polaritesi ters çevrilebilmektedir.

Herhangi bir sensörün PGA309'a doğrudan bağlanabilmesi birkaç kritik faktöre bağlıdır. Sensörün  $V_{EXC}$  ucundan beslenmediği durumlarda çıkış uçlarındaki ortak mod gerilimi (*common*

mode voltage) sınırlayıcı bir değer olmaktadır. Bu değer PGA309 besleme geriliminin yarısından daha büyük olmamalıdır. Ayrıca PGA309 çipi içerisinde her bir kuvvetlendirici katı çıkışındaki gerilimlerin de besleme değerine yaklaşmaması gerekmektedir. Şekil 7.3 dikkat edilmesi gereken noktalara işaret etmektedir.



Şekil 7.3 Sensör çıkış işaretinin PGA309'a uyumlu hale getirilmesi.

#### Offset Düzeltme:

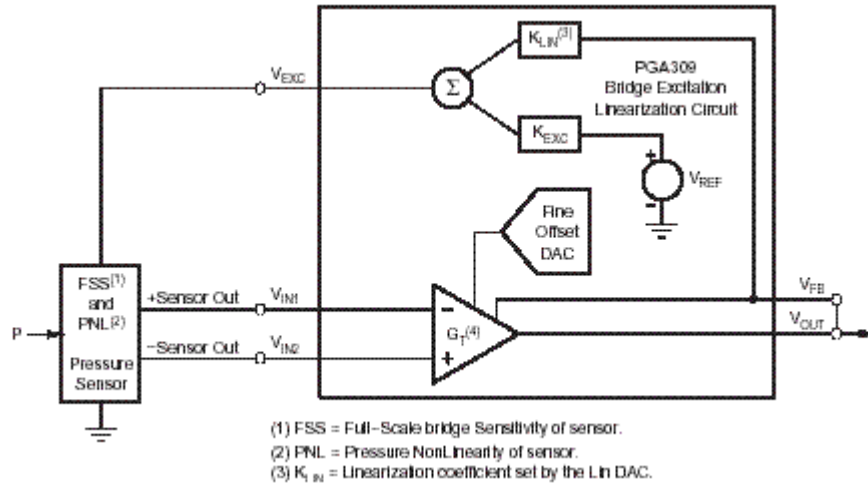
Genellikle köprü sensörlerin sıfır uyarı (0 basınç, 0 nem,... gibi) altındaki çıkış değerleri sıfırdan farklı olmaktadır. PGA309 ile bu offset değeri istenilen bir değere çekilebilmektedir. *Coarse Offset Adjustment DAC* ve *ZeroDAC* sistemin bu amaca hizmet eden elemanlarıdır. *Coarse Offset Adjustment DAC*  $\pm 60mV$ 'luk adımlarla *ZeroDAC* ise 2.5V, 5V veya 4.096V'luk referans gerilimlerinin 16-bit çözünürlükteki parçaları ile offset düzeltmesi yapar.

#### Referans Üretme:

PGA309 analog-sayısal ve sayısal-analog çevrim operasyonlarını yürütmek üzere ihtiyaç duyduğu referans gerilimini de kendi üretmekte, istendiği takdirde bu referans gerilimi PGA309 dışındaki birimler tarafından da kullanılabilir veya tamamen iptal edilerek PGA309 dışardan referans alabilmektedir. Referans gerilimi PGA309 5V besleme altında iken 2.5V veya 4.096V olarak seçilebilmektedir.

### Sensör Uyarma ve Doğrusallaştırma Fonksiyonu:

PGA309 entegresi üzerinde  $V_{EXC}$  isimli bir pin bulunmaktadır. Bu pin PGA309 ile beraber kullanılacak sensörün uyarılması (beslenmesi) için kullanılabilir. Bu uçtan maksimum değeri 3.5V olacak şekilde kararlı bir uyarı gerilimi alınabilmektedir.  $V_{EXC}$  değerini referans gerilimi ve  $K_{EXC}$  katsayısı belirlemektedir.

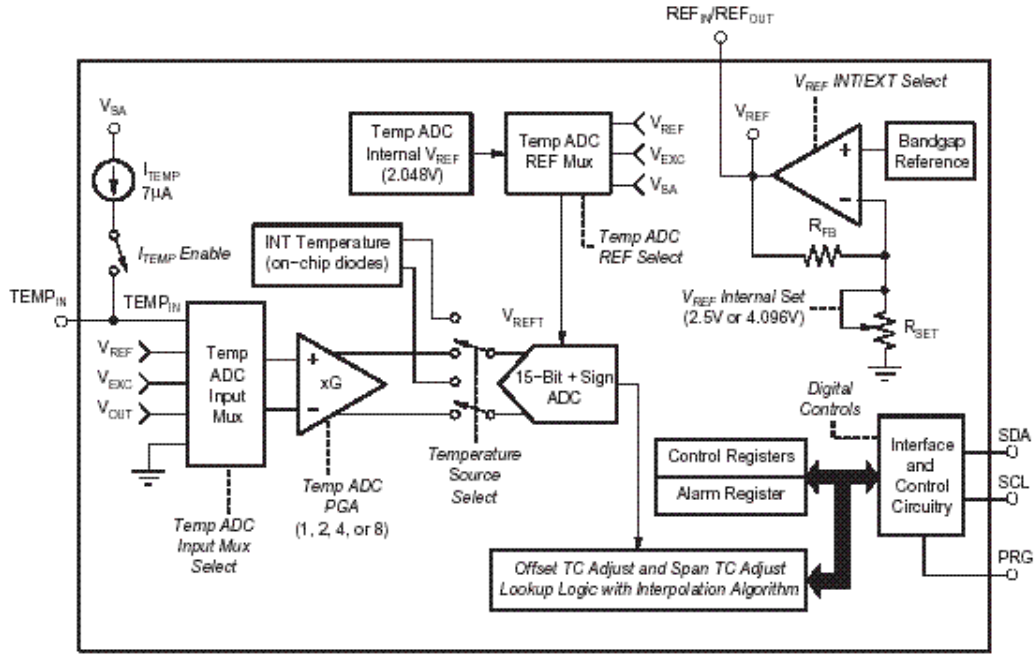


Şekil 7.4 Sensör uyarma ve doğrusallaştırma yapısı.

Tipik olarak köprü sensörler fiziksel uyarının doğrusal (lineer) değişimine karşılık olarak doğrusal olmayan (nonlinear) bir çıkış sinyali üretirler. PGA309 kendi çıkış gerilimini  $K_{LIN}$  katsayısı ile ölçekleyip *LinDAC* üzerinden sensör besleme sinyalinin üzerine ekleyerek bu nonlineerliği belirli bir sınıra kadar giderebilmekte ve bu sayede algılanan fiziksel büyüklük ile PGA309 çıkışı arasındaki ilişki doğrusal hale gelmektedir.

### Sıcaklık Algılama ve Sıcaklık ADC:

PGA309 üzerinde bulunan *TempADC* isimli analog-sayısal çevirici ve sıcaklık okuma diyotu aracılığı ile sayısal sıcaklık verisi elde edebilmektedir. Sıcaklık algılama mantığı, en hassası 15-bit işaretli olmak üzere değişik çözünürlüklerde ölçüm yapacak şekilde konfigüre edilebilir yapıdadır. Ayrıca on-chip diyot devre dışı bırakılarak dışardan bağlanan bir diyot, NTC, RTD veya direnç ile algılama yapılabilmektedir.



Şekil 7.5 PGA309 sıcaklık algılama bloğu.

Köprü sensörlerinin offset (başnokta) ve span (erim) parametreleri sıcaklığa bağlı olarak değişmekte ve buna bağlı olarak sensörlerden okunan çıkış işareti doğrudan sıcaklığa bağımlı hale gelmektedir. Bu problemin çözümü için kullanılan çok çeşitli analog kompensasyon devreleri ve sayısal işaret işleme yöntemleri mevcut olmakla beraber, uygulama düşünüldüğünde seçimde en önemli parametre maliyet olarak öne çıkmaktadır.

PGA309'un en yenilikçi özelliği sıcaklık kompensasyonu için kullandığı yöntemdir. PGA309'da offset düzeltme işlemini kontrol eden *ZeroDAC* ve kazanç değerini kontrol eden parametrelerden biri olan *GainDAC* değerleri adaptif yapıdadır. Farklı sıcaklık bölgeleri için ihtiyaç duyulan offset düzeltme ve kazanç değiştirme işlemleri için kullanılması gereken *GainDAC* ve *ZeroDAC* değerleri kullanıcı tarafından EEPROM'a yazılmış olduğunda; PGA309 algıladığı sıcaklıkta kullanılması gereken değerleri buradan okumakta ve kullanmaktadır. Bu sayede sıcaklıktan bağımsız bir çıkış elde edilmektedir.

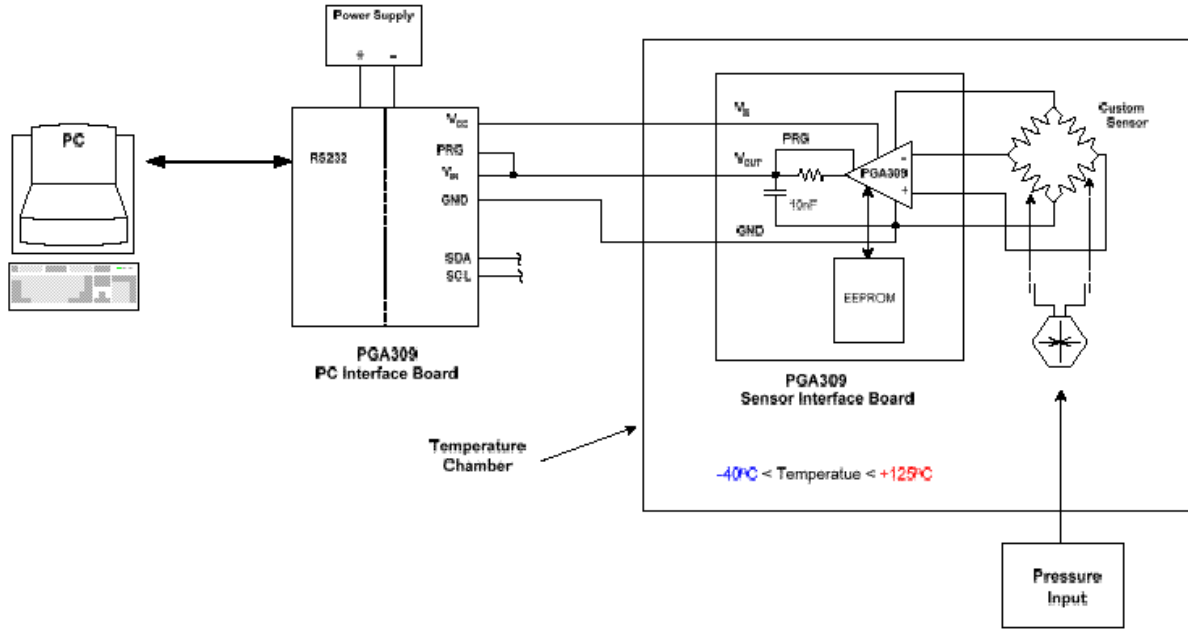
#### Hata İzleme:

PGA309 içerisinde bulunan karşılaştırıcılar vasıtası ile sensör geriliminin (yani PGA309 girişinin) kullanıcı tarafından önceden belirlenmiş belirli bir değeri aşması veya belirli değerin altına düşmesi durumunu tespit edebilmektedir. Bu limit aşımı durumu PGA309'un yazmaçlarından (*register*) izlenebilmekte veya istenirse PGA309'un çıkışını, böyle bir durumda doğrudan besleme değerine veya sıfıra götürmesinden de görülebilmektedir. Burada amaç

sensörün kısa/açık devre olması gibi aşırı bir durumun tespit edilmesidir.

### 7.1.2 PGA309 Geliştirme Modülü

PGA309 EVM, sistem üzerindeki PGA309 entegresinin kontrol parametrelerinin PC aracılığı ile monitör ve kontrol edilebilmesini ve *jumper*ları aracılığı ile uygun bağlantıların temin edilmesini sağlamak amacı ile geliştirilmiş bir modüldür. Modül birbirine bağlanabilir iki karttan oluşmaktadır: Sensör arayüz kartı ve PC arayüz kartı.



Şekil 7.6 PGA309 EVM sistem yapısı.

