

**BACAGAZINDAKİ NEM MİKTARININ BELİRLENMESİ  
İÇİN OTOMATİK ÖLÇÜM SİSTEMİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**DEVELOPMENT OF AUTOMATIC MEASUREMENT  
SYSTEM FOR DETERMINATION OF MOISTURE  
CONTENT IN STACK GASES**

**Önder ÇETİNER**

Hacettepe Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

olarak hazırlanmıştır.

2006

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Tekin YÜRÜR

Üye (Danışman) : Dr. Türkay ONACAK

Üye : Prof. Dr. A. Cemal SAYDAM

Üye : Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU

Üye : Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ

ONAY

Bu tez ...../...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../.....

Prof.Dr Ahmet ÖZDURAL  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

# BACAGAZINDAKİ NEM MİKTARININ BELİRLENMESİ İÇİN OTOMATİK ÖLÇÜM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

**Önder ÇETİNER**

## **ÖZ**

Bacadan gaz olarak atılan kirleticilerinin konsantrasyon ve kütleli debi değerlerinin tespit edilebilmesi için bacagazı nem miktarının bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada bacagazındaki nem miktarını tespit edebilmek için otomatik bir ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Bacagazındaki nemi belirlemek için kullanılan sensörler yüksek sıcaklık ve toz konsantrasyonlarının bulunduğu ortamlarda belirli hata oranları ile çalışmaktadır. EPA (Environmental Protection Agency) tarafından önerilen ve Metod-4 olarak adlandırılan bacagazında nem ölçüm sistemi yüksek sıcaklık ve toz ortamlarında kullanılabilmesine rağmen zahmetli ve kesikli bir ölçüm yöntemidir. EPA Metot 4'te yoğuşma için soğutma işlemi buz kabında yapılmakta, toplanan nem ise tartılarak tespit edilmektedir. Bu tezde geliştirilen bacagazı nem ölçüm sisteminde EPA Metot-4'deki ölçüm sistemi temel olarak alınmıştır. Geliştirilen sistemde sıcak bacagazındaki nemin tutulması için klasik soğutma-yoğunlaştırma ünitesi kullanılmıştır. Bir ölçüm kabına alınan nemin (suyun) miktarı ise mikron hassasiyetinde ölçüm yapabilen elektromekanik bir düzenek ile tespit edilmiştir. Geliştirilen ölçüm sisteminde gaz içindeki nem miktarının ne kadarının tutulduğunu kontrol etmek için laboratuvar ortamında denenmiştir. Bu amaçla sistemin sonuna silika jel ile doldurulmuş bir kap yerleştirilmiştir. Yapılan denemeler 3 ayrı debide (4-8-12 l/dak) 3 kez tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. En az sistem kaçığı düşük debide (4 l/dak) 12 dakikalık deneme sonucunda yapılan ölçümlerde 0.3 gr olarak bulunmuştur. 12 l/dak'lık yüksek pompa debisinde ise 5 dakikalık çalışma süresi sonunda yoğunlaşma kabında ortalama 178.9 gr nem toplanırken sistemdeki nem kaçığı miktarı ise 3.6 gr olarak tespit edilmiştir. Geliştirilen ölçüm sistemi gerçek ortamı olan endüstriyel bir bacada da denenmiştir. Bu denemede sistem bacada izokinetikliği sağlamak amacıyla 12 l/dak pompa debisinde çalıştırılmıştır. 10 dakika çalışma süresi

sonunda 9.8 gram nem toplanmış silika jel kutusundaki kaçak miktarı ise 0.6 gram olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bacagazı, Nem miktarı, Otomatik ölçüm

Danışman: Dr. Türkay ONACAK, Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği  
Anabilim Dalı

# DEVELOPMENT OF AUTOMATIC MEASUREMENT SYSTEM FOR DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT IN STACK GASES

Önder ÇETİNER

## ABSTRACT

Moisture content in stack gas must be known for determining the concentration and the mass flow rate of the pollutants which are emitted from the stack. In this thesis, automatic measurement system was developed for determining moisture content in stack gas. The sensors which are using for the measurement of the moisture content in stack gas are working with specific error rate at high temperature and dust concentration. Environmental Protection Agency (EPA) suggests a moisture measurement system which is named as Method 4. Although this measurement system can be used at high temperature and dust concentration, it is a difficult and discontinuous measurement system. In EPA Method 4 cooling for condensation is done in ice vessel and moisture which is collected is determined by weighting. The moisture measurement system in stack gas which was developed in this thesis was based on EPA Metot-4 measurement system. In developed measurement system, classical cooling-condensation was used for catching moisture in hot stack gas. The amount of moisture (water) which is taken to the measurement vessel was determined by an electromechanical system which can measure in micron sensitivity. Developed measurement system was tested at laboratory conditions for checking how much moisture content in stack gas was holded in this system. During the tests an vessel which was filled with silica gel was attached at the end of the system. The tests was done at three times at 3 different flow rate (4-8-12 lt/min). The minimum leakage was determined as 0.3 gr at the minimum flow rate (4 lt/min) in 12 minutes. The leakage was determined as 3.6 gr at the maximum flow rate 12 lt/min in 5 minutes. And during this test, 178.9 gr moisture was collected in condensation vessel. Also, developed measurement system was tested at industrial stack. During this test, the measurement system was operated at 12 l/min flowrate for providing izokinetic condition at stack. At the end of the 10 minutes operating

period, 9.8 gr moisture was collected and leakage amount in silica gel vessel was determined as 0.6 gr.

**Keywords:** Stack gas, moisture content, automatic measurement

Advisor: Dr. Türkay ONACAK, Hacettepe University, Department of Environmental Engineering.

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın gerçekleőtirilmesindeki katkılarından dolayı,

Tez çalıőmalarım sırasında bana yol gösteren her tőrly yapıcı ve yőnlendirici yardımlarını benden esirgemeyen Sayın Dr. Tőrky ONACAK'a,

Bu tez Tubitak 105Y381 no'lu proje kapsamında desteklenmiőtir. Sağladığı maddi destek için TUBİTAK kurumuna,.

Her zaman yanımda olan desteklerini benden esirgemeyen ve sevgileriyle bana gőr veren eőtım Emel ÇETİNER'e

içtenlikle teőtakkőr ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Nem Tanımlaması ve Formülasyon.....	2
1.2. Klasik Nem Ölçme Yöntemleri.....	5
1.2.1. Psychrometer.....	5
1.2.2. Çiylenme Noktası Higrometresi.....	6
1.2.3. Higroskopik Materyallerin Kullanıldığı Higrometre.....	7
1.3. Nem Sensörleri .....	9
1.3.1. Dirençli Nem Sensörleri .....	10
1.3.2. Higrometrik Nem Sensörleri.....	11
1.3.3. Lityum Klorid Nem Sensörleri .....	11
1.3.4. Polimer Film Nem Sensörleri.....	16
1.3.5. Gözenekli Seramik Nem Sensörü .....	16
1.3.6. İyonik Tip Nem Sensörü .....	16
1.3.7. Elektronik Tip Nem Sensörleri .....	17
1.3.8. Proton Tipi Seramik Nem Sensörleri.....	17
2. MATERYAL VE METOT.....	18
2.1. EPA Metot 4 (Gravimetrik Yöntem).....	18
2.2. Ölçüm Sisteminin Tasarım Ve Bileşenleri.....	19
2.2.1. Isıtmalı Prob ve Toz Tutma Birimi.....	20
2.2.2. Soğutma (yoğuşurma) Sistemi.....	21
2.2.3. Otomatik Seviye Ölçüm Sistemi .....	26
2.2.4. Debi Kontrollü Pompa.....	28
2.2.5. Sistem Kontrol Birimi.....	28



2.2.6. Baca Gazı Nem Ölçüm Sisteminin Çalışması.....	29
2.2.7. Mikrodenetleyici Programı .....	32
3. DENEME VE ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	35
3.1. Su-Seviye Ölçüm Kabının Kalibrasyonu.....	40
4. GENEL SONUÇLAR .....	41
4.1. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler.....	43
5.KAYNAKLAR .....	44
EKLER DİZİNİ .....	47

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 1.1.Bağıl nemi açıklamak için doymuş su buharı genel kavramı .....	3
Şekil 1.2. Sıcaklığa karşı doymuş su buharı basıncı değişimi grafiği .....	4
Şekil 1.3: Psychrometre nem ölçüm sisteminin şematik görünümü.....	6
Şekil 1.4. Çiylenme noktası higrometresinin yapısı.....	7
Şekil 1.5. Bir mekanik higroskopik higrometrenin yapısı.....	8
Şekil 1.6. Kapasitif higrometre yapısı.....	9
Şekil 1.7. Prototip bir çiylenme noktası higrometresi.....	11
Şekil 1.8. Lityum Klorür nem sensörlerinin çeşitli şekilleri.....	15
Şekil 1.9. Farklı miktarlarda Lityum Klorür ile Dunmore tip sensörünün birkaç ünitesi için direnç-nem karakteristikleri.....	15
Şekil 2.1. EPA Metot-4 Nem Örnekleme Zinciri.....	19
Şekil 2.2. Isıtma Probenin kesit görünümü.....	20
Şekil 2.3. Isıtmalı prob ve filtre kartuşunun fotoğrafı.....	21
Şekil 2.4. Peltier ile gerçekleştirilen soğutma sistemin kesit görünümü ve fotoğrafı.....	22
Şekil 2.5. Klasik soğutma sisteminin kesit görünümü.....	23
Şekil 2.6. Klasik soğutma sisteminin fotoğrafı.....	24
Şekil 2.7. Klasik soğutma sistemin prensibini gösteren şema.....	25
Şekil 2.8. Basit gaz akışkanlı soğutma çevrimleri.....	26
Şekil 2.9. Su Seviye Ölçüm Sisteminin Kesit Görünümü.....	27
Şekil 2.10. Ölçüm sistemi kontrol biriminin şematik gösterimi.....	29
Şekil 2.11. Baca gazı nem ölçüm sisteminin şematik gösterimi.....	31
Şekil 2.12. Gerçekleştirilen bacagazı nem ölçüm sisteminin fotoğrafı.....	32
Şekil 2.13. Nem ölçüm sistemi mikrodenetleyicisi programının iş-akış şeması.....	33
Şekil 3.1. Baca gazı nem ölçüm sisteminin laboratuvardaki denemeleri sırasında kullanılan deney düzeneği.....	36
Şekil 3.2. Pompa debisinin nem kaçaklarına etkisi.....	37

Şekil 3.3. Su seviye ölçüm sisteminin sabit adım sayısındaki deneme sonuçları.....	39
Şekil 3.4. Su seviye ölçüm sisteminin referans butonu kullanılarak yapılan deneme sonuçları.....	39
Şekil 3.5. Su seviye ölçüm kabının kalibrasyon değerleri.....	40

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge. 1.1. Nem Sensörlerinin Uygulamaları .....	13
Çizelge 1.2. Nem Sensörlerinin Karakteristikleri.....	14
Çizelge 3.1. Bacagazı nem ölçüm sistemi deneme sonuçları.....	37

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

EPA : Environmental Protection Agency

Lt/dak : Litre/ Dakika

L/min : Litre/ Dakika

V : Volt

SV : Selenoid Valf

## 1.GİRİŞ

Havadaki su buharı miktarı olarak tanımlanan nem, insan yaşamında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Endüstride yüksek kalitede ürün elde edebilmek için optimum nem koşulları sağlanmalıdır. Örneğin tekstil işletmeciliğinde imalat sırasında elektrostatik yüklerin oluşumu materyallerin birbirine yapışmasına neden olur. Ancak bu durum ortam koşulları nemli olduğunda önlenabilmektedir. Tarım sektöründe uygun çevresel nem koşulları meyve ve sebzelerin yetişmesinde gerekli olmaktadır. Benzer koşullar yiyecek, pamuk, tütün gibi ürünlerin korunmasında gerekmektedir. Ayrıca, çevresel ölçümlerde de nem miktarının belirlenmesi önemlidir. Örneğin baca gazı, bacada toz, ortamda toz ölçümlerinde konsantrasyonların ve debilerin belirlenebilmesi için nem miktarının bilinmesi gerekmektedir. Böylece, birçok alanda farklı amaçlarla nemin ölçüm ve kontrolü oldukça önem arz etmektedir.

Bilim ve mühendislik gelişimi süresince nem ölçümünde farklı yöntemler uygulanmıştır (Penman, 1955). Nem ölçmede kullanılmak üzere farklı fiziksel prensipler üzerine kurulu birçok cihaz 17.yy da geliştirilmiştir. Bu cihazlardan en önemli olanları “higroskopik higrometre”, “çiğlenme noktası higrometresi” ve “psychrometer” dir. Bu cihazlar oldukça büyük boyutlardadır ve modern cihazlara göre daha yavaş sonuç vermektedir. Bununla birlikte, bu cihazların çalışma prensipleri en son üretilen cihazlarda da hala kullanılmaktadır.

Gravimetrik metot olarak bilinen EPA Metot-4 yüksek sıcaklık ve tozlu ortamda uygulanabilen bir metottur. Bu metotta sensörlerin aksine çoklu ortamlarda ölçümler yapılabilmektedir. Isıtılmalı bir hatla yapılan örneklemede bacagazı neminin örnekleme hattında yoğunlaşması engellenmektedir. Örnekleme hattından sonra buz kabına konulmuş yoğunlaştırma kabında nemin yoğunlaşması sağlanmakta ve nem miktarı belirlenmesi sağlanmaktadır.

Günümüzde ince film nem sensörleri oldukça küçük boyuta sahip olmaları, düşük maliyet, az enerji tüketimi ve yüksek performans gibi özelliklere sahip olmaları nedeniyle oldukça yaygın kullanılmaktadırlar. Farklı ölçme prensiplerine sahip (örneğin rezistif, kapasitif, higrometrik, gravimetrik, ve termal teknikler) birçok çeşit

ince film nem sensörleri mevcuttur. Sert çevre koşullarında uzun süreli denge ve kimyasal dayanıklılık problemleri ince film nem sensörlerinin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Sensör yüzeyindeki su yoğunlaşmasına bağlı olarak yüksek oranlı nem koşullarında dengesizlik birçok ince film nem sensörlerinin diğer bir dezavantajıdır.

**Tezin Amacı:** Baca gazındaki nemin ölçülmesi, gerçekleştirilen emisyon ölçümlerinde nemden arındırılmış kirletici konsantrasyonların ve kütleli debilerin belirlenmesinde önemlidir. Emisyon ölçümlerinin ardından kirletici konsantrasyonunun ve kütleli debilerinin gerçek değerinin belirlenebilmesi için nem düzeltmesi gerekmektedir. Bu nedenle emisyon ölçümlerinde bacagazındaki nem miktarı da ölçülmektedir. Bacagazında nem, 2 şekilde ölçülebilmektedir. Bunlardan birincisi sürekli nem ölçen (on-line) nem sensörleridir. Bu sensörler oldukça pahalıdır ve sabit sistemlerdir. Ayrıca, yüksek tozun bulunduğu bacalarda yanlış sonuçlar vermekte ve tek noktada ölçüm yapmaktadırlar. İkinci ölçüm metodu ise klasik ölçüm metodu olan EPA Metot 4'dür. Gerçekleştirilen bu tezde EPA Metot 4'ün (gravimetrik metodun) avantajlarını kullanan bir ölçüm sistemi oluşturularak, nem ölçümündeki problemlerin çözülmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle EPA Metot 4 de tanımlanan ölçüm sistemi daha kullanışlı ve otomatik bir duruma getirilmiştir.

### 1.1. Nem Tanımlaması ve Formülasyon

Nem atmosferdeki su buharı içeriğinin ölçüsü ve toplam atmosferik basıncın bir parçasını oluşturmaktadır. Atmosferik nem miktarı su buharının kısmi basıncı ile orantılıdır. Bu durum havadaki kesin nem içeriğinin ölçülmesine izin verir. Havadaki nem içeriğinin belirlenmesinde kullanılan birçok yöntem vardır. Örneğin; kesin nem oranı, özgül nem oranı, karışım oranı ve bağıl nem. Kesin nem oranı; birim hacimde kuru havadaki su buharının kütlesi olarak tanımlanır (Gole, 1970).

Kesin nem oranı = su buharı miktarı / kuru hava hacmi (1.1)

Kesin nem oranı  $g/m^3$

Özgül nem oranı ve karışım oranı havadaki nem içeri miktarının belirlenmesinde kullanılan diğer iki yoldur. Özgül nem oranı su buharının ağırlığının onu içeren havadaki birim ağırlığına oranıdır (Gole, 1970).