Sensörün bağlandığı sensör arayüz kartı üzerinde PGA309, EEPROM(24LC16BE) entegreleri ve sistem konfigürasyonuna uygun bağlantıları sağlayan *jumper*lar ve konnektörler bulunmaktadır.

PC arayüz kartı üzerinde PGA309'un çıkış gerilimini sayısallaştıran bir ADC entegresi, besleme gerilimi sağlayan bir gerilim regülatör entegresi ve PC ile seri haberleşmeyi sağlayan MAX3238 entegresini bulunduran; PGA309 yazmaçlarının ve EEPROM' un içeriğini *PGA309 DK Board Interface* programı ile görüntülemeyi ve değiştirmeyi sağlayan birimdir.

### 7.1.3 Uygulama

Gerçeklenen uygulamada Intersema firmasının ürettiği MS7305-D model numaralı piezorezistif köprü tipi MEMS basınç sensörü, PGA EVM ile birlikte kullanılmış ve PGA309'un değişik çalışma modları için sensörden alınan sinyale kazandırdığı iyileştirmeler incelenmiştir.



Gerçeklenen farkı PGA309 çalışma modları için de *Coarse Offset*, *Front-End Gain*, *ZeroDAC*, *GainDAC* ve *Output Gain* değerleri *PGA309 Calculator* aracılığı ile hesaplanmış ve *PGA309 User's Manual* bilgilerine uygun olarak (eşitlik 1) bu değerlerden EEPROM içeriği oluşturulmuştur. Elde edilen değerler *PGA309 DK Board Interface* aracılığı ile sistem üzerindeki EEPROM'a aktarılmış ve öğrenme modülü *Calibration Spreadsheet* ile yapılacak işleme hazır hale getirilmiştir.

$$Zx = \left( \frac{V_{Zdesired}}{V_{REF}} \right) \cdot 65,536$$

$$Gx = \left( Gain_{desired} - \frac{1}{3} \right) \cdot \frac{3}{2} \cdot 65,536$$

PGA309'u farklı kılan asıl önemli fonksiyonları olan doğrusallaştırma ve sıcaklık kompanzasyonuna ilişkin kontrol parametreleri ise *Calibration Spreadsheet* aracılığı ile hesaplanmaktadır. *Calibration Spreadsheet*'in bu parametreleri hesaplayabilmesi için PGA309 EVM'nin enerjilendirilmiş, girişine ilgili sensör bağlanmış ve PC bağlantısı yapılarak *PGA309 DK Board Interface* programının çalıştırılmış olması gerekmektedir.

*Calibration Spreadsheet*, bahsedilen parametre hesaplama işlemini sensöre uygulanacak fiziksel uyaran değerlerinin ve çalışılacak sıcaklık değerlerinin sayısına (3 sıcaklık-3 basınç noktası, 2 sıcaklık-3basınç veya 3 sıcaklık-2 basınç noktası gibi...) göre farklı hassasiyetlerde hesaplamaktadır.

| PGA309 Configuration Registers |                  |                     | PGA309 Calibrated Lookup Table |      |      |      |
|--------------------------------|------------------|---------------------|--------------------------------|------|------|------|
| Reg. Addr                      | Name             | Binary value        | Position                       | Temp | ZM   | GM   |
| 0                              | ADC Out(RO)      | 0001_0110_1110_1010 | 0                              | B425 | DB73 | C593 |
| 1                              | ZeroDAC          | 0000_0000_0000_0000 | 1                              | C072 | F6F0 | FCF6 |
| 2                              | GainDAC          | 0000_0000_0000_0000 | 2                              | CCC0 | F888 | FF32 |
| 3                              | * Ref&Lin        | 0000_0101_0000_0000 | 3                              | D90D | FA20 | FFA6 |
| 4                              | * Gain,Vos,Cfg1  | 0010_0011_0001_1111 | 4                              | E55A | FBB9 | FFD2 |
| 5                              | * Cfg2,OverUnder | 0000_0000_0000_0111 | 5                              | F1A7 | FD51 | FFE8 |
| 6                              | * Cfg3 (ADC)     | 0000_0110_0000_0011 | 6                              | FDF4 | FEEA | FFF7 |
| 7                              | OutEnbl Counter  | 0000_0000_0000_0000 | 7                              | 0A41 | 0082 | 0004 |
| 8                              | AlarmStatus(RO)  | 0000_0000_0000_0000 | 8                              | 168F | 021A | 0012 |
|                                | Config Checksum  | 0111_1101_1000_1101 | 9                              | 22DC | 03B3 | 0025 |
|                                |                  |                     | 10                             | 2F29 | 054B | 0046 |
|                                |                  |                     | 11                             | 3B76 | 06E4 | 0094 |
|                                |                  |                     | 12                             | 47C3 | 087C | 01AE |
|                                |                  |                     | 13                             | 5410 | 0A14 | 20C5 |
|                                |                  |                     | 14                             | 605E | 0BAD | D71B |
|                                |                  |                     | 15                             | 6CAB | 0D45 | 025B |
|                                |                  |                     | 16                             | 78F8 | 0EDD | 00B7 |
|                                |                  |                     | ChSum                          | 7FFF | 0    | 37E5 |

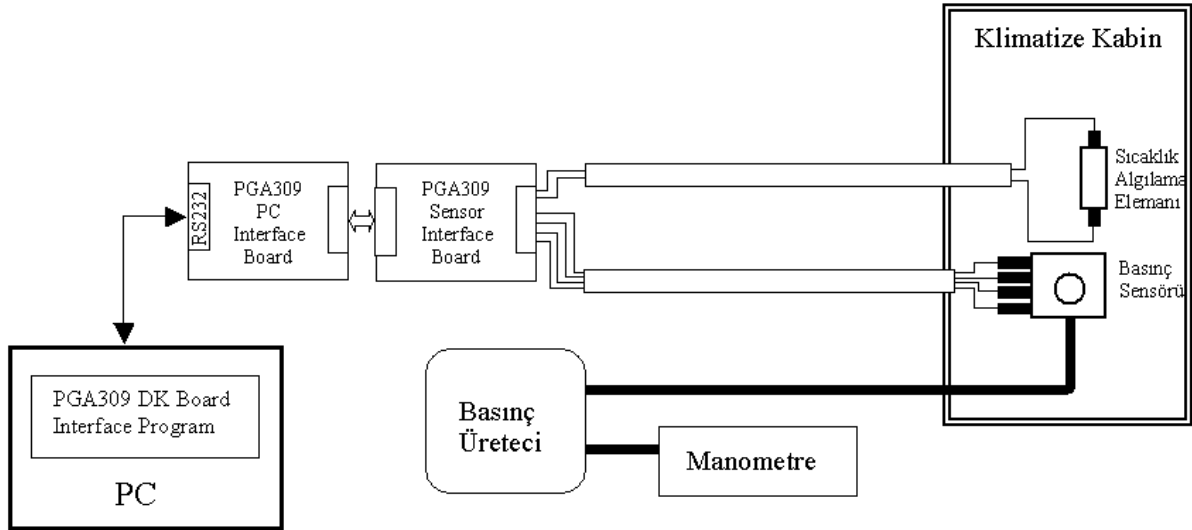
  

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                  |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------|
| PGA309 Calibration                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                  |        |
| Please select the calibration algorithm:                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                  |        |
| One of the following three templates can be used for the pressure sensor calibration                                                                                                                                                                                                                                                                |                                  |        |
| <b>3 Temperatures and 3 Pressures</b><br>Select this when you do not know the 2nd order non-linearities of output vs. pressure and of temperature drifts of span and offset. The module output must be measured at three different temperatures with min and full-scale pressure applied plus mid-scale pressure at one of the temperatures.        | <input checked="" type="radio"/> | OK     |
| <b>2 Temperatures and 3 Pressures</b><br>The 2nd order coefficients of temperature drifts of span and offset are known, but the non-linearity of output vs. pressure must be measured. The module output must be measured at only two temperatures with min and full-scale pressure applied plus the mid-scale pressure at one of the temperatures. | <input type="radio"/>            | Cancel |

Şekil 7.8 Calibration Spreadsheet' den bir görünüm.

### 7.1.3.2 Kurulan Test Düzeneği

Sıcaklık kompanzasyonuna ilişkin verilerin klimatize kabinde yapılan ölçümler ile elde edilmiştir. Sensör ve sıcaklık algılama elemanı kabin içerisine yerleştirilmiş; basınç jeneratörü ve PGA309 EVM bağlantıları kabin dışıdır.



Şekil 7.9 Ölçüm için kurulan düzeneğe ilişkin diyagram.

Yapılan tüm ölçümler sırasında kullanılan klimatize kabin, *Angelantoni* tarafından üretilen *Keykratos* modelidir. Kontrol panelinden seçilen sıcaklık ve nem, kabin içerisinde oluşmaktadır. Çalışmalar boyunca nem sabit %50RH olarak seçilmiş sıcaklık değiştirilmiştir.

Basınç kaynağı olarak *Furness Controls* firmasına ait FCO501 model numaralı basınç üretici kullanılmıştır. Sensöre uygulanan basınç, basınç üreticinin referans çıkışından *Hitachi* marka HINL DMS-7 dijital manometre aracılığı ile kontrol edilmiştir.

PGA309'un sensör sinyaline getirdiği iyileştirmelerin incelenmesi amacıyla farklı sıcaklıklarda ve farklı basınç değerleri için sensör ve PGA309 çıkışı eş zamanlı olarak HP34970A DAQ cihazı üzerinden okunmuş ve PC ortamında saklanmıştır.

### 7.1.3.3 PGA309 Fonksiyonlarının Konfigürasyonu

PGA309'un çalıştırılması için mutlaka gereken kontrol parametreleri belirlenmeden önce nasıl bir modda çalışacağına ilişkin tercihler yapılması zorunluluğu bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Sensör uyarı (besleme) geriliminin seçimi: Sensör; çıkış gerilimi PGA309 girişine uygun olacak biçimde herhangi bir şekilde beslenebileceği gibi, PGA309 entegresi üzerinden de beslenebilir. PGA309 doğrusallaştırma fonksiyonu kullanılmak isteniyorsa sensörün PGA309'un  $V_{EXC}$  ucundan beslenmesi mecburiyeti bulunmaktadır. Ayrıca elektriksel özellikleri izin verdiği takdirde; sensörün herhangi bir doğrusallaştırma yapılmaksızın  $V_{EXC}$  den beslenmesi de mümkündür.  $V_{EXC}$ , PGA309 5V ile beslendiğinde ve doğrusallaştırma fonksiyonu aktif iken

( $K_{LIN} \neq 0$ ) için maksimum değeri 3.5V olacak şekilde değişken; doğrusallaştırma fonksiyonu kullanılmadığında ( $K_{LIN} = 0$ ) sabit 3.5V olmaktadır.

PGA309 çipinin ve TempADC' nin referans seçimi: PGA309 besleme ve çıkış gerilim değerlerine bağlı olarak çip referansı; kullanılan sıcaklık algılama elemanının özelliklerine göre de TempADC referansı seçilir. PGA309 *on-chip* seçilebilir iki farklı referans gerilimi sağlamakta; ayrıca dışarıdan referans girişi de kabul etmektedir.

Sıcaklık algılama elemanının/metodunun seçimi: Çalışma sıcaklık aralığı, ihtiyaç duyulan hassasiyet, sensörün ve PGA309'un konumları ve maliyet gibi kriterlere bağlı olarak uygun sıcaklık algılama elemanı seçilir. Örneğin sıcaklıkla köprü direnci değişen bir sensör için bu eleman direnç olabileceği gibi; RTD, NTC veya diyot gibi konvansiyonel sıcaklık sensörleri de olabilmektedir. Ayrıca PGA309 üzerinde bir (*internal*) sıcaklık algılama diyotu bulunmaktadır.

Sıcaklık kompanzasyonu için kullanılan *look up table* uzunluğunun belirlenmesi: Kullanılan sıcaklık sensörü, seçilen TempADC referans değeri, kompanzasyon yapılacak sıcaklık aralığının genişliği gibi parametreler dikkate alınarak tablo uzunluğu belirlenir. Minimum 2, maksimumu 17 satırlı bir tablo oluşturulabilmektedir.

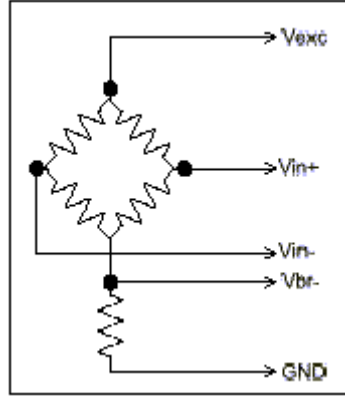
PGA309 çıkış aralığının seçimi: Gerek *look up table* oluşturulması gerek  $K_{LIN}$  değerinin belirlenmesi işleminin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle oda sıcaklığında PGA309 tarafından kullanılacak *GainDAC* ve *ZeroDAC* değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu da PGA309 dan istenen kazanç ve offset değerlerinin belirli olması anlamına gelmektedir ve bu değerler uygulamanın ilk aşamasında seçilirler.

Bunların dışında PGA309'un çalışması için zorunlu olmayan hata izleme ve ölçek sınırlama işlevlerine ait parametrelerde isteğe bağlı olarak seçilebilmektedir.

Yukarıda sıralanan seçeneklerin farklı uygun kombinasyonları için PGA309 kontrol parametreleri hesaplanarak sistem çalıştırılmış ve ölçümler alınmıştır. Yapılan işlemlerin çok farklı olmaması nedeniyle; farklı modlu PGA309 çalışmalarından, sensör çıkış sinyaline en yüksek iyileştirmeyi getiren; özellikleri aşağıda verilen mod için ayrıntılı bilgi verilecektir. Bu uygulamaya ilişkin seçilebilir özellikler aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Kullanılan MS7305-D MEMS basınç sensörünü çıkışı zaten doğrusal olduğundan ve sensör uyarı geriliminin üretici firma (Intersema) tarafından 5V veya daha büyük olması tavsiye edildiğinden  $V_{EXC}$  özelliği kullanılmamış; sensör doğrudan 5V ile beslenmiştir.
- Referans olarak (*internal*) 4.096V kullanılmıştır.

- Sıcaklık algılama elemanı olarak uyarma direnci (excitation resistor) kullanılmıştır. Bu sıcaklık algılama metodunda sensörü oluşturan köprü direncinin sıcaklığa bağlı değişiminden faydalanılmaktadır. Şekil 4.4'te verilen topolojide  $V_{br}$  gerilimi sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Bu gerilim TempADC girişine bağlanarak sıcaklık algılanabilmektedir.



Şekil 7.10 Direnç ile sıcaklık algılama bağlantı yapısı.

- TempADC ayarları; çözünürlü işaretli 15-bit, Temp<sub>IN</sub> kazancı 8V/V ve referans gerilimi *built-in* 2.048V olacak şekilde yapılmıştır.
- 17 parçalı sıcaklık kompanzasyon tablosu (*look up table*) kullanılmıştır.
- PGA309 çıkış gerilimi aralığı 0.5-4.5V olarak seçilmiştir.
- Gerçeklenen uygulamalarda, sensörün ilgili fiziksel uyarının farklı değerleri ile PGA309 çıkışı arasındaki ilişkinin doğrusallaştırılması için kullanılan  $K_{LIN}$  katsayısının hesaplanması ve sabit uyarın altında farklı sıcaklıklarda PGA309 çıkışının sabit kalmasını sağlayan Temp, ZM ve GM değerlerini içeren tablonun oluşturulması işlemi 3 Sıcaklık-3 Basınç noktalı kalibrasyon algoritması kullanılarak yapılmıştır.
- Kullanılacak sensörün çalışma aralığı 0-40 °C ve 0-50 mbar olarak belirlenmiştir; bu durumda kalibrasyon noktaları 0 °C, 25 °C, 40 °C ve 0 bar, 25 mbar, 50m bar olmaktadır.

Çalışmalar boyunca klimatize kabin, standart oda koşullarını temsil etmesi amacıyla %50 bağıl neme set edilmiştir.

Verilen giriş büyüklükleri için; PGA309 Calculator aracılığı ile

$$\text{Coarse Offset} = -13.926 \text{ mV}$$

$$\text{Front End PGA Gain} = 32 \text{ V/V}$$

$$\text{ZeroDAC} = 2.020 \text{ V}$$

$$\text{GainDAC}=0.430239 \text{ V/V}$$

$$\text{Output Amp. Gain}=2 \text{ V/V}$$

olarak hesaplanmıştır.

Buradan elde edilen *ZeroDAC* ve *GainDAC* değerleri Eşitlik 1 yoluyla EEPROM yazılması için gereken dönüşümden geçirilmiş ve tüm parametreler *PGA309 DK Board Interface* aracılığı ile geliştirme modülü üzerindeki EEPROM'a yazılmıştır.

Bu aşamada sistem sadece 0-50 mbar'a karşılık 0.5-4.5 V çıkış vermektedir. Sıcaklık kompanzasyonu işlevinin çalışır hale gelmesi için EEPROM' da bulunması gereken *look up table Calibration Spreadsheet* tarafından aşağıdaki gibi hazırlanmıştır:

Çizelge 7.1 *Calibration Spreadsheet* tarafından hesaplanan look up table.

| Resulting Look-up Table |         |           |           |          |           | Look-up table Hex |      |      |
|-------------------------|---------|-----------|-----------|----------|-----------|-------------------|------|------|
| Point#                  | Temp    | Gfine,V/V | GainSlope | Vzero, V | ZeroSlope | Temp              | ZM   | GM   |
| 1                       | 40      | 0,62495   |           | 1,143513 |           | 49DA              | 4778 | 6FFB |
| 2                       | 37,8125 | 0,62122   | 0,0017    | 1,143102 | 0,00019   | 4A50              | FFF3 | FCE8 |
| 3                       | 35,625  | 0,61765   | 0,00163   | 1,142585 | 0,00024   | 4AC6              | FFEC | FD05 |
| 4                       | 33,4375 | 0,61423   | 0,00156   | 1,141961 | 0,00029   | 4B3B              | FFEA | FD22 |
| 5                       | 31,25   | 0,61096   | 0,0015    | 1,141231 | 0,00033   | 4BB0              | FFE8 | FD3E |
| 6                       | 29,0625 | 0,60783   | 0,00143   | 1,140394 | 0,00038   | 4C24              | FFE1 | FD59 |
| 7                       | 26,875  | 0,60484   | 0,00137   | 1,139451 | 0,00043   | 4C97              | FFDF | FD75 |
| 8                       | 24,6875 | 0,60198   | 0,00131   | 1,138402 | 0,00048   | 4D0A              | FFDA | FD8F |
| 9                       | 22,5    | 0,59926   | 0,00125   | 1,137246 | 0,00053   | 4D7D              | FFD8 | FDAB |
| 10                      | 20,3125 | 0,59666   | 0,00119   | 1,135983 | 0,00058   | 4DEF              | FFD3 | FDC1 |
| 11                      | 18,125  | 0,59419   | 0,00113   | 1,134615 | 0,00063   | 4E60              | FFCE | FDDE |
| 12                      | 15,9375 | 0,59185   | 0,00107   | 1,13314  | 0,00067   | 4ED1              | FFCA | FDF4 |
| 13                      | 13,75   | 0,58962   | 0,00102   | 1,131558 | 0,00072   | 4F41              | FFC7 | FE0D |
| 14                      | 11,5625 | 0,58751   | 0,00096   | 1,12987  | 0,00077   | 4FB1              | FFC2 | FE26 |
| 15                      | 9,375   | 0,58552   | 0,00091   | 1,128075 | 0,00082   | 5020              | FFBD | FE3D |
| 16                      | 7,1875  | 0,58364   | 0,00086   | 1,126174 | 0,00087   | 508F              | FFBB | FE54 |
| 17                      | 5       | 0,58187   | 0,00081   | 1,124167 | 0,00092   | 50FD              | FFB6 | FE6C |
| 18                      | 5       | 0,58187   | 0         | 1,124167 | 0         | 7FFF              | 0000 | 0000 |

*Calibration Spreadsheet* gerekli tüm girişler yapıldığında sistemin EEPROM' una yazılacak binary dosyayı üretmektedir. Verilen konfigürasyon altında *Calibration Spreadsheet* tarafından oluşturulan binary dosya PGA309EVM üzerindeki EEPROM'a yazılmış ve sistem kuvvetlendirme/ölçekleme ve sıcaklık kompanzasyonu yapar hale getirilmiştir.

#### 7.1.3.4 Alınan Ölçümler

PGA309' un performansını test etmek amacı ile sensörün çalışma koşullarında karşılaşılabilecek düşünülen sıcaklık ve basınç aralıklarında ölçümler yapılmış; sensör çıkışı ve PGA309 çıkışı eş

zamanlı olarak okunmuştur.

Sıcaklık değerleri: 5°C, 20°C, 25°C, 30°C, 40°C

Basınç değerleri: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 mbar

Çizelge 7.2 yukarıda verilen sıcaklık ve basınç değerleri için sensör ve PGA309 çıkış gerilimlerini içermektedir.

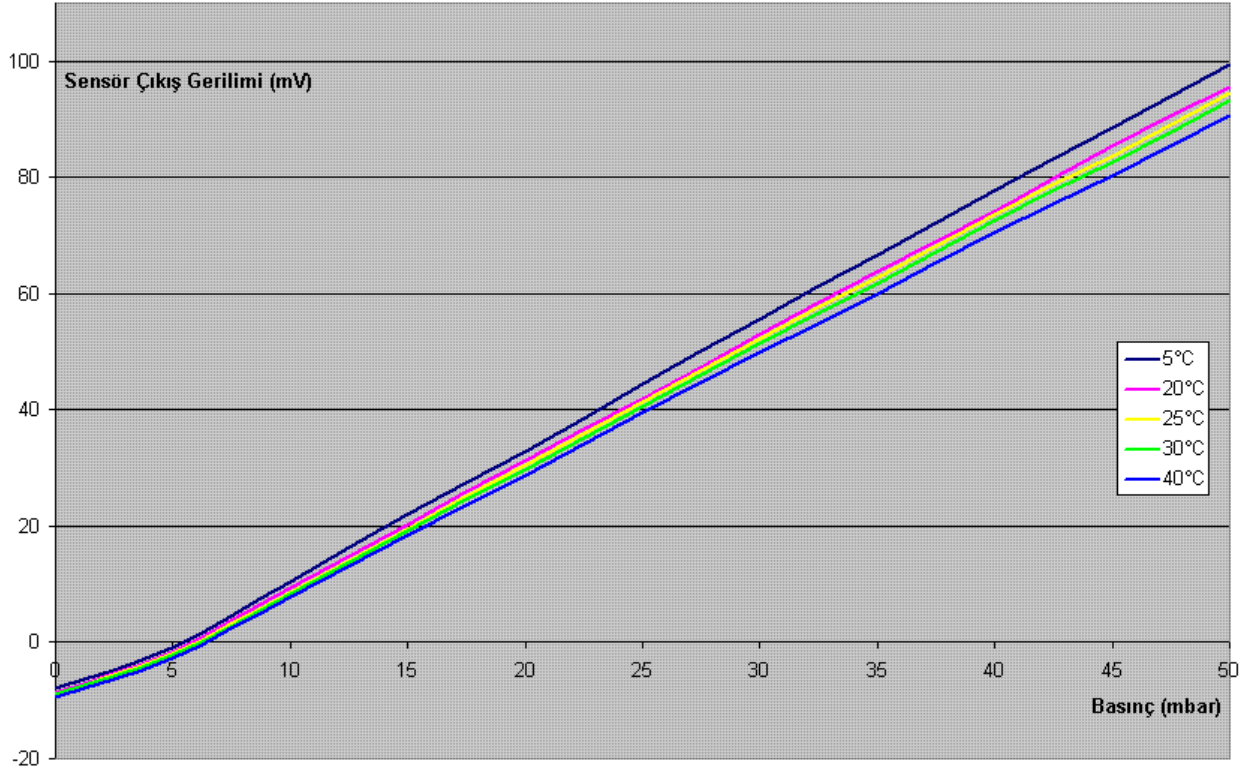
Çizelge 7.2 Farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde sensör ve PGA309 çıkış gerilimleri.