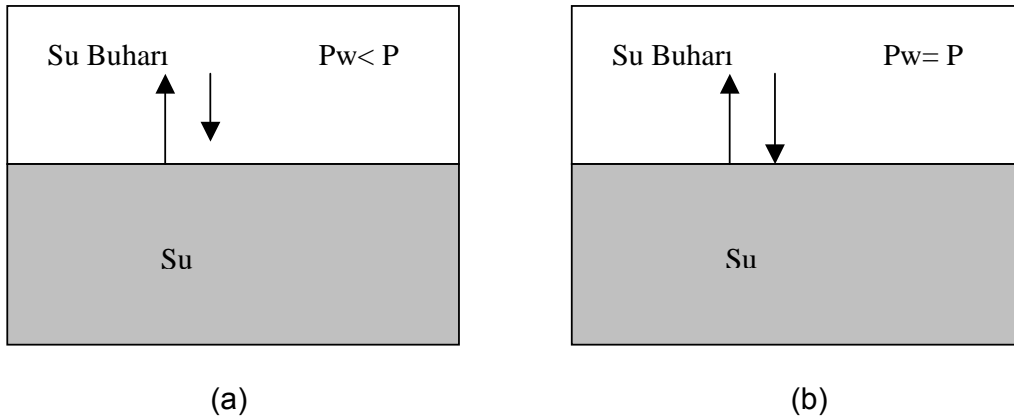
$$\text{Özgül nem oranı} = \text{Su buharı miktarı} / \text{toplam hava miktarı} \quad (1.2)$$

Diğer taraftan, karışım oranı su buharı kütlesinin onu içeren kuru hava kütlesine oranıdır (Gole, 1970).

$$\text{Karışım oranı} = \text{Su buharı kütlesi} / \text{Kuru hava kütlesi} \quad (1.3)$$

Nemle ilgili olarak yukarıda verilen miktarların doğrudan ölçülmesi pratik olarak mümkün değildir. Nem belirlemede kullanılan basit bir deneysel yöntemden yola çıkarak bağıl nem tanımlanmıştır.

Bağıl nemi açıklamak için, doymuş su buharı kavramının açıklanması gereklidir. Şekil 1.1' de gösterildiği gibi belirli bir sıcaklıkta su üzerinde hapsedilen hava numunesinin buhar oranı yoğunlaşma oranına eşit olduğunda sistem dengeye ulaşmış olur. Diğer bir deyişle su buhar basıncı sabitlenmiş olur. Bu durumda su buhar basıncı havanın tutabileceği maksimum su buharı miktarına karşılık gelir, ve bu doymuş su buhar basıncı olarak tanımlanır.



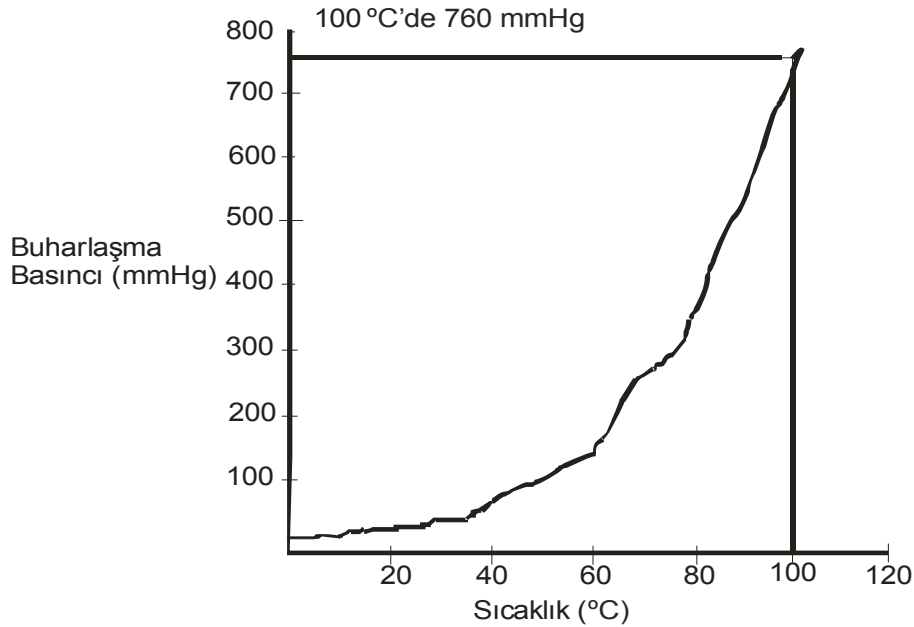
Şekil 1.1:Bağıl nemi açıklamak için doymuş su buharı genel kavramı: (a) Buhar basıncı doymuş buhar basıncından düşük (b) Sistemin denge hali



Bağıl nem; belirli bir sıcaklıkta buhar basıncının doymuş su buharı basıncına oranıdır.

$$\text{Bağıl Nem} = \text{su buharı basıncı} / \text{doymuş su buharı basıncı} \quad (1.4)$$

Bağıl nem genellikle yüzde olarak ifade edilir ve sıcaklığa bağlı bir parametredir. Bağıl nemin sıcaklığa bağlı olmasının nedeni; doymuş buhar basıncı sıcaklığın bir fonksiyonudur. Sıcaklık arttığında doymuş buhar basıncı artar. Sonuç olarak, eğer havadaki kesin (tam) nem sabit ise bağıl nem artan sıcaklık ile azalır. Şekil 1.2.'de sıcaklığa karşı doymuş su buharı basıncı değişimini gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 1.2. Sıcaklığa karşı doymuş su buharı basıncı değişimi grafiği (Penman, 1955)

Çiylenme noktası sıcaklığı, neme ilişkin diğer bir parametredir. Soğutma sırasında doymuş buhar basıncının azalmasına bağlı olarak bağıl nemin % 100'e ulaştığı sıcaklığa çiylenme noktası sıcaklığı denmektedir. Çiylenme noktası sıcaklığı havadaki tam nemin oranını verir ve bu sıcaklıktaki doymuş buhar yoğunluğuna karşılık gelir.

## 1.2. Klasik Nem Ölçme Yöntemleri

Farklı ölçme yöntemlerini kullanan birçok tip nem ölçme cihazı bulunmaktadır. Örneğin; psychrometers, çiylenme noktası higrometresi ve higroskopik malzemelerin kullanıldığı higrometre (Gole, 1970). Bunun yanında EPA tarafından standart yöntem olarak belirlenen gravimetrik yöntem de klasik nem ölçme yöntemlerindedir. Tüm yöntemler avantaj ve dezavantajlara sahiptir. En uygun ölçme yöntemi uygulama alanına göre seçilmelidir.

### 1.2.1. Psychrometer

Bu yöntem nem ölçümünde kullanılan en eski yöntemdir. Bu cihaz Şekil 1.3' de görüldüğü gibi iki termometreden meydana gelir. Biri çevredeki hava ile diğeri ise su ile temas halindedir. Ölçme; aşağıdaki formüle göre ıslak ve kuru sıcaklığı arasındaki fark kullanılarak gerçek buhar basıncı hesaplaması üzerine kuruludur (Vissceher,1995).

$$P_w = P_s - P_{tot} A (T_d - T_w) \quad (1.5)$$

Burada  $T_d$  : Kuru sıcaklık  $T_w$  : ıslak sıcaklık

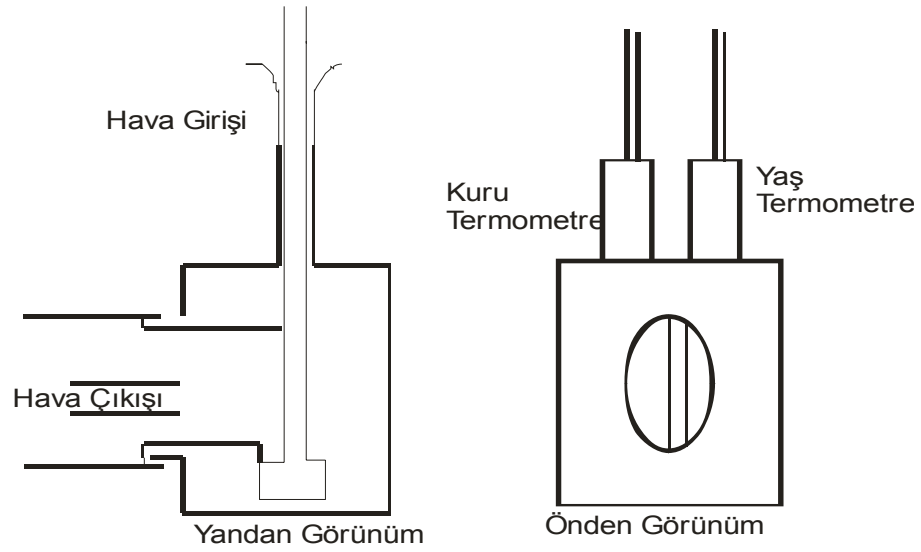
$P_s$  : Doymuş basınç ve  $P_{tot}$  : Çevre basıncı

A: Psychrometer sabiti (Bu sabit geometri ve hava akımının fonksiyonudur)

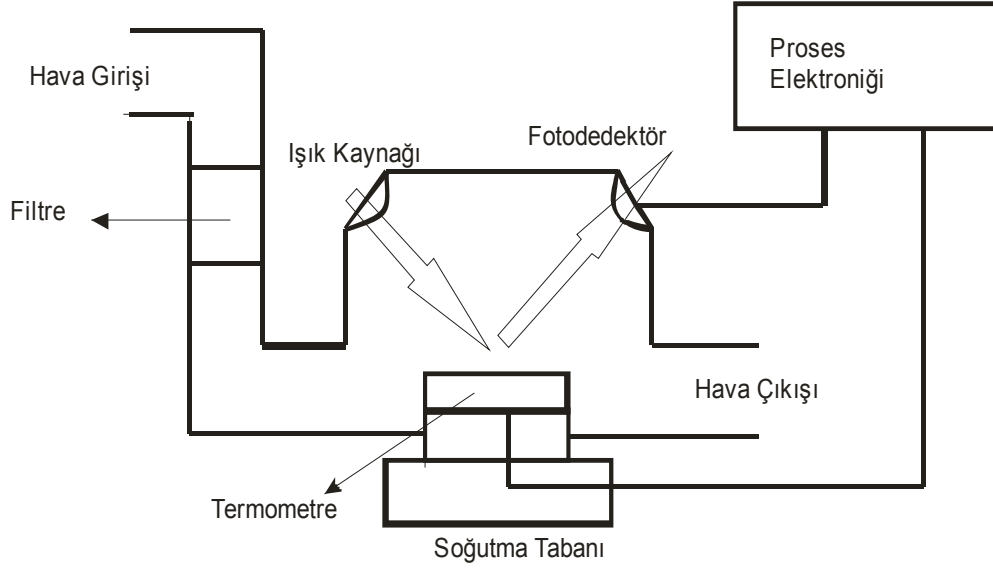
Islak sıcaklık; nemli yüzeyden oluşan buharlaşmaya bağlı olarak soğutma işleminden sonra ulaşılan sıcaklıktır. Buharlaşma için suyun aldığı sıcaklık miktarı havanın kaybetmiş olduğu sıcaklığa eşittir. Buharlaşmaya bağlı soğutma miktarı çevredeki bağıl nemin bir fonksiyonudur. Sonuç olarak psychrometer, kuru ve ıslak sıcaklık ölçümlerini temel alarak bağıl nemin hesaplanmasına olanak sağlar. Psychrometer en önemli avantajı; kalibrasyon gerektirmemesidir. En önemli dezavantajları ise sistemdeki damıtılmış suyun düzenli olarak yenilenmesi zorunluluğu ve yüksek akış hızında hava akımı gerektirmesidir.

## 1.2.2. Çiymleme Noktası Higrometresi

Havadaki su buharı yoğunluğu, çiylenme noktası sıcaklığı ölçümü ile belirlenebilir. Çiylenme noktası sıcaklığı çiylenme noktası higrometresi ile belirlenmektedir. Higrometre termometresi, soğutucu ve detektör den oluşmaktadır. Çiylenme oluşumu ışık kaynağı ve fotodetektör kullanılarak belirlenir (Penman,1955 ; Gole,1970). şekil 1.4. de çiylenme noktası higrometresi şematik olarak gösterilmiştir.



şekil 1.3: Psychrometre nem ölçüm sisteminin şematik görünümü (Rittersma, 2002).



Şekil 1.4. Çiylenme noktası higrometresinin yapısı (Penman, 1955).

Çiylenme noktası higrometresinde, ışık kaynağı aynaya doğrultulur ve yansıyan ışığın yoğunluğu fotodetektör ile ölçülür. Ayna, elektronik bir devre tarafından kontrol edilen bir soğutucu kullanılarak soğutulur. Ayna sıcaklığı çiylenme noktası sıcaklığına vardığında, su ayna yüzeyinde yoğunlaşır ve ışık yoğunluğu fotodetektör kullanılarak belirlenir. O andaki sıcaklık çiylenme noktası sıcaklığını verir. Bu ölçme yöntemi oldukça geniş bir aralığa sahip ve çok doğru bir yöntemdir. Önemli dezavantajları ise pahalı bir kurulumla sahip olması, yüksek enerji tüketimi ve sistem bakımının zor olması, örneğin ayna yüzeyinin düzenli olarak temizlenmesi gerekliliğidir.

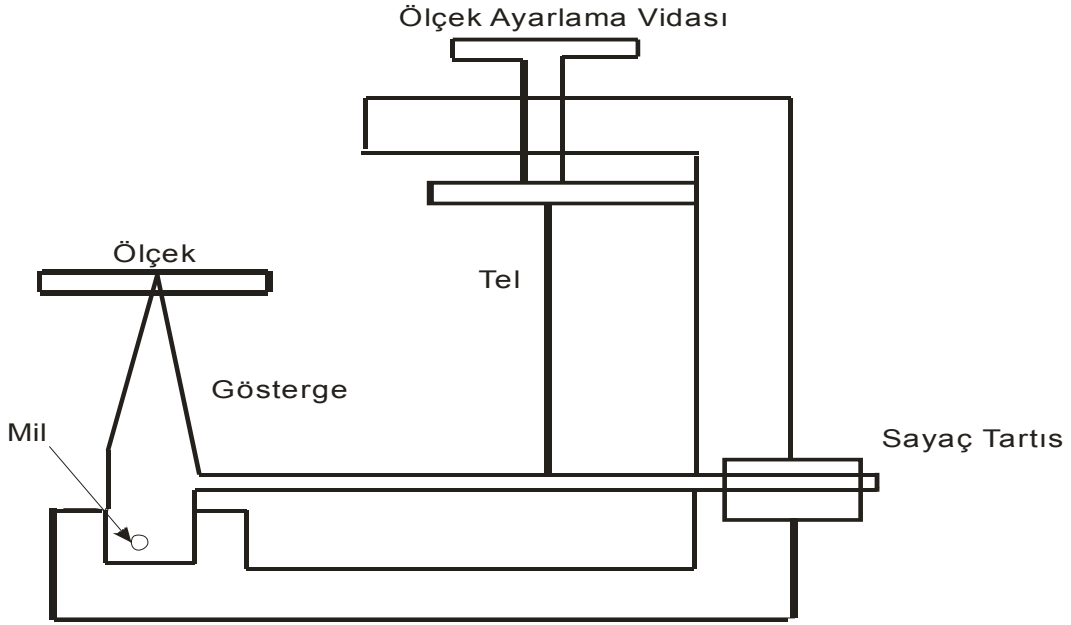
### 1.2.3. Higroskopik Materyallerin Kullanıldığı Higrometre

Nem ölçümünde kullanılan diğer temel yöntem ise higroskopik materyallerin kullanılmasıdır. Farklı higroskopik özellikleri gösteren birçok farklı malzeme vardır (Penman, 1955). Bu tip higrometre mekanik ve elektrik tip olmak üzere iki gruba ayrılır.