| Sensör çıkış gerilimi (mV) |        |        |        |        |        | PGA309 çıkış gerilimi (V) |       |       |       |       |       |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            | 5°C    | 20°C   | 25°C   | 30°C   | 40°C   |                           | 5°C   | 20°C  | 25°C  | 30°C  | 40°C  |
| 0mbar                      | -7,953 | -8,624 | -8,821 | -9,001 | -9,421 | 0mbar                     | 0,499 | 0,499 | 0,500 | 0,499 | 0,498 |
| 5mbar                      | -0,979 | -1,693 | -1,836 | -2,175 | -2,689 | 5mbar                     | 0,762 | 0,765 | 0,770 | 0,766 | 0,771 |
| 10mbar                     | 10,498 | 9,282  | 8,758  | 8,314  | 7,927  | 10mbar                    | 1,187 | 1,184 | 1,179 | 1,181 | 1,196 |
| 15mbar                     | 21,983 | 20,188 | 19,558 | 19,276 | 18,336 | 15mbar                    | 1,619 | 1,609 | 1,601 | 1,611 | 1,614 |
| 20mbar                     | 32,955 | 31,237 | 30,578 | 29,836 | 28,806 | 20mbar                    | 2,032 | 2,036 | 2,030 | 2,025 | 2,033 |
| 25mbar                     | 44,378 | 41,991 | 41,312 | 40,546 | 39,521 | 25mbar                    | 2,465 | 2,445 | 2,451 | 2,451 | 2,470 |
| 30mbar                     | 55,465 | 52,975 | 52,138 | 51,374 | 49,778 | 30mbar                    | 2,878 | 2,871 | 2,871 | 2,868 | 2,881 |
| 35mbar                     | 66,586 | 63,853 | 62,816 | 61,866 | 60,085 | 35mbar                    | 3,294 | 3,286 | 3,274 | 3,276 | 3,294 |
| 40mbar                     | 77,758 | 74,252 | 73,688 | 72,654 | 70,434 | 40mbar                    | 3,713 | 3,686 | 3,699 | 3,707 | 3,708 |
| 45mbar                     | 88,677 | 85,423 | 83,765 | 82,544 | 80,423 | 45mbar                    | 4,117 | 4,117 | 4,108 | 4,113 | 4,115 |
| 50mbar                     | 99,432 | 95,591 | 94,438 | 93,205 | 90,623 | 50mbar                    | 4,517 | 4,515 | 4,506 | 4,514 | 4,518 |

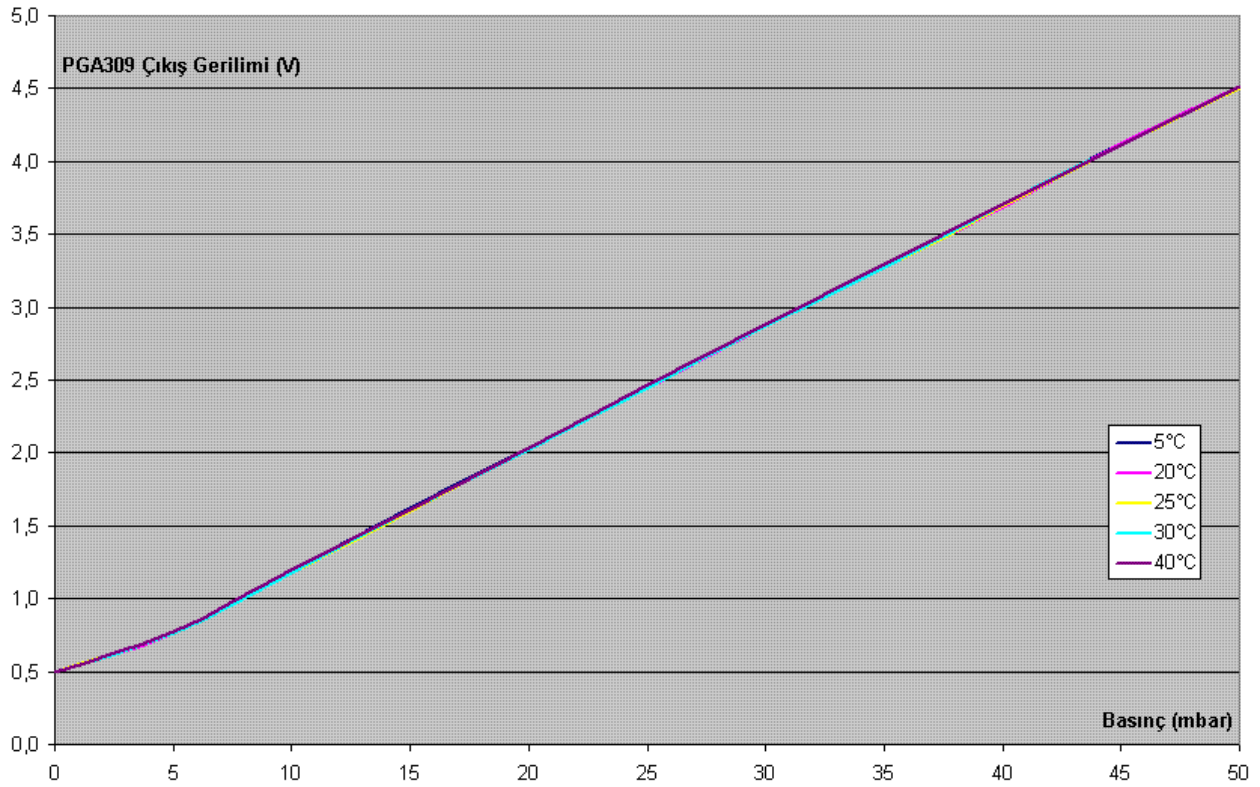
Tablolar incelendiğinde sensörün offset ve span değerlerinin sıcaklıkla değiştiği; aynı basınç altında, farklı sıcaklıklarda farklı çıkış verdiği görülmektedir. Buna karşın PGA309 çıkış geriliminin sıcaklıktan bağımsız olarak değiştiği, sıcaklık kompensasyon işleminin mükemmel yakın biçimde gerçekleştiği görülmektedir. Çizelge 7.3, Şekil 7.11 ve Şekil 7.12'deki grafikler sensör çıkış sinyaline kazandırılan iyileştirmeyi açık biçimde ortaya koymaktadır.

Çizelge 7.3 Sabit basınç altında PGA309 çıkışının sıcaklığa bağlı değişimi.

| Basınç (mbar) | 25°C'deki değeri (V) | ±20°C için değişimi (V) | ±20°C için %değişim |
|---------------|----------------------|-------------------------|---------------------|
| 0             | 0,500                | ±0,001                  | 0,20                |
| 5             | 0,770                | ±0,0045                 | 0,58                |
| 10            | 1,179                | ±0,0045                 | 0,38                |
| 15            | 1,601                | ±0,0025                 | 0,16                |
| 20            | 2,030                | ±0,0005                 | 0,02                |
| 25            | 2,451                | ±0,0025                 | 0,10                |
| 30            | 2,871                | ±0,0015                 | 0,05                |
| 35            | 3,274                | ±0,004                  | 0,12                |
| 40            | 3,699                | ±0,0025                 | 0,07                |
| 45            | 4,108                | ±0,001                  | 0,02                |
| 50            | 4,506                | ±0,0005                 | 0,01                |



Şekil 7.11 Farklı sıcaklık ve basınç değerleri için sensör çıkış gerilimleri



Şekil 7.12 Farklı sıcaklık ve basınç değerleri için PGA309 çıkış gerilimleri.

PGA309 tarafından sensör çıkış sinyaline kazandırılan özellikler/iyileştirmeler şöyle özetlenebilir.

Kuvvetlendirme ve Ölçekleme: -10mV ile 100mV arasında değişen sensör çıkış gerilimi 0.5V-4.5V arasına ölçeklenerek kuvvetlendirilmiştir. Kuvvetlendirme açısından baktığımızda bilinen kazanç mantığından farklı olmak şartı ile yaklaşık olarak 60 kat kazanç elde edilmiştir.

Offset Düzeltme: MS7305-D 0bar basınç altında 25°C de -8.821mV çıkış vermektedir. Ayrıca bu çıkış 5-40 °C sıcaklık aralığında  $\pm 0.8\text{mV}$  değişim göstermektedir. PGA309 sensör 0bar basınç altında iken sıcaklıktan bağımsız olarak  $0.5\text{V} \pm 0.001$  dir (Bknz. Çizelge 7.2 ve 7.3).

Doğrusallaştırma: MS7305-D zaten son derece doğrusal çıkış veren bir sensör olduğundan PGA309'un doğrusallaştırma özelliği aktifleştirilmemiştir. Ancak yine de PGA309'un çıkışının da tamamen doğrusal olması önemlidir. Konvansiyonel kuvvetlendirici devrelerinde kullanılan elemanlar çoğunlukla tam doğrusal bir çıkış vermemektedirler (Şekil 7.5).

Sıcaklık kompanzasyonu: Çizelge 4.2'den de görülebileceği üzere sensör çıkış sinyali sıcaklıktan etkilenmektedir. Her hangi bir sabit basınç altında farklı sıcaklıklarda farklı değerlerde çıkış gerilimi üretmektedir. PGA309 çıkışı incelendiğinde bu istenmeyen değişimin çok küçük aralıklara çekildiği ve sinyalin sıcaklıktan bağımsız hale getirildiği görülmektedir (Şekil 7.5 ve Çizelge 7.3).

Alınan ölçüm sonuçları göstermektedir ki PGA309 uygun konfigüre edildiğinde üreticisi tarafında vaat edilen kuvvetlendirme/ölçekleme, offset düzeltme ve sıcaklık kompanzasyonu işlevlerini başarılı bir biçimde yerine getirmektedir.

Ayrıca lineerleştirme ve hata izleme özellikleriyle de muhtemel mikroişlemci veya mikrodenetleyici uygulamalarında hali hazırda yazılım yoluyla çözülen problemlere sensörün hemen yanı başında müdahale etmektedir. Hata izleme özelliği ile sensörün kısa devre veya aşırı zorlanma gibi bir nedenle bozulması durumunda bunu *Alarm Register*'inde belirtmekte ve/veya çıkış gerilimini lojik 0 veya 1 seviyelerine çekerek ilgili birime durumu bildirmektedir.

Köprü tipi sensörler büyük bir çoğunlukla nonlineer karakteristikler sergilemekte dolayısı ile sayısal sistemler sensör sinyalini anlamlandırmaya, lineerleştirmeye çalıştırmaktadırlar. Bu işlem genellikle bir *look up table* yardımıyla yapılmaktadır. *Look up table*' in büyüklüğü, lineerleştirme işleminin doğruluğu ile ters orantılı olmakta ve duruma göre *look up table*' in kalıcı bellekte kapladığı alan veya sinyalden elde edilen verinin doğruluğu arasında tercih yapılması zorunluluğu doğmaktadır. PGA309 çıkış gerilimi ile fiziksel uyarın arasındaki ilişkiyi

lineerleştirerek problemi; yazılımın ADC’ de elde edilen değeri, yalnızca lineer bir fonksiyondan geçirmesi haline getirmektedir.

#### 7.1.4 PGA309’ a İlişkin Değerlendirme

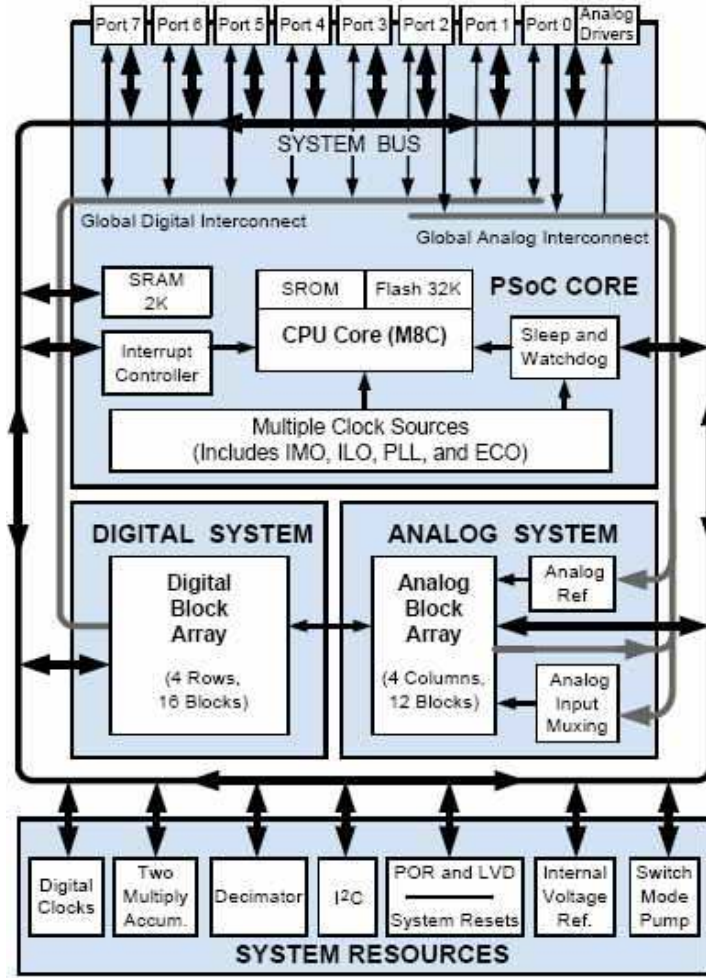
PGA309 Geliştirme Modülü ile yapılan çalışmaların sonuçları göstermektedir ki, köprü tipi sensörlerin kuvvetlendirme/ölçekleme, ofset düzeltme ve sıcaklık kompanzasyonu gibi sinyal değerlendirme adımlarında PGA309 kullanılmaya uygundur.