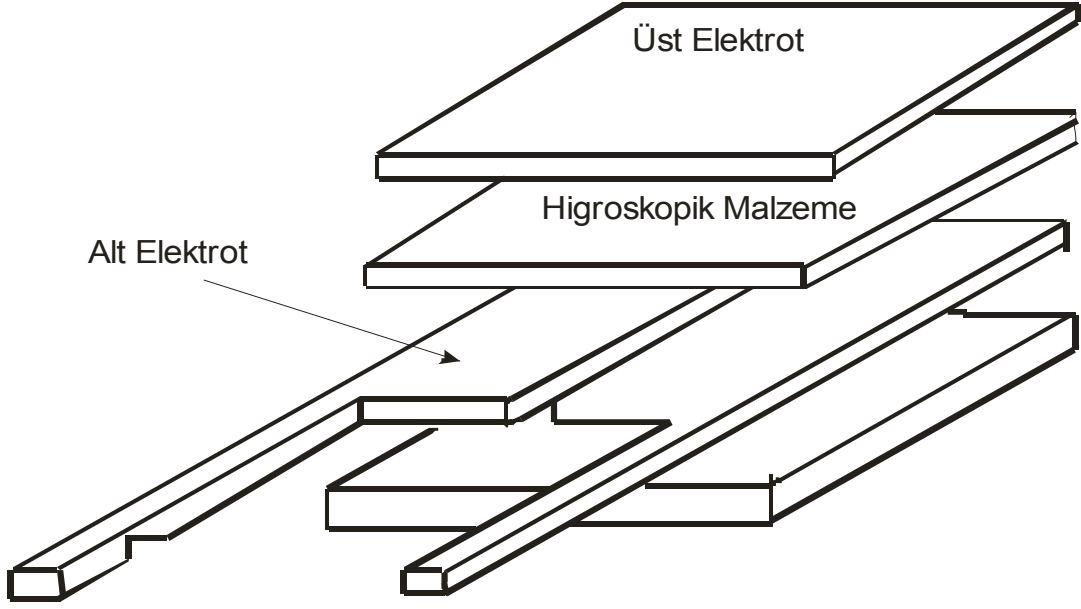
Mekanik higrometrede higroskopik materyallerin fiziksel boyutlarında meydana gelen değişiklikler kullanılır. Bu malzeme insan saçı, kağıt şerit, polimer fiber olabilir. Mekanik higrometre bir teraziye sahiptir, bu teraziye Şekil 1.5'de görüldüğü gibi bir higroskopik malzeme bağlanmıştır. Malzemenin uzunluğu nem etkisi ile

değişir, böylece higrometre terazisi sapma gösterir (nem miktarına bağlı bir değer gösterir). Mekanik higrometre en büyük avantajı; herhangi bir güç kaynağına ihtiyaç duymaması, basit ve ucuz olmasıdır. Ancak hassasiyetin düşük olması ve kullanılan malzemelerdeki malzeme yorulması ise dezavantajını oluşturmaktadır.

Elektrikli higrometre; neme duyarlı olan elektriksel bir ölçüm elamanı içerir. Şekil 1.6'da elektrikli higrometre örneği görülmektedir. Bu bir Kapasitif Higrometre'dir, bu dielektrik sabiti nem değişikliğine duyarlı olan higroskopik malzeme içerir. Higroskopik malzemeler; polimerler, seramikler ve elektrolitik filmlerden oluşabilir. Yüzeiden emilen (absorbe edilen) neme bağlı olarak, bu malzemelerin dielektrik sabitleri artan nem ile artış göstermektedir. Elektriksel higrometre basit ve ucuzdur, ancak kirlenmeye karşı hassas olması gibi dezavantajlara sahiptir.



Şekil 1.5. Higroskopik Higrometrenin Yapısı (Penman, 1955).



Şekil 1.6. Kapasitif higrometre yapısı (Penman, 1955).

### 1.3. Nem Sensörleri

Mikro makine üretim teknolojisindeki gelişmeler çok küçük boyutlu nem sensörlerin gelişmesine olanak sağlamıştır. Nem sensörleri önceki bölümde anlatılan klasik ölçme yöntemleriyle karşılaştırıldıklarında: küçük boyutlu olmaları, düşük maliyet, az enerji tüketimi ve yüksek performans gibi avantajlara sahiptir. Çok çeşitli oldukça küçük boyutlu nem sensörleri dizayn edilmiştir. Bu sensörlerde neme duyarlı değişik malzemeler kullanılmıştır. Nem sensörlerinde kullanılan ölçme yöntemlerinin temel ölçüm yöntemleri: direnç, kapasite, mekaniksel, yerçekimi ve optik olarak sıralanabilir. Yaygın olarak kullanılan bu tekniklere ek olarak elektromanyetik ve termik nem algılama yöntemlerini temel alan farklı metotlarda bulunmaktadır. Aşağıda mikro makine yöntemlerini temel alan nem sensörleri kısaca tanımlanmaktadır.

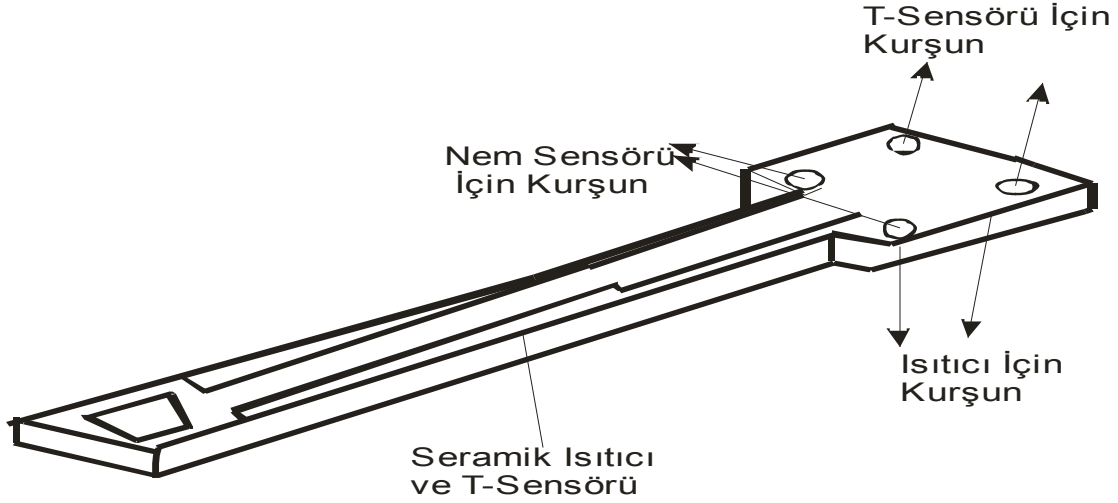
### 1.3.1. Dirençli Nem Sensörleri

Dirençli nem sensörleri nem değişimini direnc değişimine dönüştürür. Seramik, polimer ve elektrolitler kullanılan ana malzeme gruplarıdır. Bu malzemeler nem ölçümünün direnç ölçümü ile yapılmasını sağlarlar.

TiO<sub>2</sub> , LiZnVO<sub>4</sub> , MnWO<sub>4</sub> , C<sub>2</sub>O ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi çok çeşitli seramik nem ölçüm malzemesi olarak araştırılmıştır (Golonka et al.,1997 and Green et al., 2000). Genelde seramikler iyi bir kimyasal dengeye, yüksek mekanik dayanıklılığa ve yüksek sıcaklığa karşı dirence sahiptir. Bununla birlikte lineer olmayan nem-direnç özelliği gösterirler ve standart IC (Integrated Circuit) fabrikasyon teknolojisi ile uyuşmamaktadırlar.

Polimer nem sensörler literatürde bilinen diğer bir direnç nem sensörleridir. Wang et al. ve Feng et al. gibi araştırmacılar PVA (Polivinil alkol), TA ve nafion üzerinde incelemeler yapmıştır. Bu tip nem sensörlerinde ölçüm sonucu ve polimer filmlerin dengesi hidrofilitik, moleküler ve iyonik biçim gibi farklı kimyasal özelliklere bağlıdır ( Wang et al.,1997 ve Feng et al.,1997). Polimerler de lineer olmayan nem-direnç özelliklerine sahiptir.

LiCl çiylenme noktası higrometresi gözenekli polimer ve tuz karışımında yapılmıştır (Sakai et al.,1999). Nem ölçümü, LiCl polimer karışımındaki iletkenlik değişimi kullanılarak yapılır. Cihaz, ısıtıcı ve sıcaklık algılayıcı ile birleştirilmiştir. Nem ölçümü çiylenme noktası sıcaklığı ölçümü ile gerçekleştirilir. Şekil 1.7.'de prototip bir çiylenme noktası higrometresini göstermektedir.



Şekil 1.7. Prototip bir çiylenme noktası higrometresi (Sakai et al.,1999).

Bu sensörün en önemli avantajı seri imalata uygun olmasıdır. Ancak cihazın sürekli işletilmesini gerçekleştirmek için düzenli olarak LiCl çözeltisinin bakımının yapılması gerekmektedir.

### 1.3.2. Higrometrik Nem Sensörleri:

Çok iyi bilinen mekanik tekniklerden biri “piezoresistivit”dir. Piezoresistivite; basit olarak mekanik gerilim değişime karşın malzemedeki direnç değişimi olarak tanımlanır. Nem sensör uygulamalarında bu özelliğin kullanımı için neme bağlı mekanik gerilim elde edilmelidir. Polyimide filmlerin mekanik özelliklerinin nem hassasiyeti (Sager et al., 1996) araştırılmıştır. Bu araştırmaya göre polyimide filmler nem hassasiyeti oldukça geniş bir aralıkta lineerdir. Ancak malzemenin davranışı daha çok polyimide fabrikasyon işlem koşullarına bağlıdır.

### 1.3.3. Lityum Klorid Nem Sensörleri

Lityum Klorid kullanılan elektrikli higrometre Dunmore (1938) tarafından geliştirilmiştir. Şekil1.8, Dunmore tipi bir nem sensörünün çeşitlerini göstermektedir. Dunmore tipi nem sensörünün tipik bir ünitesi Şekil 1.8.a’da verilmiştir. Polistiren reçine ile kaplanmış alüminyum tüp Lityum Klorür ile emprenye edilmiştir. Sensör neme duyarlı kısmen hidrolize edilmiş prolinil asetat



ile kaplanmış ve elektrot olarak da paladyum kablolarıyla sabitlendirilmiştir. Farklı miktarlarda Lityum Klorür ile Dunmore tip sensörünün birkaç ünitesi için direnç-nem karakteristikleri Şekil 1.9'da verilmiştir.

Bu sensörler neme oldukça yavaş ancak iyi kararlılık gösterirler ve tıbbi nem ölçümlerinin yanında radyo ses devrelerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Hassasiyetini ve ömrünü düşürmemek için çok nemli ortamlarda kullanılmamalıdır.

Yoğunlaşma göstergesi Şekil 1.8.c. (Nakaasa,1984) gösterildiği gibi, lityum klorür nem sensörü ve termistör kullanılarak geliştirilmiştir. Bu durumda, gözenekli bir cam levha lityum klorür çözeltisine daldırılır. Termistör, doymuş lityum klorür çözeltisindeki suyun buharlaşma basıncının çevrelenen havaya eşit olduğu durumdaki denge sıcaklığının ölçümünde kullanılır. Denge sıcaklığından, suyun buhar basıncı ve böylece çevrelenen havanın bağıl neminin yanında yoğunlaşma noktası da kolaylıkla bulunabilir. Çizelge 1.1.'de nem sensörlerinin uygulamaları ve Çizelge 1.2.'de ise nem sensörlerinin karakteristikleri verilmiştir.

Çizelge 1.1. Nem Sensörlerinin Uygulamaları (Yamazoe et al.,1986)

Uygulama		Çalışma Sıcaklığı (° C)	Nem Aralığı ( % rh)
Yerel Elektrik Uygulamaları	Klima Sistemi	5-40	40-70
	Kuru Temizleme	80	0-40
	Mikrodalga Fırını	5-100	2-100
	VTR	(-5)-60	60-100
Otomobil	Taşıt Camları	(-20)-80	50-100
Medikal Servis	Tıbbi Aparatlar	10-30	80-100
	İnkübatör	10-30	50-80
Endüstri	Tekstil İmalatı	10-30	50-100
	Seramik Tozu için Kurutucu	5-100	0-50
	Yiyecekler	50-100	0-50
	Elektrikli Alet Üretimi	5-40	0-50
Tarım	Kültür Üretimi	5-40	0-100
Ölçüm	Isı Ölçüm Odası	(-5)-100	0-100
	Radyo Sesi	(-50)-40	0-100
	Higrometre	(-5)-100	0-100

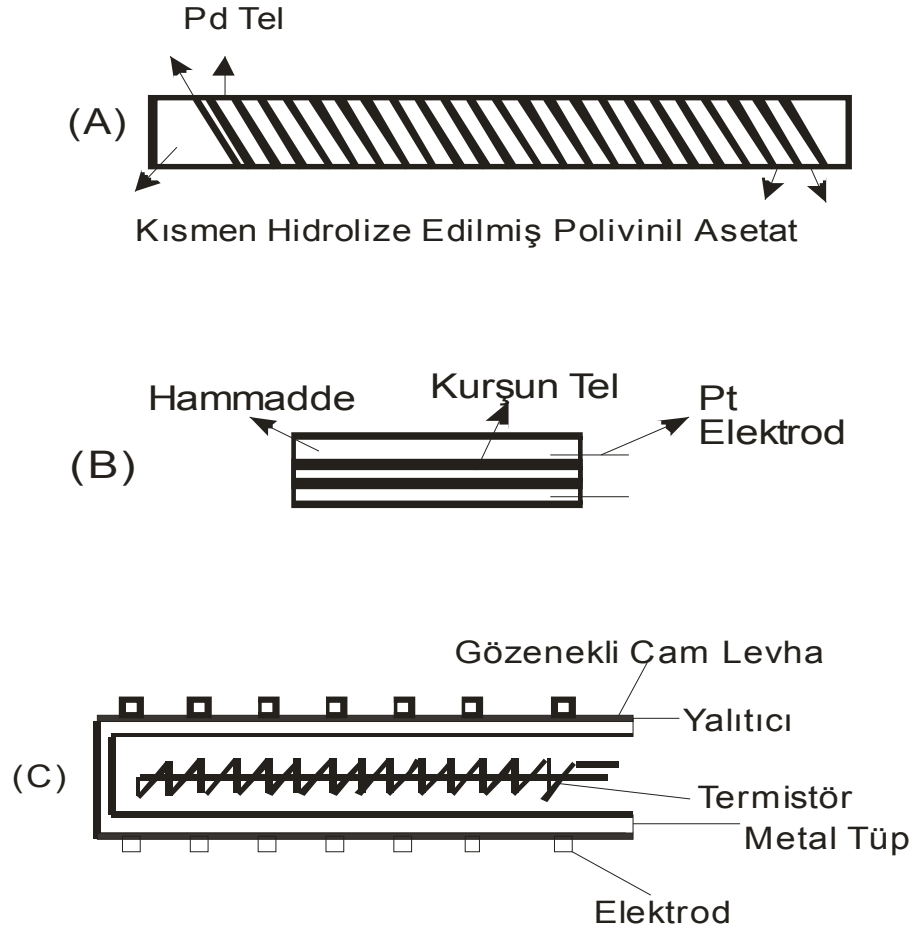
Çizelge 1.2. Nem Sensörlerinin Karakteristikleri (Yamazoe et al.,1986)

Malzemenin Cinsi	Prensibi	Algılama Elemanı	Çalışma Aralığı		Cevap Süresi
			Sıcaklık (°C)	%rh	
Elektrolit	Empendans	LtCl+Polivinil Asetat	(-40)-60	10-99	2-5 min
		LiCl+Önemli Kısım	(-20)-60	10-99	5-6 min
		LiCl+Cam Fiber Şerit	(-30)-50	15-99	3-10 min
Organik Polimer	Empendans (İyonik)	(1)	0-40	0-100	2 min
		(2)	(-20)-80	0-100	5 sn
	Empendans (Elektronik)	(3)	(-10)-60	94-100	10 sn
		Kapasitans	Selüloz Asetat	(-40)-115	0-100
	Polimid		25	0-100	1 min
	Selüloz Asetat Bütrat		0-50	0-100	30 sn
Gözenekli Seramikler	Empendans (İyonik)	MgCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -TiO <sub>2</sub>	0-150	1-100	10 sn
		TiO <sub>2</sub> -V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0-150	15-100	10 sn
		ZnCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -Li ZnVO <sub>4</sub>	0-150	30-90	3 min
	Empendans (Elektronik)	Sr <sub>1-x</sub> La <sub>x</sub> SnO <sub>3</sub>	300-500	1-10 ppm	2 min
		ZrO <sub>2</sub> -MgO	400-700	10-10 ppm	10 sn
	Kapasitans	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(-10)-40	1-100	10 sn
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -MnO <sub>2</sub>		(-10)-55	1-100	1 min	

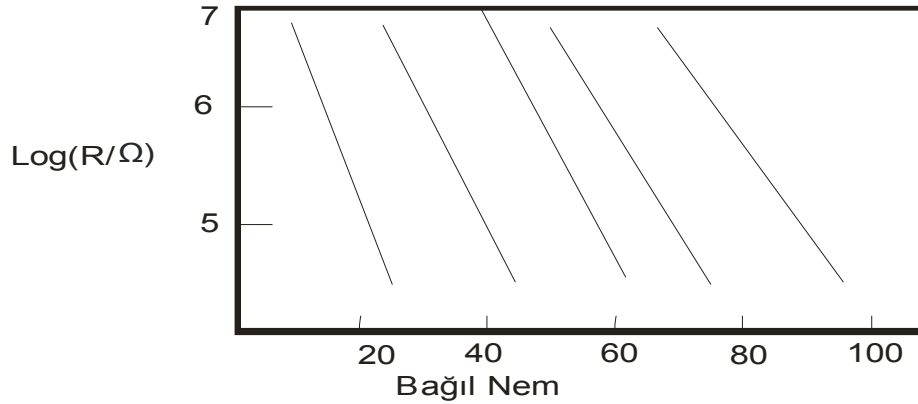
(1) : 2-Hidroksi- 3- Metakril-Oksipropil trimetil amonyum klorid+Metakrilik ester

(2) : Polistiren sulfonat+vinil polimer+N,N'-metilen-bis-akrilamid

(3) : Çapraz bağlantılı hidrofilik akrilik polimer+ karbon parçacıkları



Şekil 1.8. Lityum Klorür nem sensörlerinin çeşitli şekilleri (Dunmore, 1938; Nakaasa, 1984)



Şekil 1.9. Farklı miktarlarda Lityum Klorür ile Dunmore tip sensörünün birkaç ünitesi için direnç-nem karakteristikleri (Dunmore, 1938)

#### **1.3.4. Polimer Film Nem Sensörleri**

Polimer film nem sensörleri pratik uygulamalarda seramik sensörlerle karşılaştırıldığında kullanımı yaygın olmamasına karşın, bu sensörlerin kullanım potansiyeli özellikle katı hal güç çevirme teknolojisi alanında artmaktadır. Polimer filmler küçük ve düşük maliyetli sensörü üretmek için IC işleme teknikleri standardına oldukça uygundur. Bu kategorideki sensörler empedans, kapasitans ve bunun yanında iyonik ve elektronik iletim çeşitleri ile biçimlendirilen empedans tipine dahil edilebilirler.