Aynı işlevleri yerine getirmek için kullanılabilecek konvansiyonel yöntemlerle kıyaslandığında; PGA309’un en büyük artısı tek bir entegre ile komple bir çözüm sunması olarak görülebilir. Ayrıca PGA309, donanımsal herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmadan yalnızca kontrol parametrelerinin değiştirilmesi ile yeni sensörlere uygun veya yeni özelliklerde çıkış gerilimleri veren devrelerin tasarlanmasına da izin vermektedir.

#### 7.2 Programlanabilir Tek Çip Sistem (PSoC™)

Yapılan çalışmanın kapsamı içerisinde beyaz eşyalarda kullanılabilecek sensörlerden elde edilen işaretleri; beyaz eşyada mevcut kontrol kartları üzerindeki mikrodenetleyici temelli sistemlerin kullanabilmesini, değerlendirebilmesini sağlamak için; bu işaretler üzerinde yapılan sinyal işleme adımlarını gerçekleyen yenilikçi donanımların aranması sırasında karşılaşılan bir diğer çözümde PSoC™ dir. PSoC, İngilizce “Programmable System on Chip” kelimelerinin baş harflerinden oluşturulmuş bir kelime olup Türkçe’ye programlanabilir tek çip sistem olarak çevrilebilir.

PSoC, *Cypress Microsystems* firması tarafından üretilen üzerinde mikro işlemci, SRAM, flash program hafızası, saat işareti üretici ve çeşitli amaçlar için kullanılabilen farklı analog ve sayısal yapılar bulunduran FPGA benzeri programlanabilir kapılar içeren; üreticisi tarafından tek çip üzerinde kontrolör ve sinyal işleme dizisi (*mixed-signal array with on chip controller*) olarak tanıtılan bir entegre serisinin adıdır. Bu yapı kullanıcıya istediği şekilde ayarlayabileceği konfigürasyonlar sunar ve böylece birçok uygulamanın gereksinimlerini karşılar. Bu seriye dahil değişik amaçlar için özelleştirilmiş içerisindeki blokların sayısı, yapısı, elektriksel özellikleri farklı olan ve bacak bağlantıları, sayıları değişik modelleri bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan PSoC modeline ilişkin blok diyagram Şekil 7.13’ den görülebilir.



Şekil 7.13 PSoC CY8C29X66' nın blok diyagramı

### 7.2.1 Kullanılan PSoC Entegrasi ve Özellikleri

Bu çalışmada beyaz eşyada kullanılabilecek sensörlerden elde edilen işaretlerin işlenmesi amacıyla kullanılabileceği düşünülen CY8C29X66 ailesinden CY8C29466 kullanılmıştır. Bu entegre/sistem içerisinde bulunan birimlerin önemli özellikleri aşağıda verilmiştir.

#### Mikroişlemcinin (MC8) Özellikleri :

- Harvard mimarisi
- 24MHz saat frekansına kadar çalışabilme
- İki adet 32-bit akümülatör
- 3V veya 5V besleme gerilimi altında çalışabilme
- On-chip SMP (*Switch Mode Pump*) ile 1V' a kadar çalışabilme
- -40<sup>0</sup>C - +85<sup>0</sup>C sıcaklık aralığında çalışabilme

Analog Blokların Özellikleri:

- 12 adet Rail-to-Rail analog blok
- 14-bit genişliğe kadar ADC gerçekleyebilme
- 9-bit genişliğe kadar DAC gerçekleyebilme
- Programlanabilir kuvvetlendiriciler gerçekleyebilme
- Programlanabilir filtreler ve karşılaştırıcılar gerçekleyebilme

Dijital Blokların Özellikleri:

- 16 adet dijital blok
- 8, 16 ve 32-bit genişlikte zamanlayıcı ve sayıcı gerçekleyebilme
- PWM üretebilme
- CRC ve PRS modülleri
- Sistem üzerinde programlama
- Portlara bağlanabilme
- 4 adet Full-Duplex UART gerçekleyebilme
- Analog bloklarla birlikte kompleks fonksiyonlar gerçekleştirme

Bellek Özellikleri:

- 32KB Flash program belleği, 50000 yazma/silme
- Flash bellek üzerinde EPROM emülasyonu
- 2KB SRAM

Port Özellikleri:

- Programlanabilir pin-blok bağlantıları
- Seçilebilir analog-sayısal, giriş-çıkış yapısı
- Seçilebilir pull up, pull down, yüksek empedans, open drain modları
- 12 adede kadar analog giriş çıkış
- Her pin için seçilebilir kesme giriş kaynağı olabilme özelliği

Diğer Özellikler:

- Watchdog Timer ve Sleep Timer
- Düşük gerilim kesmesi
- On-chip gerilim referans üretici
- I<sup>2</sup>C protokolü emülasyonu

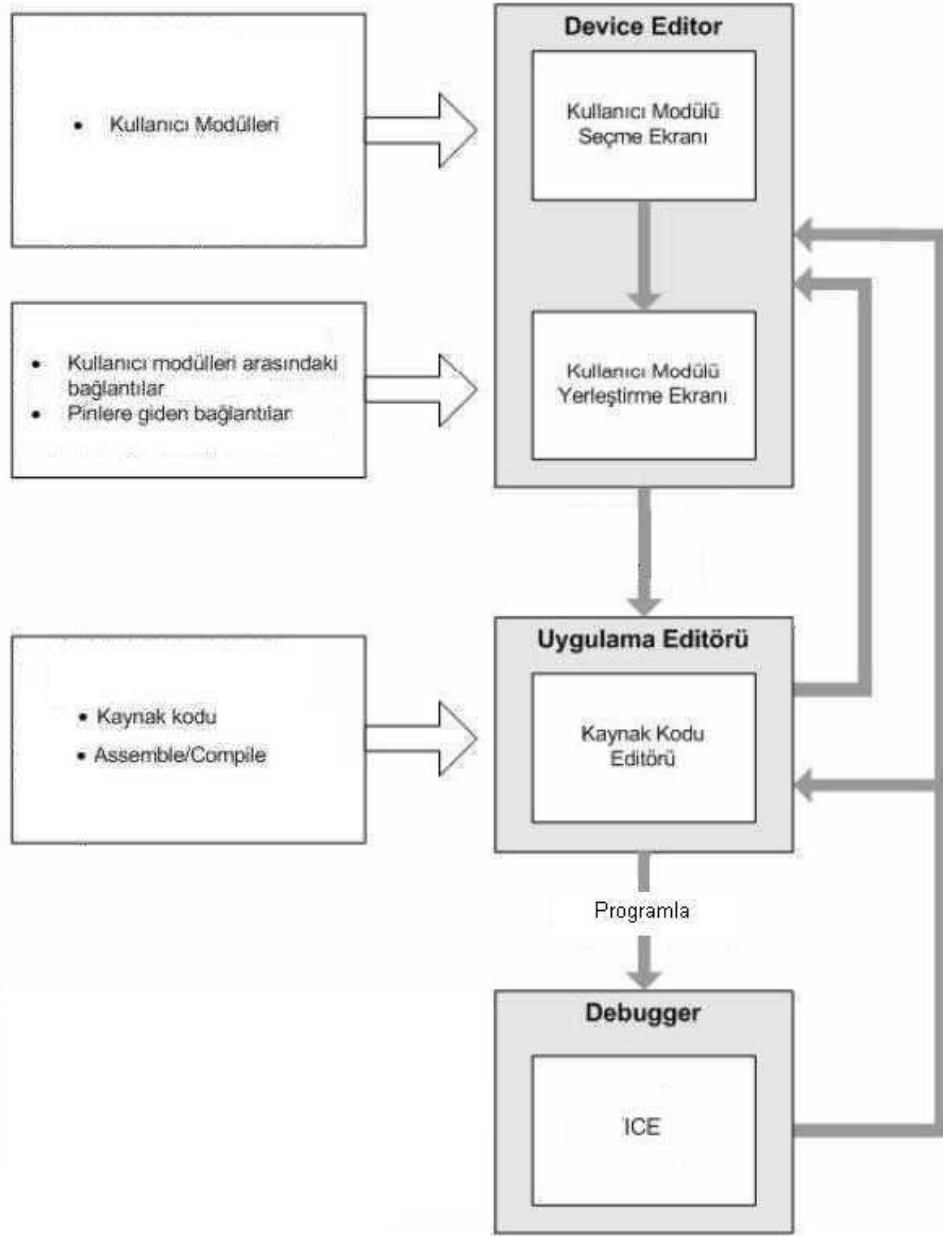
Sıralanan bu özellikler tüm CY8C26X66 ailesi için ortak olup farklı entegreler sadece farklı pin sayısına sahiptir. CY8C29466 3 adet 8-bitlik porta ve toplam 28 pine sahiptir.

Çalışmalar, üzerinde CY8C29466 entegresi bulunan ve PC yazılımı aracılığı ile USB üzerinden çip içerisindeki flash hafızanın programlanabilmesini sağlayan bir geliştirme kiti üzerinde yapılmıştır.

### 7.2.2 PSoC Designer Geliştirme Ortamı

Bölüm 7.2.1’ de verilen tüm özelliklerin konfigürasyonu aşıkarak çok sayıda kontrol büyüklüğünün sistem üzerindeki kalıcı bellekte doğru şekilde yazılması ile gerçekleştirilmektedir. Ancak bu kontrol parametrelerinin her kullanıcı tarafından tek tek *datasheet* bilgileri içerisinde seçilmesi ve sistem üzerinde uygun adreslere yazılması; sistemin sağlanması istenen esneklik ve tasarım kolaylığını azaltacaktır. PSoC entegreleri üzerinde istenilen sistem/donanım konfigürasyonunun oluşturulması ve bu konfigürasyona uygun yazılımın geliştirilmesi için *Cypress Microsystems* tarafından sağlanan *PSoC Designer* isimli bir geliştirme ortamı bulunmaktadır.

*PSoC Designer* yazılımı birkaç önemli alt sistemden oluşmaktadır: Cihaz Editörü, Dizayn Gezgini, Uygulama Editörü ve *Debugger*. *PSoC Designer*’ da bir dizayn kolayca konfigüre edilebilmektedir. Kullanıcı modüllerinin (Dijital blok1, analog blok1 gibi...) gerçekleştirilmesi istenen özellikler (Timer, Filtre, ADC gibi...) seçildiğinde uygun bağlantı ve temel yazılım modülleri otomatik olarak yaratılmaktadır.



Şekil 7.14 PSoC uygulama geliştirme işlemleri akış diyagramı

Cihaz Editörü (*Device Editor*) alt sistemi, kullanıcı modülü (*user module*) olarak adlandırılan farklı analog ve dijital komponentleri seçip kullanma sağlar. Kullanıcı modüllerine örnek olarak ADC' ler, DAC' lar, yükselteçler ve filtreler gösterilebilir.

Uygulama Editöründe, yazılım geliştirme işlemleri yürütülür; *C* ve *Assembly* dilleri kullanılabilir. Ayrıca *assemble*, *compile*, *link* ve *build* işlemleri gerçekleştirilebilir. Şekil 7.14 *PSoC Designer*' da bir projenin gerçekleştirilme aşamaları özetlenmektedir.