#### **1.3.5. Gözenekli Seramik Nem Sensörü :**

Mekaniksel güç, sıcaklık ve kimyasal etkilere karşı dirençlerinden dolayı, seramik maddeler sensörler için en uygunu olarak gözükmektedir (Khanna ve Nahar, 1984). Şimdiye kadar gözenekli seramik elementleri kullanan nem sensörleri için bir çok araştırma yapılmıştır (Matsuura ve Matsuoka, 1976). Bu sensörler nem tespiti için ya ortamın empendansını (Arai et al.,1983) yada kapasitesini ( Suziki et al., 1983) kullanırlar. Empedans tip iyonik (Shimizu, 1982) ve elektronik (Taguchi et al., 1980) tiplerinden meydana gelir.

#### **1.3.6. İyonik Tip Nem Sensörü**

Su moleküllerinin oksit yüzeyleri üzerinde kimyasal ve fiziksel tutunmaya uğradığı bilinmektedir. Etkili bir işlem olan kimyasal tutunma hidroksil yüzeyini oluşturmak için su moleküllerinin ayrışmasına neden olur. Bunu izleyen aşamada fiziksel tutunma bunun üzerine gelişir. İlk fiziksel tutunma katmanındaki su molekülleri iki hidroksil yüzeyini bağlamak için iki kat hidrojen ile bağlanır ve serbestçe hareket edemez. Ancak ikinci ve devam eden katmanlardaki su molekülleri alt katmanlar için tek bir hidrojen ile bağlanmıştır ve protonlarını Grotthuss tip taşınma için önemli olan daha serbest harekete sahiptir. Fiziksel olarak tutunan suyun yapısını fiziksel tutunma süreci olarak tek katman için sıralı buz gibi bir yapıdan çok katmanlar için sıvı bir yapıya doğru değiştiği akla gelmektedir (Yamazoe ve Shimizu, 1986).

### 1.3.7. Elektronik Tip Nem Sensörleri

Su moleküllerinin yarı iletken oksitler üzerinde gaz oluşturan bir elektron gibi davrandığı bilinmektedir. Aslında gazların azaltılmasının tespitinde yaygınca kullanılan yarı iletken gaz sensörleri belirli şartlar altında su buharının etkilerinden zarar gördüğü bilinmektedir (Advam ve Narus, 1981).

Yüksek sıcaklık ortamlarındaki çalışmalar için  $Sr_{1-x}La_xSnO_3$  ve  $ZrO_2 - MgO$  kullanılan yarı iletken nem sensörleri önerilmektedir (Nitta et al., 1983). Bu sensörlerde elemanın elektronik direncinin logaritması doğrusal olarak su buharı yoğunluğunun logaritması ile ilişkilidir (Arai et al., 1983). Yüzey alanı ve ortalama parçacık boyutu gibi faktörlerin algılama karakteristikleri üzerine etkileri iyonik tip nem sensörlerindeki kadar az bilinmektedir (Shimizu et al., 1985). Elektronik tip sensörler doğru akım (DC) voltajı ile çalıştırılabilir. Etanol haricindeki gazların sensör üzerine etkileri gazları azaltmak için müdahaleler  $Sr_{1-x}La_xSnO_3$  için önemsenmeyecek derecede küçüktür. Etanolün etkileri  $Pt / Al_2O_3$  katalizörlü kaplamalar ile önenebilir (Shimizu et al., 1984).

### 1.3.8. Proton Tipi Seramik Nem Sensörleri

Japonya'da bir çok araştırmacı aktif olarak seramik sensörleri incelemiş ve birkaç şirket dayanıklı, hassas ve güvenilir seramik nem sensörlerinin geliştirilmesi için çaba sarf etmişlerdir (Nitta et al., 1980; Arai et al., 1983). Nitta tarafından geliştirilmiş sensör maddesi (Matsvishita Elektrik Endüstrisi A.Ş.) gözenekli  $MgCr_2O_4 - T_1O_2$  'den yapılmıştır. Sudo (Chichibu Çimento A.Ş.)  $T_1O_2 - V_2O_5$  gözenekli seramiklerin nem sensörünü geliştirmiştir (Sudo, 1980). Yokomizo (Toshiba A.Ş.) yeni bir nem sensörünü önermiştir (Yuki ve Yokomuo, 1981). Bu araştırmacı sensör maddesi çinko, krom, vanadyum ve lityum içeren kompleks metal oksidin bileşimi önermiştir. Bu sensörlerin düzeneği su tutulmasından dolayı protonik iletim olarak düşünülmüştür.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde bu tezi gerçekleştirmek amacıyla kullanılan materyaller ve metot tanımlanmıştır.

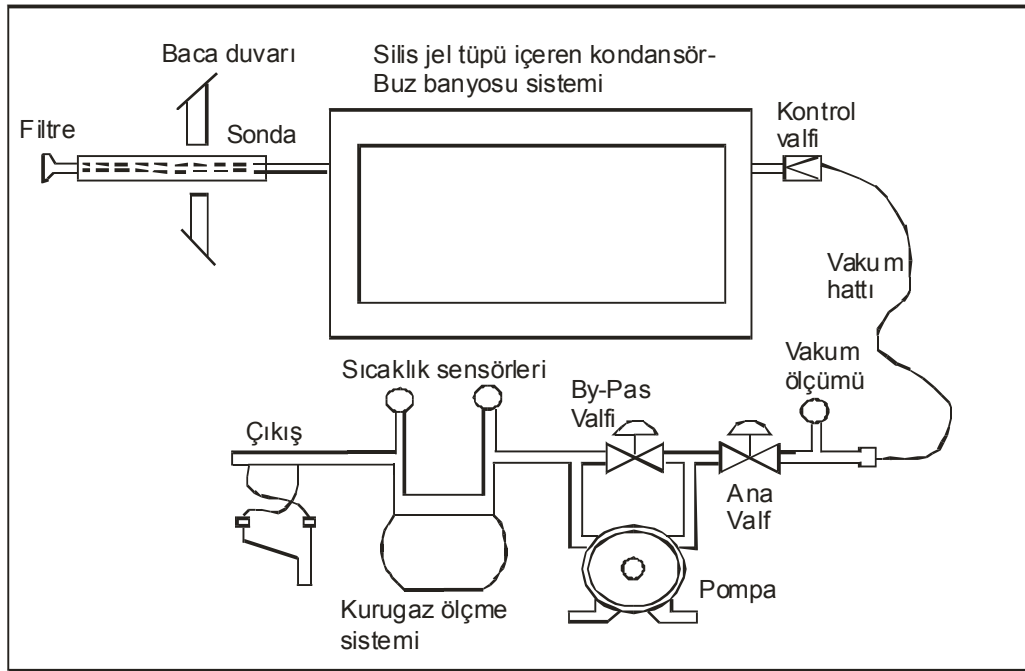
### 2.1. EPA Metot-4 (Gravimetrik Yöntem)

Bu yöntem (EPA Metot 4) baca gazındaki nem içeriğinin belirlenmesinde uygulanabilen referans bir yöntemdir. EPA Metot 4'ün orijinal hali Ek-1'de verilmiştir. Bu yöntem uygulanırken EPA Metot 1'de belirtilen kriterler dikkate alınarak ölçüm noktaları belirlenir (Danielson, 1973).

EPA Metot 1 ölçüm noktalarının (traverse point) belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Ölçüm noktalarının yerlerine verilen tablolara bakılarak karar verilir. Tablolarda gerçekleştirilecek ölçümde kaç noktadan ölçüm alınacak ise ona göre yüzdesel değerler verilmiştir. Bu yüzdesel değerlerle baca çapı çarpılarak ölçüm noktalarının yerleri belirlenir (Örneğin 4 noktadan yapılacak ise % 90, % 80, % 20 ve % 10, eğer baca çapı 2 m ise 1,8 m, 1,6 m, 0,4 m ve 0,2 m'de ölçümler yapılır). Ölçüm yapılacak nokta sayısı ise EPA Metot-4'de tanımlanmıştır. EPA Metot-4'e göre baca çapı 0,61 m'den küçük dairesel bacalarda minimum 8 noktadan ölçüm alınmalıdır. Eşdeğer çapı 0,61 m'den küçük dikdörtgen bacalarda ise ölçüm sayısı minimum 9 noktadan ölçüm yapılmalıdır. Baca çapı veya eşdeğer baca çapı 0,61 m'den büyük bacalarda ise minimum 12 noktadan ölçüm yapılmalıdır. Ölçümler sırasında uygun uzunlukta bir prob seçilir. Büyük bacalarda eğer prob uzunluğu yeterince uzun değil ise bacada açılacak ölçüm delikleri paralel iki noktadan açılır. Böylece probun uzanamadığı yerlere diğer delikten ulaşılır. Ölçüm nokta sayısı ve ölçüm yerlerinin belirlenmesi sonrasında proba ölçüm yerleri ısıya dayanıklı bantlarla ölçüm noktalarının uzunlukları işaretlenir.

Bu yöntem (EPA Metot-4) emisyon verilerinin hesaplanmasında gerekli olan nem içeriğinin doğru olarak belirlenmesinde kullanılır (Devorkin et al., 1963). Bu yöntemde Şekil 2.1'de verilen örnekleme zinciri kullanılır. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken en önemli konu örnekleme zincirinde kullanılan hortumda ve bağlantı ekipmanlarında yoğuşmanın olmamasıdır. Dikkat edilmesi gereken ikinci

konu ise nemli bacagazının içerisindeki partikül maddenin alınmasıdır. Bu nedenle partikül maddenin tutulması için filtre kartuşu kullanılır. Ancak partikül madde alınırken yoğuşmanın engellenmesi gerekmektedir. Bu nedenle filtre kartuşu bacanın içerisinde olacak şekilde dizayn edilmelidir. Eğer bu yapılamıyor ise ya filtre kartuşu ısıtılmalı ya da ısıtmalı proba çok yakın bir noktaya konulmalıdır. Isıtmalı prob 120 °C'ye veya daha fazla bir sıcaklığa ısıtılacak şekilde dizayn edilmelidir. Bu sayede nemin probta ve filtre kartuşunda yoğuşması engellenmiş olur. Isıtmalı probtan gelen sıcak ve nemli gaz buz banyosunun olduğu kondansatörde yıkama şişelerine ve silika jel içerisine nemini bırakacaktır. Çünkü sıcak gaz bir anda soğuk ortamla karşılaştığında yoğuşma meydana gelecektir. Ölçümden önce tartılan silika jel ve yıkama şişesi ölçümden sonra tartılarak nem miktarı belirlenecektir (EPA, 2000).



Şekil 2.1. EPA Metot 4 Nem Örnekleme Zinciri

## 2.2. Ölçüm Sisteminin Tasarım Ve Bileşenleri

Bu tezde baca gazındaki nem miktarının tespiti için geliştirilen sistemde EPA Metot 4'de belirtilen nem ölçüm sistemi temel olarak alınmıştır. Bu yöntemde sıcak baca gazında su buharının yoğuşturularak alınması için buz kabı yerine soğutma

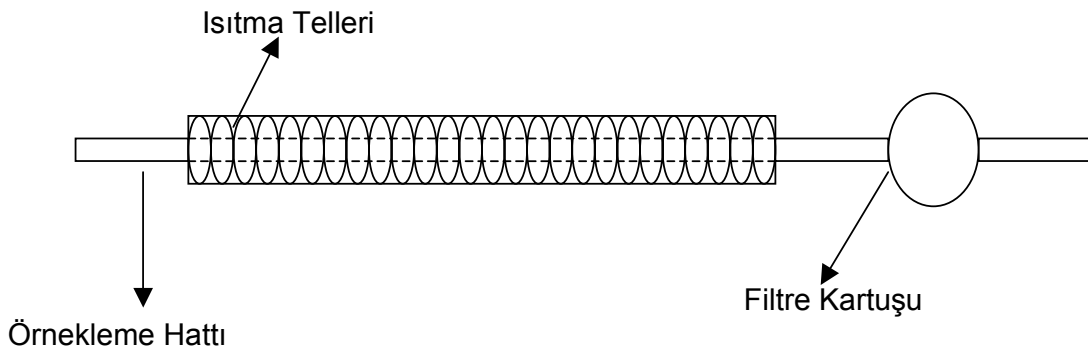


sistemi kullanılmış ve elle çalıştırılan ölçüm otomatik dolayısıyla sürekli hale getirilmiştir. Geliştirilen baca gazı nem ölçüm sistemi aşağıda verilen ana bölümlerden oluşmaktadır:

- Isıtmalı prob ve toz tutma birimi,
- Soğutma (yoğuşturma) sistemi,
- Otomatik seviye ölçüm sistemi,
- Debi kontrollü pompa
- Sistem kontrol birimi

### 2.2.1. Isıtmalı Prob ve Toz Tutma Birimi

Sistemin bu birimi bacagazından gaz akışını ve gaz içindeki partiküllerin tutularak nem ölçüm sonuçlarını etkilememesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yaptırılan ısıtmalı prob ve toz tutma biriminin şematik görünümü ve fotoğrafı Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.'de verilmiştir. Isıtmalı prob ve filtre kartuşu paslanmaz çelik malzemedir Konya'da özel bir firmaya yaptırılmıştır. Isıtmalı prob ve toz tutma ünitesi toplam 1,7 m'dir. Bacadan sisteme alınan gazın prob içinde sıcaklığının düşerek yoğuşmasını önlemek amacıyla rezistans ile ısıtılması sağlanmıştır. Proben son bölümünde ise partiküllerin tutulmasını sağlayan filtre kartuşu bulunmaktadır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Isıtma Proben kesit görünümü



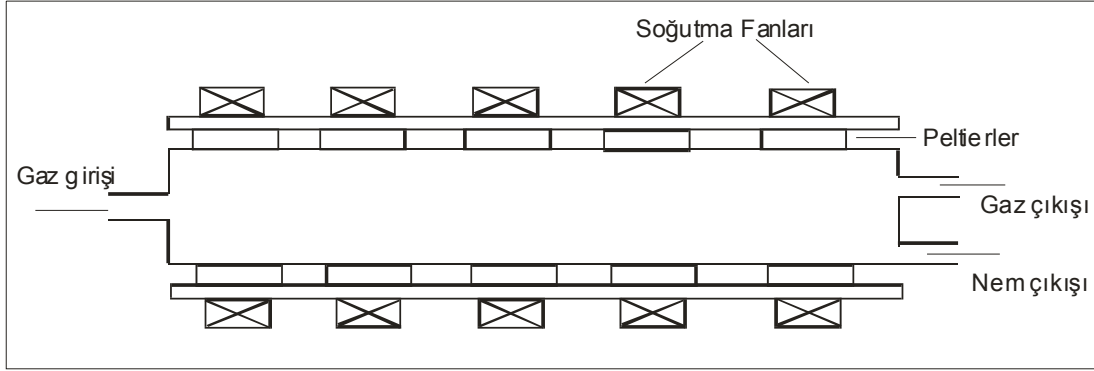
Şekil 2.3. Isıtmalı prob ve filtre kartuşunun fotoğrafı

### 2.2.2. Soğutma (Yoğuşturma) Sistemi

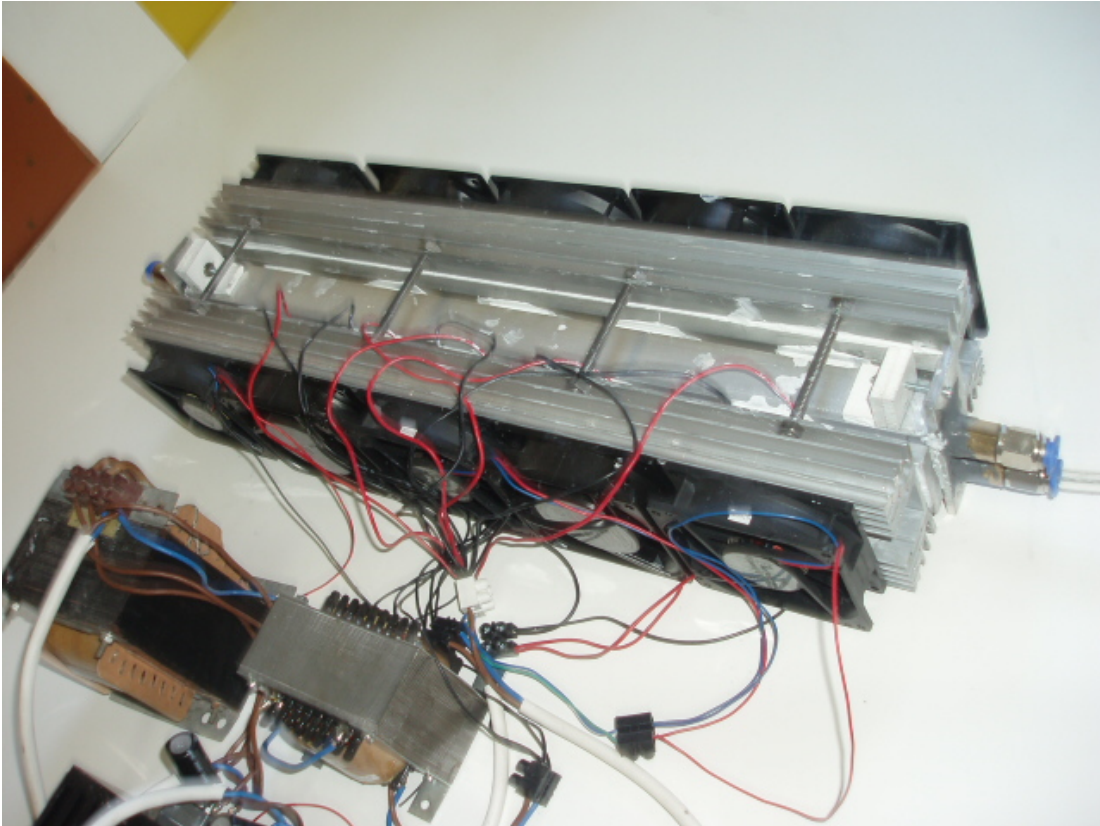
Tez kapsamında geliştirilen otomatik baca gazı nem ölçüm sisteminin en önemli kısmı sıcak baca gazındaki su buharının alınması ve tespitinin gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılan yoğuşturma birimidir. Bu amaçla iki değişik alternatif üzerinde denemeler yapılmıştır.

Baca gazından su buharının yoğuşturulması için kullanılan ilk yöntem henüz dünyada yeni kullanılmaya başlayan Peltier soğutma sistemidir. Peltier ismi verilen elektronik devre elemanları bir dizi özel diyot sisteminden oluşmaktadır. Peltier enerjilendirildiğinde bir tarafının sıcaklığı düşerken diğer tarafı ise ısınmaktadır. Peltierin soğuk yüzünün sabit sıcaklıkta kalmasını temin etmek için ısınan yüzünün sıcaklığının düşürülmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için fanlar kullanılmıştır. Gerçekleştirilen Peltier soğutma sisteminin kesit görünümü ve fotoğrafı Şekil 2.4.'de verilmiştir. Sıcak baca gazının soğutulmasıyla su buharının alınmasını sağlamak için alüminyum bir boru üzerine dizi halinde yerleştirilmiş peltierlerden yararlanılmıştır. Gerçekleştirilen bu soğutma sistemi sıcak baca gazı verilmeden çalıştırıldığında gazın geçeceği alüminyum borunun iç sıcaklığının 5 C'ye düştüğü

tespit edilmiştir. Ancak bu soğutma sisteminde nem kaçakları çok olduğu için baca gazından nem tutulması amacıyla kullanılamamıştır. Gaz geçişinin sağlandığı alüminyum borunun uzunluğu 50 cm olarak alınması ve bunun kısa kalması sonucu bu duruma neden olabileceği düşünülmektedir.



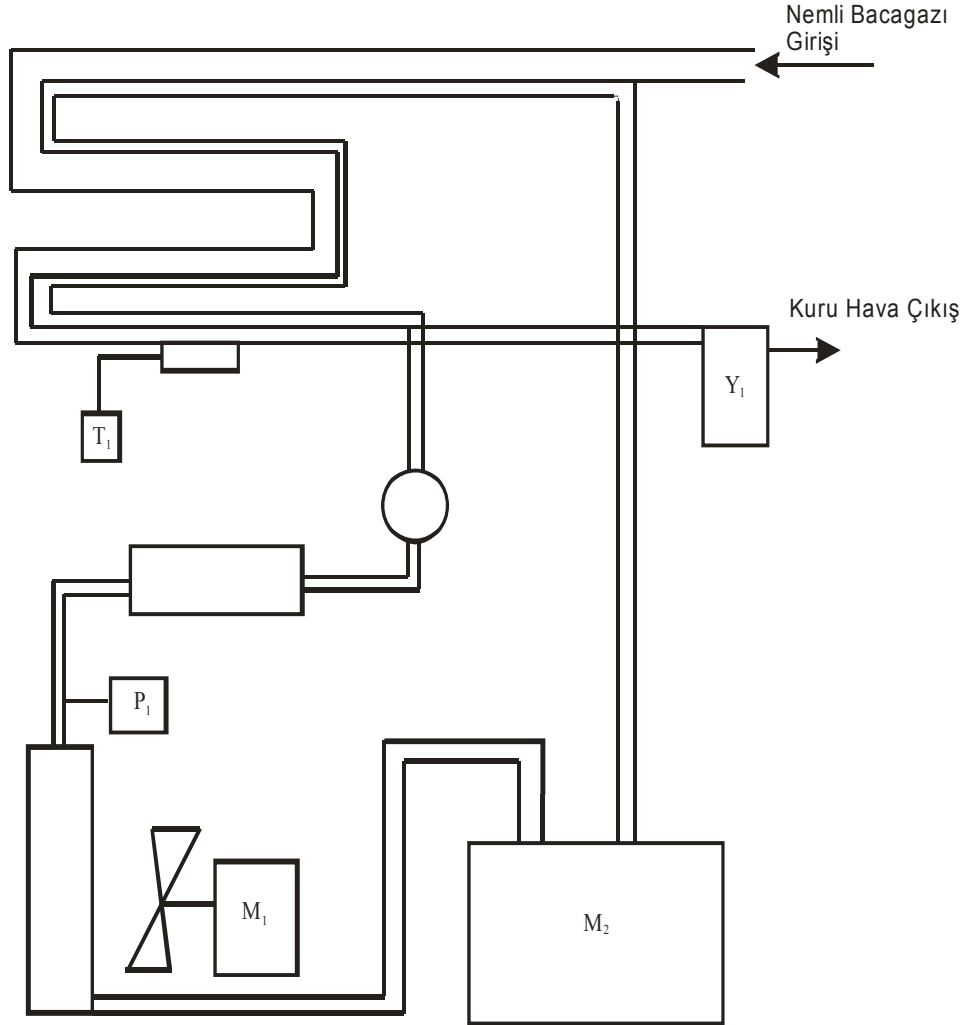
(A)



(B)

Şekil 2.4. Peltier ile gerçekleştirilen soğutma sistemin kesit görünümü (A) ve fotoğrafı (B)

Baca gazından subuharının yoğunlaştırılarak alınmasını sağlamak amacıyla ikinci yöntem olarak klasik soğutma sistemi kullanılmıştır. Kullanılan klasik gaz akışkanlı soğutma sisteminin kesit görünümü Şekil 2.5'de, fotoğrafı ise Şekil 2.6'de verilmiştir. Soğutma sisteminin işleyişi ise Şekil 2.7'da açıklanmıştır. Klasik soğutma sistemi Ankara'da bulunan özel bir firmadan alınmıştır. Klasik soğutma sisteminin boyutları 40m\*36m\*52m'dir.



Şekil 2.5. Klasik soğutma sisteminin kesit görünümü

T: Çiylenme Kontrol Termostadı

P: Yüksek Basınç Fan Kontrolü

M1: Fan Motoru

M2 : Soğutma Kompresörü

Y: Yoğuşurma Kabı

Nemli bacagazı ısıtmalı prob ve toz tutma ünitesinden geçtikten sonra soğutma ünitesine gelir. Soğutma ünitesine gelen gaz 6 m'lik helezon şeklinde sarılmış bakır borudan geçer. Bu bakır borunun etrafında başka bir boru da dolanmaktadır. Bu borunun içerisinde soğutma kompresörü ve fanlar tarafından soğutulmuş freon ( R-22) gazı vardır. Freon gazı bakır borunun içerisinde geçen nemli bacagazını soğutmaktadır. Soğuyan nemli bacagazı yoğuşma kabına gider ve burada içerisindeki nemi bırakır. Nemini bırakan bacagazı ise slika jel kutusuna doğru gider. Nemli gazı soğutan freon gazı ise fan ve soğutma kompresörü sayesinde soğutulmuş olarak tekrar sisteme verilir.



Şekil 2.6. Klasik soğutma sisteminin fotoğrafı

Çevre sıcaklığı  $T_0$  olduğunda, soğutulan ortam  $T_L$  sıcaklığındadır. Gaz 1-2 hal değişimi sırasında sıkıştırılır. Kompresörden çıktığında (2 hali), basıncı ve sıcaklığı yüksek olan gaz, daha sonra sabit basınçta çevreye ısı vererek  $T_0$  sıcaklığına soğur. Bu işlemi, türbinde genişleme izler ve genişleme sonunda gazın sıcaklığı  $T_4$ 'e düşer. Son olarak gaz, soğutulan ortamdaki ısı çekerek  $T_1$  sıcaklığına yükselir.

Yukarıda belirtilen hal değişimlerinin tümü içten tersinirdir, bu nedenle çevirim ideal gaz akışkanlı soğutma çevrimi diye bilinir. Gerçek gaz akışkanlı soğutma

çevirimlerinde sonlu büyüklükte bir ısı değiştiricisi için  $T_3$  sıcaklığı,  $T_0$  sıcaklığından yüksek olur.

şekil 2.8.'deki T-s diyagramında 4-1 eğrisi altında kalan alan, soğutulan ortamdan çekilen ısıyı göstermektedir. 1-2-3-4-1 hallerinin çevrelediği alan ise çevrime giren net işi simgeler. Bu alanların birbirine oranı, çevrimin etkinlik katsayısıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$COP_{SM} = q_L/w_{net,g} = q_L/(w_{k,g} - w_t) \quad (2.1)$$

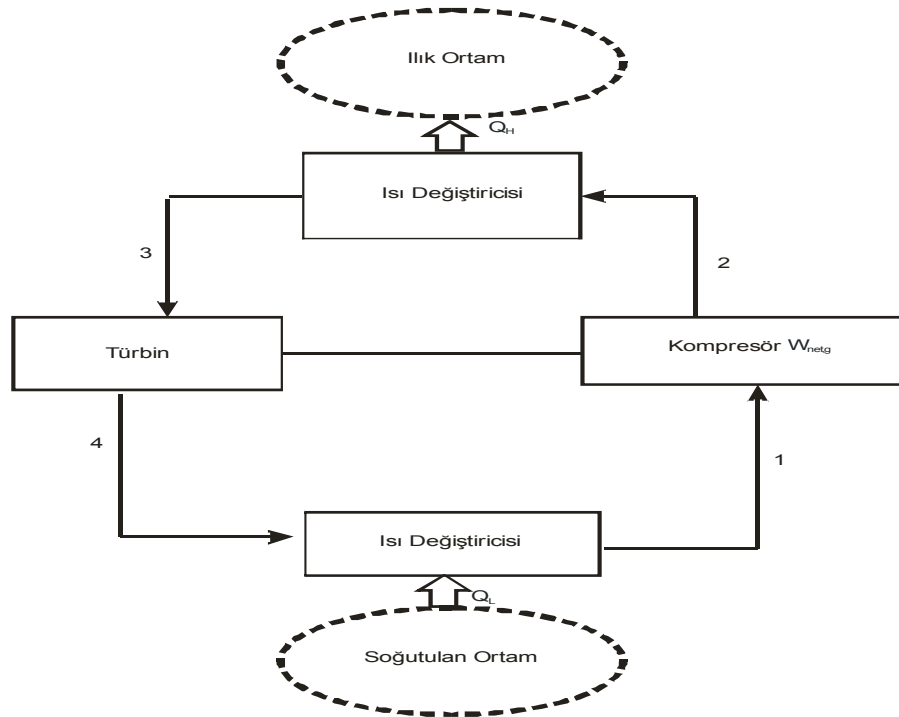
Burada,

$$q_L = h_1 - h_4 \quad (2.2)$$

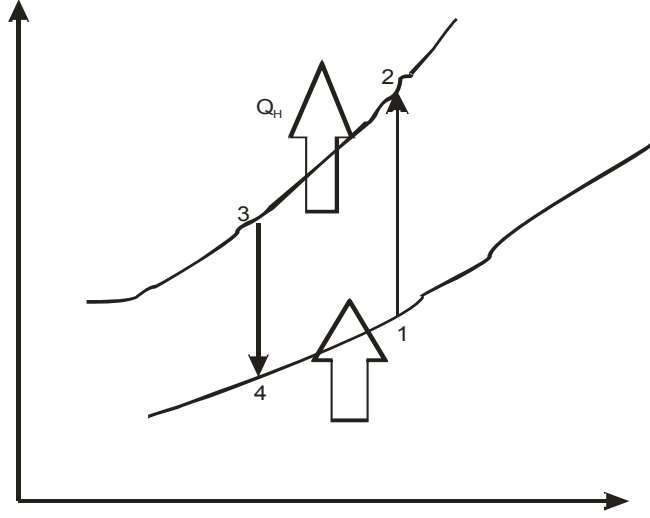
$$w_t = h_3 - h_4 \quad (2.3)$$

$$w_{k,g} = h_2 - h_1 \quad (2.4)$$

olmaktadır.