### 7.2.3 PSoC Konfigürasyonları ve Kullanılan Modüller

Çalışmanın bu bölümünde, beyaz eşyaya entegre edilecek sensörlerin genel olarak ihtiyaç

duyacakları öngörülen sinyal işleme adımlarının PSoC ile gerçekleşmesi durumu incelenmiştir. Öngörülen sinyal işleme adımları ile kastedilen sensörlerin ürettiği küçük genlikli işaretlere kuvvetlendirme, filtreleme, offset giderilmesi ve sıcaklık kompanzasyonu işlemlerinin uygulanmasıdır. PSoC, aynı zamanda bir mikro işlemci de barındırdığından; fazla kontrol yükü gerektirmeyen uygulamalar için uygun bir PSoC modelinin tüm beyaz eşya sisteminin kontrolörlüğünü yapması da söz konusu olabilir. Ayrıca sensör sinyalinin PSoC üzerinde bulunan ADC aracılığı ile sayısallaştırılması ve sensörden alınan bilginin ilgili beyaz eşya ana kontrol birimine bir sayısal iletişim protokolü ile iletmesi de yüksek gürültü bağışıklığı gerektiren uygulamalar için olası çözümlerden biridir. PSoC' un bünyesinde barındırdığı çok amaçlı birimleri ile gelen bu alternatifli yapısı nedeniyle sensörlerden alınan sinyaller üzerinde ihtiyaç duyulan tüm işlemlerin PSoC ile yapılması yenilikçi bir çözüm olarak düşünülebilir.

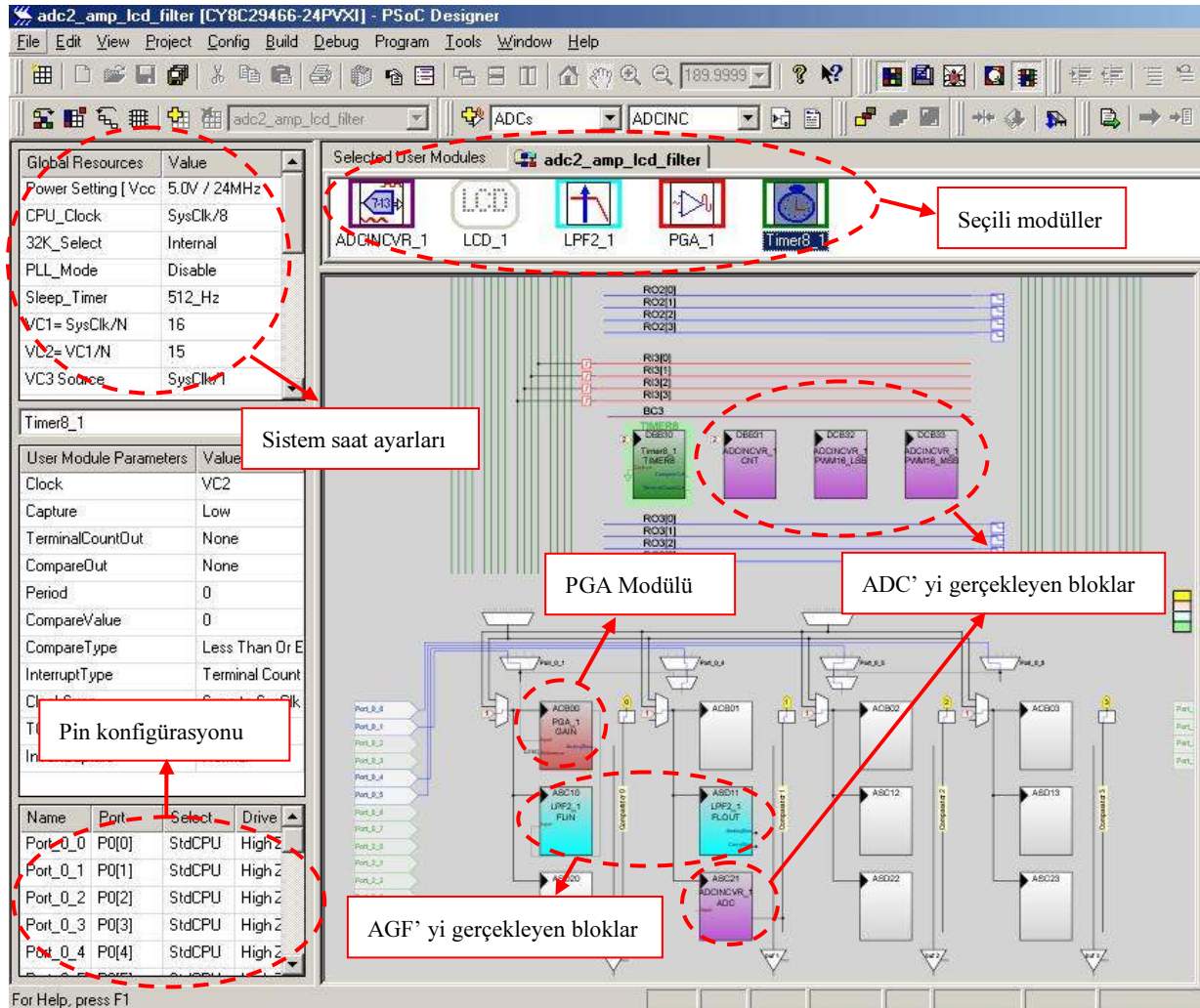
Uygulama olarak yukarıda sayılan işlemleri gerçekleştirmek üzere bir dizi PSoC konfigürasyonu oluşturulmuş, bunlara uygun deneme yazılımları hazırlanmıştır. İnceleme sistemin belirli bir sensör için kullanımını değil genel amaçlı olarak yapılmıştır. Bu amaçla PSoC çipinin ilgili ucuna; istenilen herhangi bir işareti uygulamak üzere bir gerilim kaynağı bağlanmıştır. Çıkış birimi olarak CY8C29466' nin 2 numaralı portuna bağlanan bir 2 satır 16 karakter LCD display kullanılmıştır.

Tanımlanan sensör sinyali işleme adımları için kullanılabilecek PSoC blokları tarafından gerçekleştirilebilen ve testlerde kullanılan modüller şunlardır:

- Enstrumantasyon kuvvetlendiricisi (INSAMP)
- Programlanabilir kuvvetlendirici (PGA)
- Alçak geçiren filtre (LPF)
- Örnek-Sayısal Dönüştürücü (ADC)

Ayrıca LCD sürülmesi, yazılımla gerçekleştirilen filtreler gibi işlemler için ihtiyaç duyulan zamanlama işlemlerinin yapılabilmesi amacı ile timer modülleri de kullanılmıştır. Gerçeklenen PSoC konfigürasyonları, sayılan bu modüllerin değişik kombinasyonlarla beraber kullanılmaları ile oluşturulmuştur. Örneğin sadece bir PGA modülü ve ADC kullanılarak, ADC den okunan değer LCD de gösterilmiş ve uygulanan gerilim işaretinin hangi doğruluk ve hassasiyetle sayısallaştırıldığı veya PGA modülün offset değeri, doyma gerilimi gibi kritik parametrelerinin nasıl bir etkiye yol açtığı incelenmiştir. Benzer şekilde farklı modül kombinasyonları da modüllerin bir toplam performanslarının değerlendirilmesi için kullanılmıştır. (PGA+LPF+ADC

gibi...) Sıralanan bütün modüllerin bir arada kullanıldığı konfigürasyonlardan bir için *PSoC Designer* programından bir görünüm aşağıda verilmiştir.



Şekil 7.15 *PSoC Designer* programından bir görünüm

Yukarıdaki şekilde verilen sistemle, PSoC çipinin bir ucu topraklı çıkış üreten bir sensör için sinyal işleme donanımı olarak kullanılması hedeflenmiştir. Port0' ın 1. pini bir analog giriş olarak PGA modülüne; PGA' nın çıkışı, alçak geçiren filtre modülünün girişine ve bu modülün çıkışı da ADC modülünün girişine bağlanmıştır.

Bu yapı, sensörden alınan işaretin kuvvetlendirilip, filtrelendikten sonra sayısallaştırılarak kullanılması senaryosu üzerine kuruludur. Kullanılan modüllerin hepsi programlanabilir. Yani PGA modülünün kazancı, filtre modülünün köşe frekansı ve ADC' nin çözünürlüğü yazılım ile kontrol edilebilmektedir. Bu sisteme bir sıcaklık algılama elemanın (NTC, PTC gibi...) da eklenmesi ve uygun yazılım ile sıcaklık kompanzasyonu da yapılabilir. Algılanan sıcaklığa göre

PGA' nın kazancı değiştirilebileceği gibi sayısal bir düzeltmeye de gidilebilir.

PGA modülünün yazılımla kontrolüne ilişkin açıklamalar ve komut örnekleri:

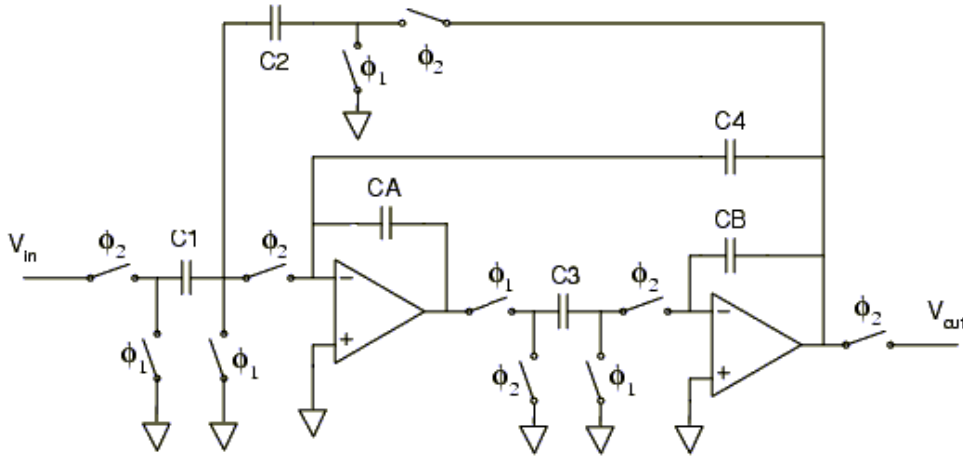
PGA\_1\_SetGain(PGA\_1\_G1\_00); *Kazanç değerinin 1.00 olarak ayarlanması. (Kazanç 0.06 – 48.00 arasında değerler alabilmektedir.)*

PGA\_1\_Start(PGA\_1\_MEDPOWER); *PGA OpAmp'larının besleme seviyesinin seçilerek modülün başlatılması. (Besleme seviyeleri: Low,Med,High olmak üzere üç tanedir.)*

LPF modülünün kontrolü:

LPF2\_1\_SetPower(LP2\_1\_LOWPOWER); *LPF OpAmp'larının besleme seviyesinin seçilmesi.*

LPF2\_1\_SetC1(LP2\_1\_FEEDBACK\_16); *Geri besleme kapasitesinin değerinin (16) seçimi. LPF modülü OpAmp'lar, kapasiteler ve anahtarlardan oluşmaktadır. Filtrenin karakteristiği OpAmp'ların kazancı, kapasitelerin değeri ve dirençleri emule eden anahtarlama kapasitelerinin anahtarlama frekansı ile belirlenmektedir. Bu parametreler Cihaz Editörü'ündeki sihirbaz aracılığı veya yazılım ile adaptif olarak kontrol edilebilmektedir.(Şekil 7.16)*



Şekil 7.16 Filtre modülüne ilişkin diyagram.