şekil 2.7. Klasik soğutma sistemin prensibini gösteren şema (Çengel and Boles, 1996)

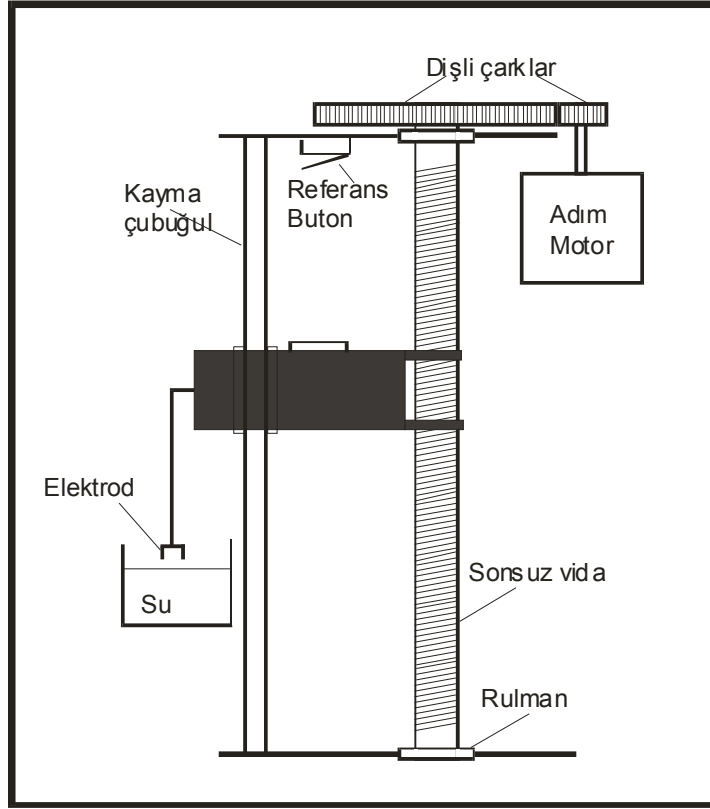


Şekil 2.8. Basit gaz akışkanlı soğutma çevrimleri

### 2.2.3. Otomatik Seviye Ölçüm Sistemi

Sistemde soğutma biriminde yoğunlaştırılarak elde edilen baca gazı içindeki su buharının miktarının tespit edilmesi amacıyla kullanılan elektro-mekanik sistemle çalışan ve mikron hassasiyetinde ölçümler yapabilen su seviye ölçüm sistemi kullanılmıştır (Onacak, 2006). Sistemde su yüzeyini algılayan elektrodların dikey yöndeki hareketi basit bir adım motor ile sağlanmıştır. Sistemi kontrol eden karttaki mikrodenetleyici tarafından step motorun adım sayısı belirlenebilmektedir. Adım sayısından alınan mesafe mikrodenetleyici tarafından hesaplanmakta ve su yüksekliği veya derinliği tespit edilmektedir.

Sistemin en önemli parçası sıvı yüzeyini tespit eden elektrodların dikey yönde hareketini sağlayan step motordur. Seviye ölçüm sisteminin temel prensibi bir referans noktasından elektrodların su yüzeyine temas ettiği ana kadar motorun gerçekleştirdiği adım sayısının tespit edilmesidir. Bu nedenle mikron seviyesinde ölçüm yapılabilmesi amacıyla en fazla adım sayısında, elektrodları taşıyan kolun minimum hareket etmesinin sağlanması gerekmektedir. Bunun için step motor ile taşıyıcı kol çapı ve diş sayısı birbirinden farklı 2 adet dişli çark ile bağlantısı sağlanmıştır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Su Seviye Ölçüm Sisteminin Kesit Görünümü

Geliştirilen elektromekanik su seviye tespit sisteminde ölçüm işlemine başlanıldığında mikrokontroller elektrotların bağlı olduğu kolu, adım motor yardımıyla yukarı doğru hareket ettirerek referans butonuna kadar ulaşmasını sağlar. Referans butonundan mikrodenetleyiciye gelen sinyal ile motorun hareketi durdurulur. Sayım değişkeni sıfırlanarak motorun ters yönde hareket etmesi sağlanır ve her adımda sayım değişkeni bir artırılır. Sıvı seviye elektrotlarının su yüzeyine temasına kadar bu işleme devam edilir. Elektrotların suya teması sonucu bağlı olduğu devreden mikrokontrollere gelen sinyal ile işlem durdurulur ve toplam adım sayısı tespit edilir.

Mikrodenetleyici hafızasına yüklenmiş olan "k" sabiti ile (sistemin bir adımda katettiği yol) toplam adım sayısını çarparak referans noktasına göre su derinliğini veya yüksekliğini hesaplar (Onacak,2006).



#### **2.2.4. Debi Kontrollü Pompa**

Otomatik baca gazı nem miktarının tespiti amacıyla gerçekleştirilen sistemde bacadan sisteme gaz akışını temin etmek için sabit debide gaz akışını sağlayan bir örnekleme pompası kullanılmıştır. Bu amaçla SKC firmasının MCS Flite model hava örnekleme pompasından yararlanılmıştır.

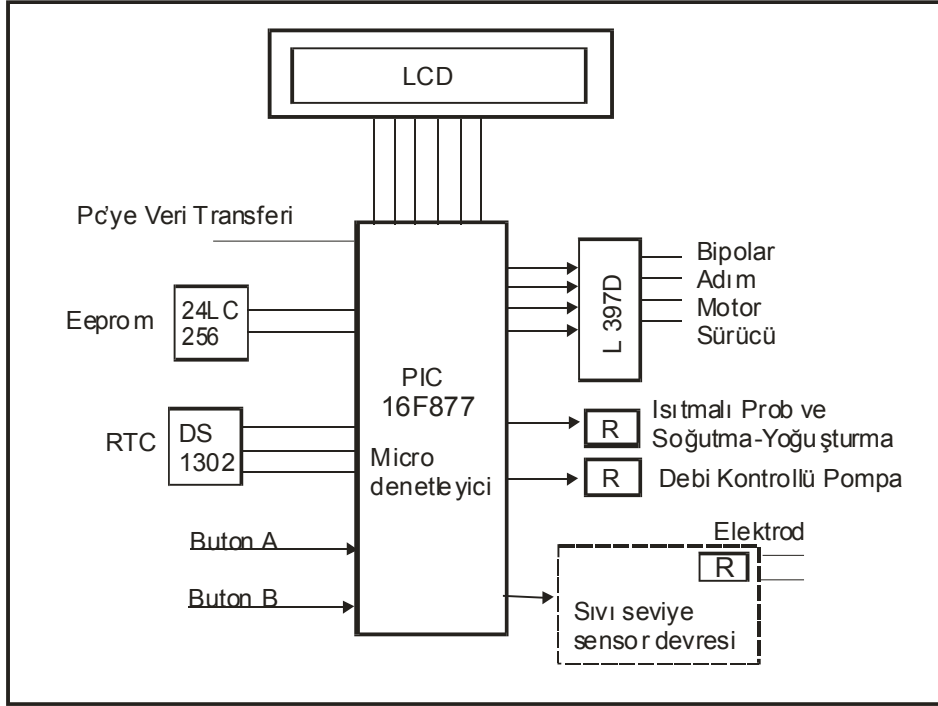
#### **2.2.5. Sistem Kontrol Birimi**

Baca gazındaki nem miktarının otomatik olarak belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen sistemin tüm kontrol, verilerin elde edilmesi ve iletilmesi kontrol birimi ile sağlanmaktadır. Kontrol biriminde yukarıda değinilen tüm işlemlerin otomatik olarak yapılmasını temin etmek için MicroChip firmasının üretimi olan PIC (Peripheral Interface Controller) serisi 16F877 mikrodenetleyicisinden yararlanılmıştır. Sistem kontrol biriminin şematik gösterimi Şekil 2.10.'da verilmiştir.

Sistemde ölçüm zamanlarının mikro denetleyici tarafından belirlenebilmesi için bir saat entegresi yerleştirilmiştir. Bu amaçla Dallas Semiconductor firmasının ürettiği DS1302 RTC (Real Time Clock) si kullanılmıştır. Ölçüm sonucunda elde edilen verilerin depolanabilmesi amacıyla elektronik kontrol kartına, yine MicroChip firmasının ürettiği 24LC256 harici EEPROM'u konulmuştur.

Seviye ölçüm birimindeki adım motoru sürmek, soğutma sistemini ve ısıtılmalı prob üzerindeki rezistansları devreye almak amacıyla Allegro firmasının ürettiği UDN2983 kaynak sürücü kullanılmıştır.

Seviye ölçüm biriminin ana mantığını oluşturan sensor devresi <http://www.uoquelp.ca/antton/circ/sensor3.htm> adresinden alınmıştır. Bu seviye sensor devresinin tercih edilmesinin temel nedeni problemler üzerinde korozyona neden olmaması, ayrıca su içinde çok az çözünmüş iyon bulunması halinde bile mükemmel çalışabilmesidir. Elektrodların ölçülecek su seviyesine temas etmesi ile devreye bağlı röle yardımıyla, röle bağlantısı üzerinde bulunan +5V, mikrodenetleyicinin pinine gönderilir. Bu sayede pinin mantıksal değeri 1 olur ve mikrodenetleyici elektrodların su yüzeyine temasını algılayabilmektedir.



Şekil 2.10. Ölçüm sistemi kontrol biriminin şematik gösterimi

### 2.2.6. Baca Gazı Nem Ölçüm Sisteminin Çalışması

Tez kapsamında gerçekleştirilen bacagazı nem ölçüm sisteminin şematik görünümü Şekil 2.11.'de, fotoğrafı ise Şekil 2.12.'de verilmiştir.

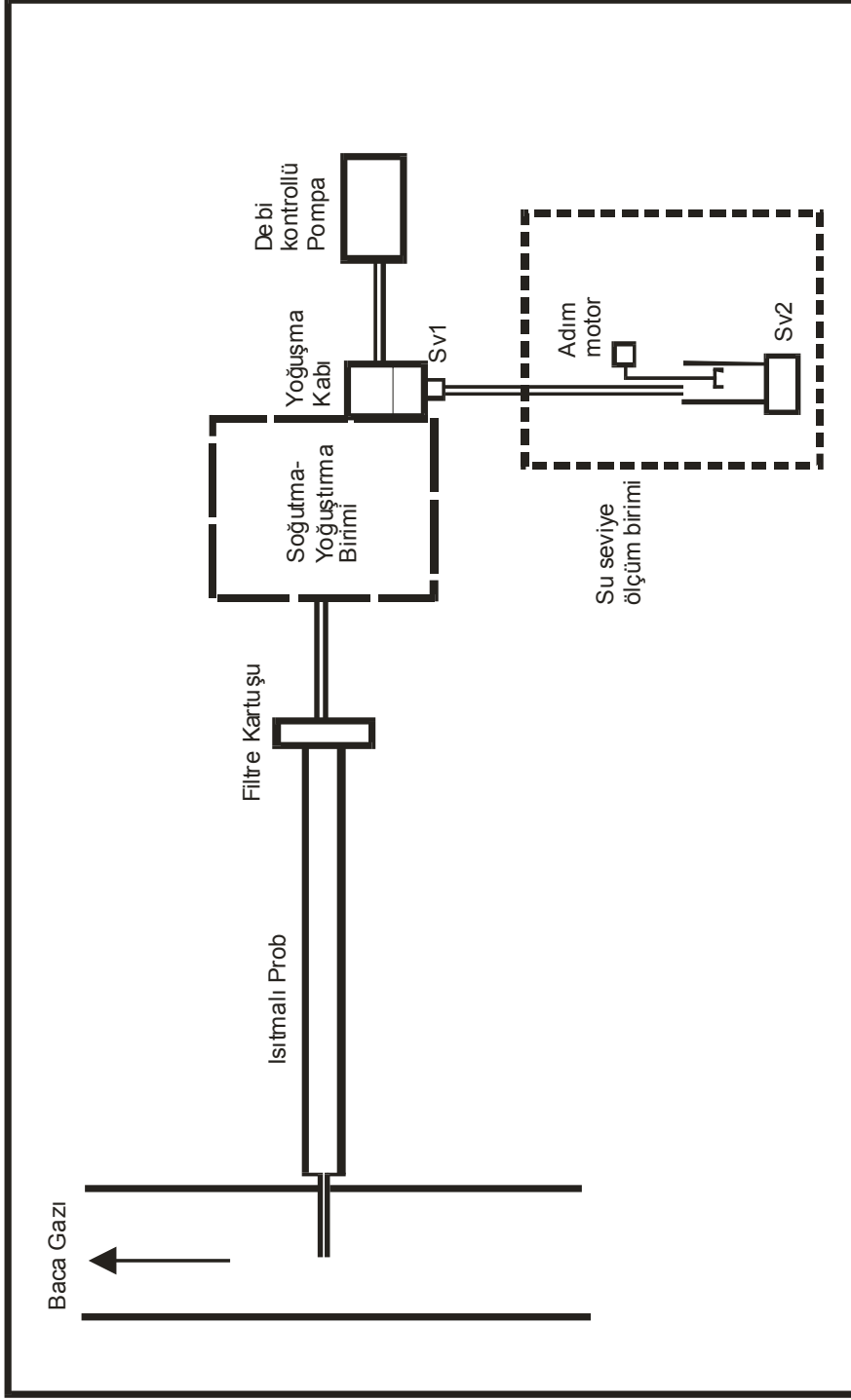
Gazdaki nem miktarının ölçüleceği baca içine ısıtmalı prob ve bunun sonunda da filtre kartuşu bulunmaktadır. Probdan sıcaklık kaybına uğramadan ve gaz içindeki partikülleri tutulmuş gaz daha sonra soğutma-yoğunlaştırma birimine gelir. Yoğunlaşma kabından sonra sistemin en sonunda bacadan tüm sisteme gaz akışını sağlayan pompa bulunmaktadır (Şekil 2.11.). Şekil 2.11'de SV1: Selenoid Valf 1 ve SV2 : Selenoid Valf 2 anlamına gelmektedir.

Sistemin çalışma şekli aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

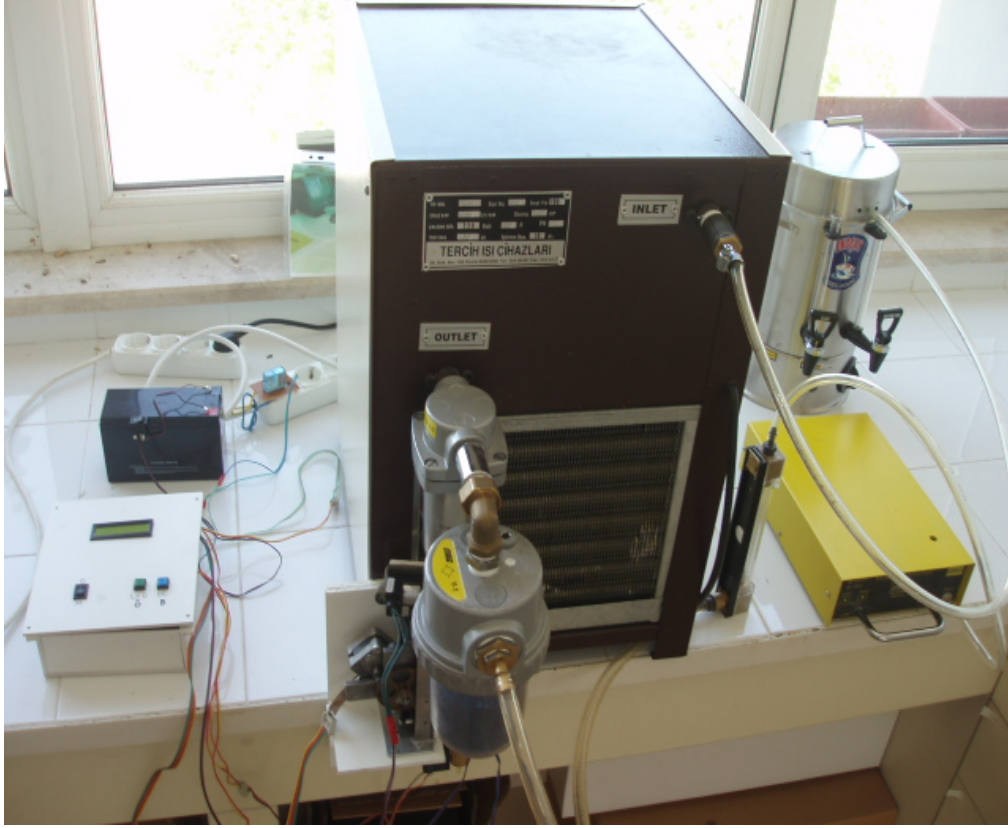
- 1- Mikrodenetleyici programına yüklenen ölçüm zamanının gelmesi veya istenilen herhangi bir anda ölçüm yapmak istenildiğinde manuel ölçüm butonundan gelen sinyal ile ölçüm işlemine başlanılır. Mikrodenetleyici ilk

olarak soğutma ünitesi ve prob üzerindeki rezistansın enerjisinin bağlı olduğu röleyi çekerek soğutma sistemini ve probu çalıştırarak hazır durumda bulunmasını sağlar. Gözlemler sonucu 4 dakikalık bir sürenin bu işlem için yeterli olduğu görülmüştür.