LPF2\_1\_SetPolarity(LP2\_1\_POLARITY\_NON\_INVERTING); *Filtrenin evirme-evirmeme durumunun seçimi.*

ADC modülünün kontrolü:

PSoC blokları farklı amaçlara yönelik olarak; SAR(Successive Approximation Register),

*incremental* ve Delta-Sigma yapılarında ADC' leri değişik çözünürlükte gerçekleyebilmektedir. Yapılan farklı uygulamalarda farklı ADC' ler kullanılarak avantajları/dezavantajları görülmeye çalışılmıştır. Aşağıda Şekil 7.15' de görülen değişken çözünürlüklü *incremental* ADC' ye ait kontrol komutlardan bazıları verilmiştir:

ADCINCVR\_1\_SetResolution(8); *Çözünürlüğün 8-bit olarak seçilmesi.*

ADCINCVR\_1\_Start(ADCINCVR\_1\_MEDPOWER); *ADC OpAmplarının besleme seviyesinin seçilerek modülün çalışmasının başlatılması.*

ADCINCVR\_1\_GetSamples(3); *İstenilen sayıda örneğin ADC tarafından okunması. (3 adet)*

#### 7.2.4 PSoC İle Yapılan Çalışmalara İlişkin Değerlendirme

Bir önceki başlık altında verilen modüllerin kombinasyonları ile gerçekleştirilen uygulamalarda, her bir modülün seçilen besleme modu ile orantılı bir offset olduğu görülmüştür. Bu offsetin azaltılması için besleme gücü düşürüldüğünde ise kuvvetlendirici katlarının doyuma ulaştığı gerilim değeri küçülmekte ve aktif kuvvetlendirme bölgesi daralmaktadır. Ayrıca söz konusu offset değerlerinin sıcaklıktan etkilenmesi de söz konusudur. Bu durumda her bir katın offseti hesaplanarak ADC tarafından okunan değerden yazılım yoluyla düşülse bile sıcaklık etkilerinin giderilmesi ayrı problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ayrıca referans girişi olan modüllere, referans olarak GND(toprak) verildiğinde; çip içerisinde gerçekleşen elektromagnetik indüksiyon (*crosstalk*) veya bazı modüllerin ani güç çekmeleri esnasında toprak ucunun sıfırdan farklı değerlerde davranması nedeniyle ADC hatalı değerler okumaktadır. Bu sorun referansın sistem içersinde gerçekleştirilecek bir DAC' den sağlanması ile giderilmesi mümkündür ancak bu durumda 2 analog ve 1 dijital blok sistem kaynaklarından harcanmış olmaktadır.

Kullanılan 3 farklı ADC yapısından SAR tipi ADC' lerin düşük sensör uygulamaları için ihtiyaç duyulandan çözünürlükte/hassasiyette oldukları görülmüştür. Delta-Sigma ADC yapısı ise hem çok fazla sistem kaynağı harcamakta hem de çip üzerinde sadece bir adet Delta-Sigma ADC gerçekleştirilebilmektedir. Bu da çoklu ADC gerektiren uygulamalar negatif bir durumdur. *Incremental* ADC yapısındaki ADC' ler PSoC ile sensör sinyali sayısallaştırma işlemi için en uygun tiptir. Harcadıkları blok sayısı ve örnekleme hızı ve çözünürlük açısından PSoC' un sağladığı en verimli ADC' lerdir.

Alçak geçiren filtre modüllerinin ise DC çıkışlı sensör sinyallerinin filtrelenmesi için uygun olmadığı, bu sinyallere uygulanmak istenebilecek düşük köşe frekanslı filtreleme işleminin LPF

bloğu ile değil; çip üzerindeki MAC aracılığı ile gerçekleştirilen sayısal filtreler veya yazılım yoluyla gerçekleştirilen filtreler ile gerçekleştirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Sonuç olarak PSoC' un uygulamalarda temel alınan köprü tipi sensörler ve benzeri çıkış işaretlerine sahip sensör sinyallerinin işlenmesinde kullanılabileceği söylenebilir. PSoC, tek çip sensörün ihtiyaç duyduğu işlemleri yerine getirmesi ile tümdevrelerin, ayrık elemanlı devreler olan tüm üstünlüklerini sağlamaktadır. Ancak elektriksel özelliklerinin çok hassas uygulamalar için yeterli olmadığı söylenebilir. Düşük hassasiyet gerektiren sensör uygulamaları için verimli çözümlerin PSoC ile sağlanması ise mümkün gözükmemektedir.

## 8. SONUÇLAR

Yapılan çalışma, beyaz eşya özelinde; çevresindeki fiziksel değişimlerin bir kısmını algılayan herhangi bir elektronik kontrol sisteminin dizayn ve gerçekleştirme aşamalarından biri olan; ilgili fiziksel büyüklüğün elektriksel bir işarete dönüştürülmesi ve bu işaretin taşıdığı verinin kontrol birimi tarafından maksimum doğrulukla/verimlilikle elde edilmesi konusunda bilgi ve tecrübe kazanılmasını sağlamıştır.

Çalışmaya başlarken; fırın ve buzdolabı içerisinde, nem ve gaz değişimlerinin algılanarak günlük hayatın vazgeçilmez birer parçası haline gelmiş bu iki makinenin daha verimli ve daha akıllı/yetenekli hale getirilmeleri hedef alınmıştır. Bu kapsamda çalışanın ilk aşaması nem ve gaz olarak anılan fiziksel büyüklükler; buzdolabı ve fırında benzer uygulamalar hakkında ayrıntılı bir literatür araştırması yapılmıştır. Nemin ve gazın doğası, değişimlerini yönlendiren etkiler ve kullanılacakları beyaz eşyanın işlevleri ile büyüklüğün nasıl etkileşimi öğrenilmiştir. Nem ve gaz algılama hakkındaki literatürün ve konuya ilişkin patentlerin incelenmesini kapsayan ve bu çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümlerinde ayrıntıları ile verilmiş olan literatür taramasından kazanılan bilgi bunları takip eden uygulama çalışmalarına yön vermiştir.

Çalışma kapsamının buzdolabı ve fırında nem ve gaz algılama olarak seçilmesinin sebebi ilk bakışta buzdolabında yiyeceklerin saklanması sürecinde buzdolabındaki yiyeceklerin tazelik/bozulma durumunun saklama ortamının nem ve gaz düzeyine bağlı olduğu ve fırında pişirme işlemi boyunca nemin pişirme kalitesini etkilediği ve pişme boyunca ortamdaki gaz miktarının pişme durumu ile ilişkili olarak değiştiğinin düşünülmesidir. Ancak literatürde nem algılamanın çok farklı amaçlarla ve uzun zamandır uğraşılan bir konu olduğu; bunu tersine gaz algılama konusunun görece çok yeni bir konu olduğu görülmüştür. Diğer taraftan herhangi bir beyaz eşyaya entegre edilecek elektronik sensörlerin, diğer uygulama alanında kullanılan benzerlerinden farklı olarak sahip olması gereken önemli ticari özelliklere sahip olması gerekmektedir. Fırın ve fırın gibi ürünler çok fazla sayıda üretildiklerinden; barındırdıkları her elemanın olabilecek en az maliyete sahip olmaları gerekmektedir. Bu bağlamda nem ve gaz sensörleri ayrışmaktadırlar. Çok farklı spesifikasyonlara ve beyaz eşyaya entegrasyonu söz konusu olabilecek maliyetlerde nem sensörleri mevcuttur. Buna karşın elektronik devre elemanı yapısındaki gaz sensörlerinin üretim teknolojileri henüz gelişimini sürdürmekte ve çeşitlenmektedir. Beyaz eşyada kullanılabilecek olan teknik kısıtları karşılayan sensörler söz konusu olduğunda da maalesef çok sayıda üretici ve maliyet alternatifi bulunmamaktadır. Bu durum altında çalışmanın uygulama alanı nem sensörleri olarak özellikle fırında nem algılama olarak daraltılmıştır.

Fırında pişirme kontrol uygulamasında nem sensörünün kullanımı ile ilgili olarak internetten üzerinden edinilen çok sayıda nem sensörü teknik dokümanları ve uygulama notlarının incelenmesi sonucunda, fırında kullanılmaya uygun nem sensörünün sahip olması gerekli teknik spesifikasyonlar şöyle belirlenmiştir:

- Sensör yerleşkesi: Fırın bacası
- Çalışma Sıcaklık Bölgesi: 0 °C-85 °C
- Çalışma Nem Bölgesi: % 5 RH- % 98 RH
- Hassasiyet:  $\pm 5$  %RH
- Baca içerisindeki yağ, kir gibi koşullara dayanımlı kılıf yapısı

Buzdolabında yiyeceklerin raf ömrünü artırmak amacıyla sebzelik içerisinde nem algılama amaçlı kullanılmaya uygun nem sensörünün sahip olması gerekli teknik spesifikasyonlar şunlardır:

- Sensör yerleşkesi: Buzdolabı sebzelik bölümü veya yiyecek türüne özel oluşturulmuş yiyecek saklama bölümü.
- Çalışma Sıcaklık Bölgesi: 0 °C-10 °C
- Çalışma Nem Bölgesi: % 5 RH- % 98 RH
- Hassasiyet:  $\pm 2$  %RH

Teknik spesifikasyonları beyaz eşyada kullanılmaya uygun nem sensörü üreticileri ve sensör kodları şunlardır: HONEYWELL HIH-4000, HONEYWELL HIH-3600, HYGROMETRIX HMX2000DS, SMARTEC SMTHS10, OHMIC Instruments ABS-300, GEFRA H6000/H6100, SENSIRION SHTXX, HUMIREL HS1100/1101, PANAMETRICS Minicap2.

Buzdolabında sebzelikte nem algılama amaçlı OHMIC Instruments ABS-300 dışında diğer nem sensörleri kullanılmaya uygundur. Kapasitif ve rezistif tip sensörlerin buzdolabı koşullarında performansı hedeflenen sınırlardadır.

Çeşitli üreticilere ait elektrikli ankastre fırınlar incelendiğinde, bu fırınlarda nem algılama amaçlı Ohmic Instruments ABS-300 ısıl iletkenlik sensörünün kullanıldığı görülmüştür. EPCOS, SHIBAURA gibi üreticilerinde benzer teknik spesifikasyonlarda ısıl iletkenlik nem sensörleri mevcuttur. *OHMIC ABS-300* termal iletkenlik değişimi yoluyla algılama yapan bir mutlak nem sensörüdür. 200<sup>0</sup>C çalışma aralığının üst sınırı olarak verilmektedir. Nemi 0-130 g/m<sup>3</sup> aralığında ölçebilmektedir. Ayrıca kimyasal gazlara ve yoğuşmaya karşı dayanıklıdır ve koruyucu bir kılıf (*housing*) içindedir. DC 15V'la beslenmekte ve çıkışı 0-13mV arasında değişmektedir. Fırın uygulamaları için gayet uygun gözükmeyle beraber, ısıl iletkenlik sensörleri düşük

sıcaklıklardaki kararlılık problemleri nedeniyle buzdolabı uygulamaları için tercih edilmemelidir.

Konuya ilişkili patentler incelendiği akıllı bir pişirme için gereken bilgilerin nem ve gaz sensörleri ile elde edilmesi ve bu bilgiler ile nem ve sıcaklık kontrolü yapılarak kullanıcı memnuniyeti sağlayacak kaliteli pişirme sağlamanın mümkün olduğu; çeşitli beyaz eşya üreticilerinin yakında zamanda bu özellikleri ürünlere kazandırma çabası içerisinde oldukları görülmüştür. Patentler çoğunlukla; sensörlerden elde edilen bilgilerin uygun pişirmeyi gerçekleştirmek için fırının ilgili komponentlerini kumanda edecek otomatik kontrol sisteminin giriş büyüklükleri olarak kullanılması ile ilintilidir. Fırında pişirmenin başlangıç aşamalarında alınan nem bilgisi ile pişirilmekte olunan yiyeceğin miktarı ve türü belirlenebilmektedir. Gaz sensörü pişirme ortamından elde edinilen verilerin analizi ile yiyecek türünün, pişirme süresinin belirlenmesinde ve komponentlerin sağlıklı ve kaliteli pişirmeyi sağlayacak şekilde kontrol edilmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Buzdolabı uygulamalarına ait patentlerde sıklıkla özel tasarlanmış bir bölmede (örn. sebzelik) belirli tür yiyecek grupları için sıcaklık, nem ve gaz algılama ile yiyeceğin tazeliğinin kestirimine değinilmektedir. Gaz sensörleri yiyecek türüne uygun saklama koşullarının temin edilmesi ve yiyeceklerin saklama sürelerini arttırmanın yanında, yiyecekler bozulduğu zaman kullanıcının uyarılmasına da olanak vermektedir.

Konuyla ilgili patentlerin sayısındaki artışında gösterdiği gibi nem ve gaz sensörlerinin kullanılmasıyla kullanıcıların kazandığı kolaylık ve ekonomi göz önüne alındığında yakın bir gelecek içinde nem ve/veya gaz sensörlü fırınların ve buzdolaplarının şu an olduğundan çok daha yaygın olarak kullanılan ve aranılan ürünler haline geleceğini söylemek mümkündür.

Patent ve literatür taramasının ardından uygulamada karşılaşılmaması muhtemel zorlukları görmek ve konuya ilişkin tecrübeyi arttırmak amacı ile olarak satılan elektrikli ankastre fırınlar içerisinde nem sensörlü olan modellerin incelenmesi düşünülmüştür. Piyasada bulunan tüm ürünler içerisinde yalnızca *De Dietrich DP490X* modeli üzerinde nem sensörü bulunduğu tespit edilmiştir. Bunun dışında nem sensörü olmayan ancak üzerinde buharlı pişirmeyi sağlayacak nemlendirme ünitesi mevcut olan AEG Competence isimli bir ürün daha bulunmaktadır. Bu iki elektrikli ankastre fırının nem sensörü, nem algılama ve pişirme kontrol mekanizmaları incelendiğinde; her iki üründe de nem algılama ve kontrol ve buharlı pişirme özelliklerinin etkin olarak kullanılmadığı görülmektedir. İnceleme sonucunda nem algılayan/nem kontrollü fırın çalışması ile kullanıcılara ekstra fonksiyonellik, konfor ve hijyen sağlayacak yeni özelliklerin kazandırılabilceği görülmüştür.

Bu aşamadan sonra uygun mekanik özelliklere sahip olarak geliştirilen prototip üzerinde nem algılama gerçekleştirilmiştir. Öncelikle fırın baca kesiti içerisinde optimum nem algılamayı sağlayan sensör yerleşkesi belirlenmiştir. Bu yerleşkede OHMIC INSTRUMENTS ABS300 mutlak nem sensörü ile doğru ve tekrarlanabilir ölçümler alınabildiği görülmüştür. Fırın baca kesiti ve fırın orta noktasına (kavite) yerleştirilen nem sensörleri verileri analiz edilerek; baca kesitindeki nem değeri ile kavite içindeki nem değeri arasındaki ilişki kurulmuştur. Yapılan ölçümler ve veri analizleri sonucu fırın kavitesi içerisindeki nem miktarı ile fırın baca kesiti arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve bacada yapılan ölçümler ile fırın içerisindeki nemin yüksek doğrulukla kestirilebildiği görülmüştür.

Fırın içerisinde farklı miktarda yiyeceğin davranışını modellemek üzere 250 ml, 500 ml ve 1 lt su ile yapılan pişirme deneylerinde elde edilen veriler incelendiğinde, nem sensörü kullanılarak yiyeceğin miktarı hakkında kestirimde bulunmanın mümkün olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonuç elektrikli ankastre fırında nem algılama yoluyla yiyeceğin miktarının algılanması ve yiyecek cins ve miktarına uygun otomatik pişirme algoritmasının geliştirilmesinde kullanılabilir. Ayrıca konvansiyonel fırınlardan ciddi anlamda daha akıllı modellerin dizaynı için gerekli olan bilginin ne olduğu görülmüştür. Bu bağlamda fırında nem algılama ve kontrole dayalı pişirme algoritmasının hangi yiyecek türlerini kapsayacağı belirlenmelidir. Kek ve börek gibi özel bazı yiyecekler için belirli miktarda yiyecekler esas alınarak; yiyeceğin miktarı, nem miktarı ve optimum pişirme süresi ile optimum pişirme algoritmasının geliştirilmesine yönelik pişirme testleri yapılmalıdır. Bu deneysel çalışmalarda elde edilen enstrümantal sonuçlara paralel kullanıcı beğenisini temsil edecek duyuşal testler yapılmalı ve nem algılama ve kontrole yönelik elektronik kontrol algoritmasında kullanılabilecek bir veri tabanı hazırlanmalıdır.

Gerek bahsedilen veri tabanı hazırlama çalışmalarında üzere gerekse değişik yapıda(geometride) farklı nem algılama yapan fırınların dizaynı çalışmalarında kullanılmak üzere bir nem algılama enstrumantasyonu uygulaması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen uygulama ile fırında nem algılama ile ilgili yapılacak deneysel çalışmalar için genel amaçlı bir ölçüm sistemi sağlanmıştır.

Son aşamada sensörlerin beyaz eşyalara entegrasyonu kapsamında sensörlerden elde edilen elektriksel işaretlerin cihazlar üzerinde bulunan kontrol kartlarına uygun şekilde iletiminde kullanılabilecek elektronik donanımlar araştırılmıştır. Beyaz eşyalarda kullanılabilecek sensörlere ait çıkış işaretlerinin (Gerilim, akım, frekans, v.b), bu işareti işleyecek kontrol birimine taşınmadan önce veya kontrol birimi içerisinde yukarıda sayılan parametrelere bağlı olarak çeşitli işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Genel olarak sinyal işleme ismi anılan bu işlemler:

- kuvvetlendirme,
- gürültüden arındırma,
- işaretin, işareti giriş olarak alan sisteme uygunlaştırması, (DC olarak ötelenmesi veya AC işaretlerin doğrultulması gibi...)
- sensörlerin sıcaklık gibi çapraz bağımlılıklarından kaynaklanan bozulmaların giderilmesi,
- sinyal ile uyaran arasındaki ilişkinin lineerleştirilmesi

olarak belirlenmiştir. İnceleme kapsamı bu işlemleri yerine getirmek üzere kullanılabilecek elektronik donanımlardan yenilikçi olanların belirlenmesi, özelliklerinin, performanslarının ve avantaj/dezavantajlarının görülmesi olarak belirlenmiştir. Konvansiyonel OpAmpli veya transistörlü kuvvetlendiriciler ve ayırık direnç-kapasite elemanları ile gerçekleştirilen filtreler inceleme dışında tutulmuş; tanımlanan yenilikçi anlayışına uygun olarak; PGA309 (sensör koşullandırıcısı) ve PSoC (programlanabilir tek çip sistem) isimli iki entegre devre ele alınmıştır.

Ayrıntıları Bölüm 7’ de verilen inceleme uygulamalarının ardından tasarım amacı doğrudan sensörlerle birlikte kullanılmak olan PGA309 ağırlıklı olmak üzere her iki tümdevrenin de sensörlerden elde edilen işaretlerin şekillendirilmesi için kullanıldıklarına konvansiyonel sistemlerin sağladığı çözümlerin tümünü sağladıkları ve bütün işlemlerin tek bir çip üzerinde gerçekleştirilmesi avantajını da getirdikleri görülmüştür. Ayrıca programlanabilir yapıları sayesinde aynı sensörün/sensör devresinin farklı uygulamalara kolayca adapte edilebilmesi söz konusudur. İlerleyen zaman içerisinde bu tip sensörlere özel entegrelerin yaygınlaşacağı; sensor veya sensörleri olan bir çok elektronik düzenekte bu entegrelerin de var olacağını söylemek mümkündür. Beyaz eşya kontrol kartları için de bu açıdan bakıldığında ayrıcalıklı bir durum olmadığı görülmüştür.

Kısaca, bu çalışmada nem sensörünün elektrikli ankastre fırında kullanılması özelinde; genel olarak bir sensörün her hangi bir sisteme entegrasyonu süreçlerini hepsi verilmiştir. Kavramsal altyapının oluşturulmasından, uygun algılama teknolojisinin/sensörün seçilmesine, sistem üzerinde algılama doğruluğunun kontrol edilmesinden, sensör sinyalini işleyecek elektroniğin özelliklerine kadar tüm aşamalar öğrenilen tüm ayrıntıları ile verilmiştir.

**KAYNAKLAR**

Agilent 34970A Data Acquisition/Switch Unit Product Overview, 129-130-131.

Arçelik araştırma notu ANN-280 Nem ölçüm teknikleri, 6-33-47.

Application Report of PGA309 Microcontroller Application. Tim Green, Haziran 2005, 151-158

Applied Sensor as-ffh-450 datasheet, 40-44-45-47.

A practical Technique for minimizing the number of measurements in sensor signal conditioning calibration” Art Kay, Mikhail Ivanov, Viola Schäffer, Haziran 2005, 151-152-153-154-155

Chemically deposited optical fiber humidity sensor. Parikshit Gaikwad, Mississippi State University August 2003, 8-16-37-38-45-48.

Condition Monitoring For Intelligent Household Appliances J. Goschnick, R. Körber, 30.

E2V technologies VQ6 series technical information, 39.

FIS Index for automatic cooking controls, 57

FIS Sensors and systems technology products review, 41.

Figaro TGS 2620, Product Information, 41.

General Eastern G-Cap2 datasheet, 12-14-41.

Honeywell HIH-3610 Series Product Information, 12-14-43-45-47.

Honeywell HIH-3602 Product Information, 26

Humirel HS1101 Datasheet, 26

New micro-machined water vapor sensor for home appliance applications. Ralph Fenner, Hygrometrix Inc. Alpine , CA (U.S.A.) , 20.

Ohmic instrument ABS-300 datasheet, 25-43.

Panametrics, Minicap2 datasheet, 12-14-35-36-37.

PGA309 EVM User’s Guide, 147-148-149

PGA309 Noise Filtering, 151-158

PGA309 User’s Guide, 143-144-145-146

PGA309 Voltage Output Programmable Sensor Conditioner Datasheet, 141-142

PSoC™ CY87C29X66 Preliminary Datasheet, 159-160

PSoC™ Designer Assembly Language User Guide, 165-166

PSoC™ Designer C Language Compiler User Guide, 165-166

PSoC™ Mixed Signal Array Technical Reference Manual, 162-163-164-165-166

Sensirion SHT series product information sheet, 19-25.

Sensors in household appliances, Guido Tschulena and Lahrmann, 37-38-40-43.

Sensors (Ağustos 2000), 34.

Sensors (Ocak 2002), 35-38.

Sensors (Şubat 2004), 45.

The electrical interaction between the catalyst surface and the target gas molecules Dirk Niemeyer 21.11.03 Berlin, 43.

Worldwide analyses and forecasts for the sensor markets until 2008. Intechno consulting, Basle (Switzerland), 1-2.

### **İnternet Kaynakları**

[1] [www.sensorsmag.com/](http://www.sensorsmag.com/)

[2] [www.delphian.com/](http://www.delphian.com/)

[3] [www.citytech.com/](http://www.citytech.com/)

[4] [www.ion-optics.com/](http://www.ion-optics.com/)

[5] [www.citytech.com/](http://www.citytech.com/)

[6] [www.manningsystems.com/](http://www.manningsystems.com/)

[7] [www.Umweltsensortechnik.de/](http://www.Umweltsensortechnik.de/)

[8] [www.microsense.ch/](http://www.microsense.ch/)

[9] [www.nemoto.co.jp](http://www.nemoto.co.jp)

[10] [www.uni-tuebingen.de](http://www.uni-tuebingen.de)

[11] [www.gefran.com/](http://www.gefran.com/)

[12] [www.ni.com/labview/](http://www.ni.com/labview/)

## ÖZGEÇMİŞ

UFUK LEVAN YAKUT

Doğum Tarihi : 04/05/1981

Adres: Tunusbağı.Dönmedolap Sokak.No: 34/5 81160 Üsküdar/İstanbul

Telefon: (0216) 342 75 99, (0532) 564 75 62

E-posta : u\_yakut@yahoo.com

Öğrenim:

Yüksek Lisans :Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi  
Elektronik Programı (2004- ... )

*Lisans* :Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik ve  
Haberleşme Mühendisliği (1999-2004)

*Lise* :Yalova Fatih Sultan Mehmet Lisesi (1997-1998)  
Kocaeli Körfez Fen Lisesi (1995-1997)

Yabancı Dil : İngilizce (1998 Yıldız Teknik Üniversitesi Hazırlık Sınıfı)

Stajlar : - Türk Telekom İstanbul Kadıköy Transmisyon Servisi  
- Telsim Mobil Telekomünikasyon Hizmetleri A.Ş  
Asya Teknik Bölge Müdürlüğü

Mesleki İlgi Alanları:

- Analog İşaret İşleme, Analog Filtreler, Devre Tasarımı
- Sayısal İşaret İşleme-GSM
- Mikroişlemciler, Mikrodenetleyiciler, Mikroişlemcili
- Sistem Donanımı ve Yazılımı
- Yapay Sinir Ağları
- Güç Elektroniği
- Endüstriyel Elektronik

Bilgisayar Bilgisi:

- Windows , Linux, Microsoft Office
- Protel , OrCad , Proteus, MatLab
- Pascal, Assembly
- Donanım

Kişisel İlgi Alanları: Masa Tenisi, Bisiklet, Trekking, Yüzme, Sinema, Müzik, Bilim ve Teknoloji