- 2- Mikro denetleyici daha sonra sisteme gaz akışını sağlamak için pompanın çalıştırılmasını gerçekleştirir ve tüm sistem çalıştırılarak gaz içindeki su buharının yoğunlaşma kabında birikmesi beklenir.
- 3- Bu süre sonunda mikrodenetleyici pompanın elektriğini keserek durdurulmasını sağlar. İki dakika daha soğutma ve probun çalışmasından sonra bu iki birimde mikrodenetleyici tarafından kapatılır.
- 4- Bu işlemlerden sonra mikrodenetleyici gaz içindeki su buharından yoğunlaşma kabında biriken suyun miktarını ölçmek amacıyla işlemlere başlar. Bunun için ilk olarak yoğunlaşma kabı içindeki suyun ölçüm kabına boşalmasını sağlamak için altındaki elektrik kontrollü solenoid valfi açar, su elektrod seviyesine geldiğinde sensor devresinden gelen sinyal ile yoğunlaşma kabının altındaki valf kapatılır. Mikro denetleyici sayım değişkenini bir artırarak kaydeder. Ölçüm kabı altındaki solenoid valf açılarak suyun tahliyesi gerçekleştirilir. Bu işlem yoğunlaşma kabı içindeki toplanan tüm suyun bitmesine kadar devam edilir. Mikrodenetleyici elektrodlardan sinyal gelme süresi 1 dakikadan uzun olduğunda yoğunlaştırma kabında toplanan suyun bittiğine karar verir. Bu işlemden sonra ölçüm kabı içinde bakiye olarak kalan suyun ölçümüne başlanır. Mikro denetleyici adım motora bağlı elektrotların aşağı doğru inmesi için çalıştırmaya başlar. Elektrodlar su yüzeyine geldiğinde bu işleme son verilerek o ana kadar alınan adım sayısı tespit edilir ve kalan bakiye su miktarı kalibrasyon eğrisindeki doğrunun formülünden belirlenir ve diğer miktara eklenerek baca gazı içindeki toplam nem miktarı ağırlık olarak tespit edilmiş olur. Örneklenen bacagazı hacmi, örnekleme zamanıyla çekilen debinin çarpılması sonucunda bulunur. Bulunan nem miktarı örneklenen kuru bacagazı hacmine bölünerek kesin nem oranı tespit edilmiş olur.



Şekil 2.11. Baca gazı nem ölçüm sisteminin şematik gösterimi



Şekil 2.12. Gerçekleştirilen bacagazı nem ölçüm sisteminin fotoğrafı

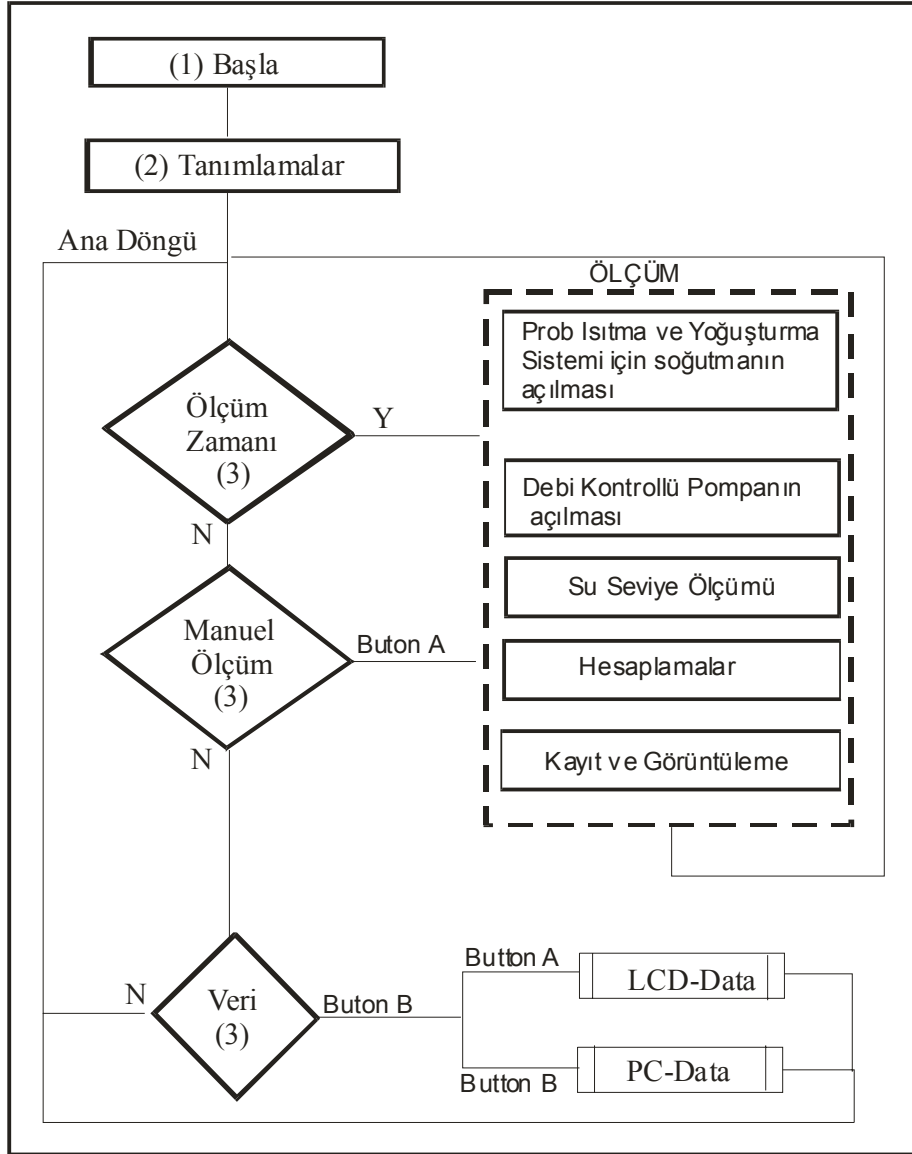
### 2.2.7. Mikrodenetleyici Programı

Tez kapsamında geliştirilen otomatik bacagazı nem ölçüm sisteminde tüm kontrol, veri okuma ve yazma işlemleri için kullanılan PIC16F877 mikrodenetleyicisinin programlanmasında Micro Engineering Labs Şirketi tarafından PICMicro denetleyiciler için geliştirilen PicBasic Pro derleyicisi kullanılmıştır. Sistem için yazılan programın iş-akış şeması Şekil 2.13.'de verilmiştir. Mikrodenetleyici programının PIC Basic Pro derleyicisi ile yazılan kaynak kodu ise Ek-2'de verilmiştir.

Otomatik ölçüm sistemine enerji verilmesi ile sistem çalışmaya başlar. İlk olarak değişken tanımları ile saat entegresi, harici EEPROM ve seri iletişim için gerekli tanımlamalar yapılır.

Bu aşamadan sonra mikrokonroller programı ana döngüye girer. Ana döngüde otomatik ölçüm yapılıyorsa ölçüm zamanının (time) ve manuel ölçüm için de

buttondan gelecek komutun (manuel) kontrolü yapılır. Ana döngü içindeki son sorgulama ile sistem hafızasında (EEPROM) biriktirilmiş ölçüm sonuçlarının nasıl alınabileceği ile ilgili olarak iki seçenek sunulmaktadır. İlk seçenek olan buton-A'ya basılması ile en son kayıttan geriye doğru ölçüm sonuçları tek tek LCD ekranda görüntülenmesi sağlanır. İkinci seçenekte ise (buton-B) ise sistem EEPROM'una kayıtlı tüm veriler bir bilgisayara aktarılmaktadır.



Şekil 2.13. Nem ölçüm sistemi mikrodenetleyicisi programının iş-akış şeması

Programaya yüklenen ölçüm zamanının gelmesi veya herhangi bir anda ölçüm yapılması gerektiğinde manuel buttona basılması ile birlikte ölçüm işlemi

başlayacaktır. Mikrodenetleyici ilk olarak ısıtmalı prob ve soğutma sistemini hazırlamak için bu birimin bağlı olduğu röleyi çeker. Gerekli bekleme süresi sonunda pompayı çalıştırarak bacadan gaz akışını temin ederek bacagazı içindeki su buharının yoğunlaştırma kabı içine birikmesi gerçekleşir. Belirlenen süre boyunca bu işlem devam eder. Süre sonunda ilk önce pompa durdurulur ve 4 dakika ilave bekleme süresi sonunda da soğutma ve ısıtmalı probun rezistansının enerjisi kesilir.

Mikrodenetleyici daha sonra yoğunlaşma kabı içinde biriken suyun miktarını belirlemek için işlemlere baslar. Mikro denetleyici ilk olarak elektrodların referans seviyesinde olup-olmadığını kontrol eder. Bu amaçla elektrodları belirli adım sayısı (200 adım) aşağıya doğru indirir. Daha sonra ters yönde yukarı doğru hareketini sağlayarak referans butonuna ulaşmasını temin eder, sinyal gelmesi ile adım motorun hareketini durdurur. Böylece elektrodlar referans seviyesinde bulunması temin edilir. Mikrodenetleyici daha sonra yoğunlaştırma kabı altındaki valfe elektrik vererek suyun ölçüm kabına dolmasını sağlar. Ölçüm kabındaki elektrodlardan sinyal gelmesiyle SV-1'i kapatarak, SV-2'yi açar ve sayım değişkenini bir artırır. Bu işleme elektrodlardan sinyal gelme zamanı 1 dakikanın üzerinde oluncaya kadar devam eder. Sinyal gelmemesi üzerine mikrodenetleyici yoğunlaştırma kabındaki ölçülecek suyun bittiğine karar vererek ölçüm kabı içindeki bakiye suyun ölçümünü yapmak üzere işlemlere başlar. Mikrodenetleyici elektrodların bağlı olduğu kolu adım motoru kullanarak aşağı doğru hareketini gerçekleştirir. Bu işlem sırasında her adımda adım sayım değişkeni bir artırılır. Bu işleme elektrodların sıvı yüzeyine temasına kadar devam edilir. Elektrodların sıvı yüzeyine teması ve sensor devresinden gelen sinyal ile motorun hareketi durdurulur. Mikrokontroller toplam adım sayısı ile birim adımda alınan mesafeyi çarparak referans noktasına göre su derinliğini dolayısıyla ölçüm kabı içindeki su miktarını belirler. Bu miktarı dolu ölçüm kab miktarları ile toplayarak hesaplar ve harici eeproma tarih bilgileri ile birlikte kaydeder.

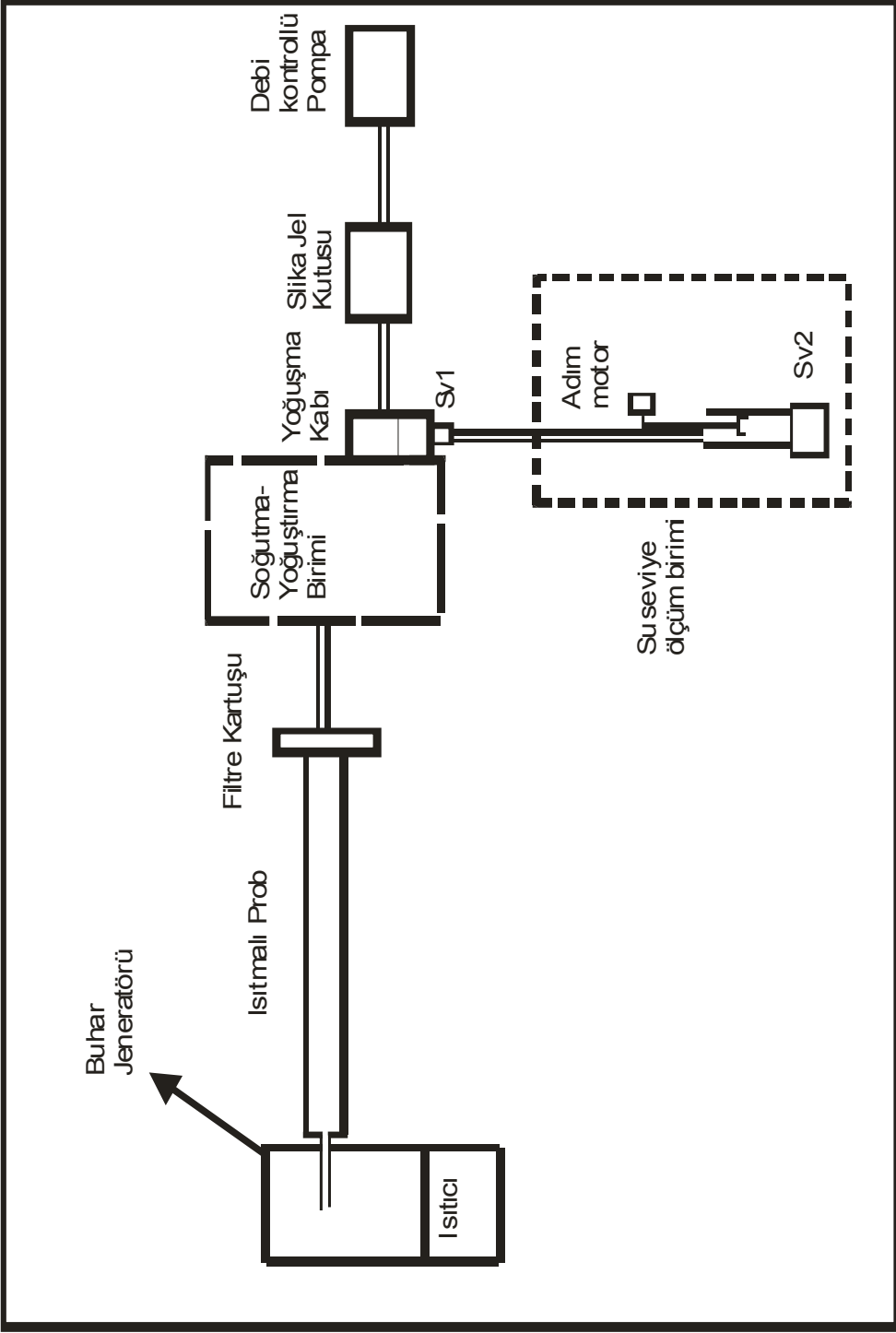
### 3. DENEME ve ÖLÇÜM SONUÇLARI

Tez kapsamında geliştirilen otomatik bacagazı nem ölçüm sisteminin laboratuvar ortamında denemeleri yapılmıştır. Bunun için subuharı kaynağı olarak elektrikli rezistans ile ısıtılan ve içindeki suyun buharlaşmasını sağlayan çelik bir kab kullanılmıştır. Bu kaptan bir hortum yardımıyla elde edilen buharın sisteme girişi sağlanmıştır.

Sistemin deneme çalışmalarında soğutma-yoğunlaştırma biriminden subuharı kaçağının miktarını tespit etmek amacıyla bu birimden hemen sonra silika jel ile doldurulmuş bir kab kullanılmıştır. Deneylerden önce kap tartılmış ve kaydedilmiştir. Deney sonunda tekrar tartılarak silika jel tarafından tutulmuş kaçak nem miktarı belirlenmiştir. Laboratuvarda yapılan denemeler için kurulan deney düzeneğinin kesit görünümü Şekil 3.1.'de verilmiştir.

Şekil 3.1'de verilen düzenek kullanılarak denemeler gerçekleştirilmiştir. Pompanın 3 değişik debi miktarında (4, 8 ve 12 l/dak) 3 ölçüm yapılmıştır. Denemeler sonucunda yoğunlaştırma ve silika jel kabında tutulan nem miktarları tartılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çizelgeden de görülebileceği ve beklenildiği gibi düşük debi denemelerinde yoğunlaştırma kabının dolma süresi daha uzun olmuştur. Yüksek debideki (12 l/dak) denemelerde ise yoğunlaştırma kabının dolma süresi daha kısa olmasına rağmen nem kaçak miktarı en yüksek olarak (3.6 gram) tespit edilmiştir. En düşük nem kaçağı ise 0.3 gram ile 4l/dak'da yapılan denemeler sonucunda ortalama 0.3 gram olarak bulunmuştur.

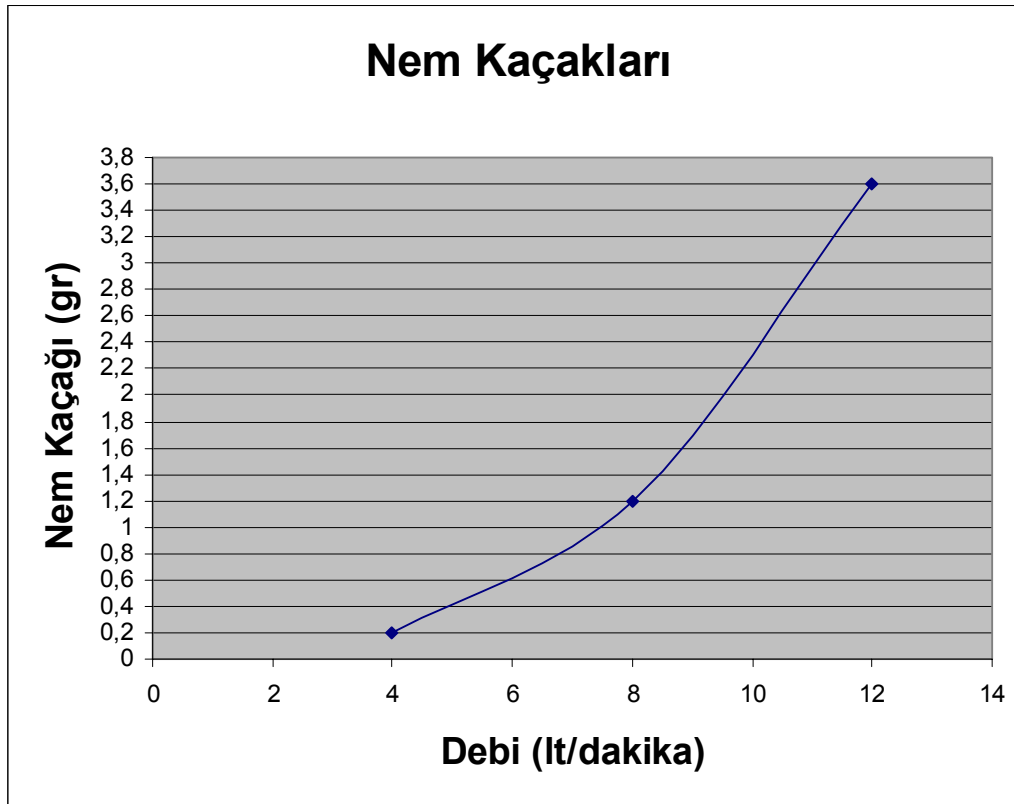




Şekil 3.1. Bacagazi nem ölçüm sisteminin laboratuvardaki denemeleri sırasında kullanılan deney düzeniği

Çizelge 3.1. Bacagazı nem ölçüm sistemi deneme sonuçları

Debi (lt/dakika)	Örnekleme Süresi (Dakika)	Tutulan Nem Miktarı (gr)		Slika Jel Kutusunda tutulan nem (gr) (Kaçak nem miktarı)	
		1. Ölçüm	2. Ölçüm	1. Ölçüm	2. Ölçüm
4	12	1. Ölçüm	174,51	1. Ölçüm	0,3
		2. Ölçüm	173,01	2. Ölçüm	0,2
		3. Ölçüm	174,30	3. Ölçüm	0,3
		Ortalama	173,94	Ortalama	0,3
		Standart Sapma	0,81	Standart Sapma	0,06
8	7	1. Ölçüm	176,27	1. Ölçüm	1,2
		2. Ölçüm	176,10	2. Ölçüm	1,2
		3. Ölçüm	175,90	3. Ölçüm	1,1
		Ortalama	176,09	Ortalama	1,2
		Standart Sapma	0,20	Standart Sapma	0,06
12	5	1. Ölçüm	179,14	1. Ölçüm	3,6
		2. Ölçüm	178,40	2. Ölçüm	3,5
		3. Ölçüm	179,10	3. Ölçüm	3,6
		Ortalama	178,88	Ortalama	3,6
		Standart Sapma	0,42	Standart Sapma	0,06



Şekil 3.2. Pompa debisinin nem kaçaklarına etkisi

Tez kapsamında geliştirilen bacagazı nem ölçüm sisteminin sahadaki gerçek ortamında çalışmasının belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla sistem Ankara'da bulunan Belko Asfalt Şantiyesi döner fırın bacasına götürülerek baca gazındaki nem miktarı belirlenmiştir. Bu denemelerde pompa 12 l/dak debide 10 dakika süre ile çalıştırılmış ve yoğuşurma kabında 9.8 gram nem toplandığı tespit edilmiştir. Kaçak nem miktarını ise 0.6 gram olarak bulunmuştur.

Baca gazı nem ölçüm sisteminde yoğuşma kabında toplanan suyun miktarını belirlemek için sisteme eklenen su seviye ölçüm sisteminin tekrarlanabilirlik ve doğruluğunu belirleyebilmek amacıyla testleri gerçekleştirilmiştir.

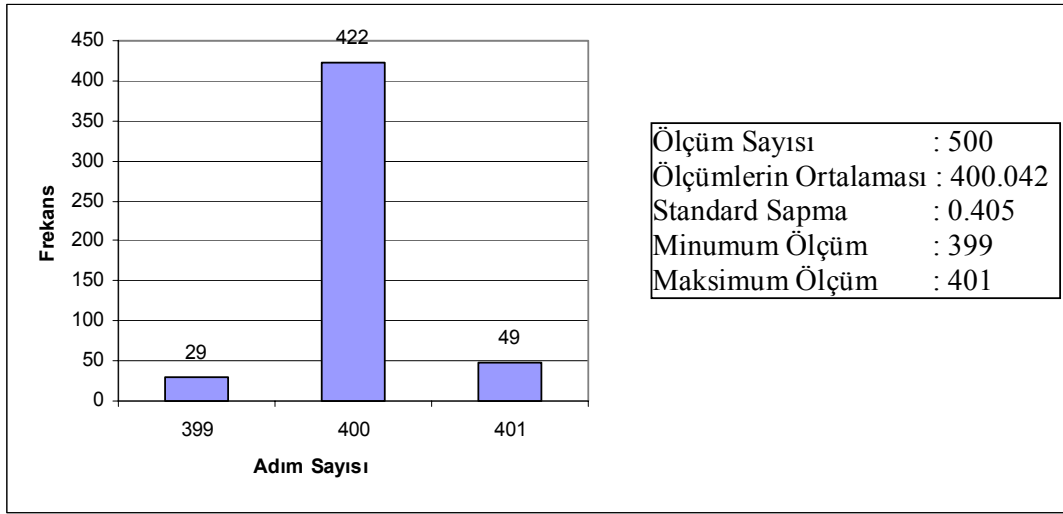
Bu amaçla ilk olarak sistemin bir adımda aldığı yolun tespiti (k sabitinin belirlenmesi) amacıyla 1000 adımda alınan yolun ölçülmesi gerçekleştirilmiştir. Step motor 1000 adım atacak şekilde çalıştırılmış alınan yol dijital caliper ile ölçülmüştür. Bu test sonucu hareket miktarı 1.95 mm olarak ölçülmüş ve bir adım miktarı ise 1.95 mikron olarak bulunmuştur.

Daha sonra adım motor ve mekanik düzeneğin çalışmasının testleri yapılmıştır. Bunun için elektrodların bağlı olduğu taşıyıcı kol sabit adım (400 step) yukarı çekilerek birbirini takip eden ve sürekli ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 500 ölçüm yapılmıştır. Elde edilen verilerin istatistiksel sonuçları ve bunların dağılımı Şekil 3.3.'de, ölçüm sonuçları ise Ek-3'de verilmiştir.

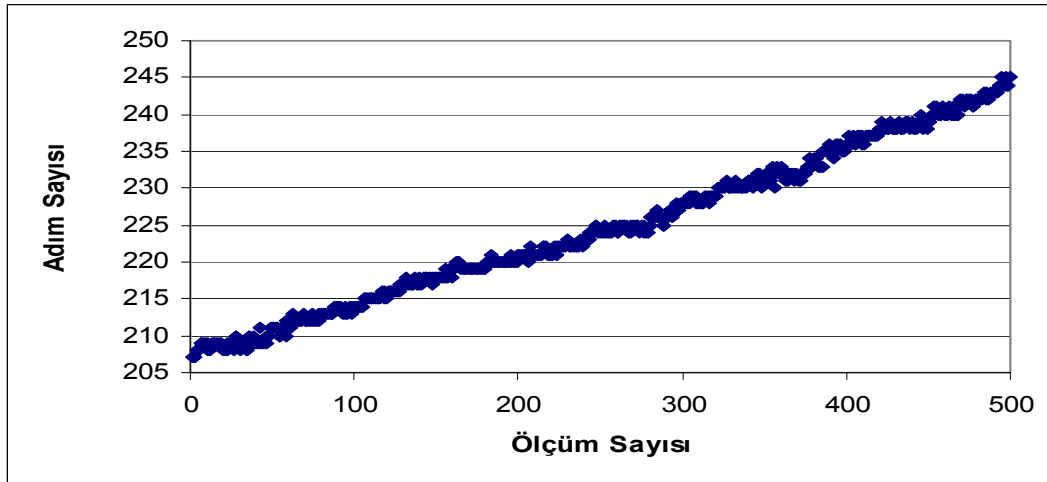
Şekil 3.3.'de de görülebileceği gibi ölçülmesi gereken 400 adım değerine 400.042 ortalama ile oldukça doğru bir şekilde yaklaşmıştır. Grafikte izlenebileceği gibi beklenen 400 adım değerinin sayısı sapma değerleri olan 399 ve 401 adım değerlerinden oldukça fazladır.

Sistem üzerine uygulanan ikinci test ile gerçek çalışma koşullarında referans buttonunun cevap süresinin ölçümlerde etkili olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bunun için de yukarıda detaylı olarak açıklanan sabit referans noktasından itibaren seviye derinliğinin belirlendiği bir birini takip eden 500 ölçüm yapılmıştır. Bu ölçüm sonuçlarından elde edilen grafik Şekil 3.4.'de, ölçüm sonuçları ise Ek-4'de

verilmiştir. Tüm ölçüm 2 saat süre almıştır. Kısa zaman aralığında birbirini takip eden ölçüm sonuçları aynı olarak tespit edilmiştir. Ancak süre uzadıkça normal olarak ölçüm kabı içindeki suyun buharlaşma etkisi ile seviyenin azaldığı dolayısıyla ölçülen adım sayısının arttığı izlenmiştir. Buharlaşma etkisinin belirlenebilmesi amacıyla deneye başlamadan önce kullanılan kap içindeki su örneği ile beraber tartılmış ve 125.69 gr olduğu tespit edilmiştir. 500 ölçüm sonunda (iki saat sonra) tekrar tartılarak (125.27 gr) aradaki ağırlık farkı 0.42 gr olarak bulunmuştur. Bu durumda Şekildeki grafikteki düzenli olarak yukarı doğru sapmanın buharlaşma etkisinden kaynaklandığını kanıtlamaktadır.



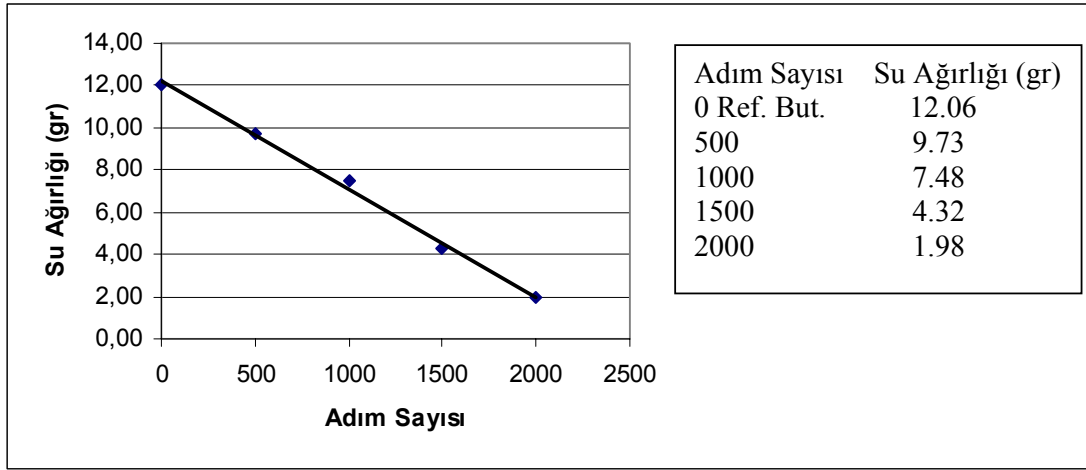
Şekil 3.3. Su seviye ölçüm sisteminin sabit adım sayısındaki deneme sonuçları



Şekil 3.4. Su seviye ölçüm sisteminin referans butonu kullanılarak yapılan deneme sonuçları

### 3.1. Su-Seviye Ölçüm Kabının Kalibrasyonu

Su seviye ölçüm kabının kalibrasyonu için su-seviye ölçüm sistemi çalıştırılmış ölçüm kabına öncelikle referans butona kadar su dolması sağlanmıştır. Ölçüm kabı içindeki su boşaltılarak tartılmıştır. Referans butonu seviyesindeki ölçümden sonra elektrodlar sırasıyla 500, 1000,1500 ve 2000 adım aşağıya doğru çekilerek aynı işlem tekrarlanmıştır. Elde edilen değerler ve kalibrasyon eğrisi Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Su seviye ölçüm kabının kalibrasyon değerleri

#### 4. GENEL SONUÇLAR

Bu tez kapsamında bacagazındaki nem miktarını tespit etmek amacıyla otomatik bir ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Bacagazındaki nemi tespit etmek için EPA Metot-4 yöntemi temel olarak alınmış, tasarlanan sistemin işleyilişi laboratuvar ortamında test edilmiş ve endüstriyel bir bacada da denenmiştir.

Geliştirilen sistem, ısıtılmalı prob ve toz tutma birimi, soğutma (yoğuşurma) sistemi, otomatik seviye ölçüm sistemi, debi kontrollü pompa ve sistem kontrol birimi olmak üzere 5 ana bölümden oluşmaktadır. Isıtılmalı probtan geçen nemli gaz içerisindeki partikül maddeyi toz tutma ünitesinde bırakmaktadır. Daha sonra nemli gaz soğutma (yoğunlaştırma) bölümüne gelir. Soğutma ünitesinde gaz içerisindeki nem yoğuşarak bir kapta toplanmıştır. Yoğunlaştırma kabında bulunan nem miktarının belirlenmesi için otomatik seviye ölçüm sistemi kullanılmıştır. Otomatik seviye ölçüm sisteminde su yüzeyini algılayan elektrodların dikey yöndeki hareketi basit bir adım motor ile sağlanmıştır. Sistemi kontrol eden karttaki mikrodenetleyici tarafından step motorun adım sayısı belirlenebilmektedir. Adım sayısından alınan mesafe mikrodenetleyici tarafından hesaplanmakta ve su yüksekliği veya derinliği tespit edilmektedir. Sistemden nem kaçaklarının tespit edilebilmesi amacıyla denemeler sırasında ölçüm sisteminin sonuna silika jel ile dolu olan bir kap konulmuştur. Silika jel kutusundan geçen gaz debi kontrollü pompadan sistemi kuru olarak terk eder. Geliştirilen sistemin diğer bir bölümü ise kontrol birimidir. Baca gazındaki nem miktarının otomatik olarak belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen sistemin tüm kontrol, verilerin elde edilmesi ve iletilmesi kontrol birimi ile sağlanmaktadır. Kontrol biriminde yukarıda değinilen tüm işlemlerin otomatik olarak yapılmasını temin etmek için MicroChip firmasının üretimi olan PIC (Peripheral Interface Controller) serisi 16F877 mikrodenetleyicisinden yararlanılmıştır.

Geliştirilen ölçüm sistemi laboratuvar ortamında 3 farklı debide ve her debide 3 ölçüm alınacak şekilde çalıştırılarak denenmiştir. Bu ölçümler sonucunda 4l/dak'lık debide ortalama 173,9 gram nem tutulmuş ve 0,3 gram nem kaçağı olduğu tespit edilmiştir. 8 ve 12 l/dak'lık debi için tutulan nem miktarı ortalamaları sırasıyla

176,1 ve 178,9 gr olarak tespit edilmiştir. Nem kaçakları ise 8 l/dak için 1,2 ve 12 l/dak içi ise 3,6 olarak bulunmuştur.

Geliştirilen bacagazı nem ölçüm sistemi ayrıca endüstriyel bir bacada da denemek amacıyla Ankara'da bulunan Belko Asfalt Şantiyesi döner fırın bacasına götürülerek baca gazındaki nem miktarı belirlenmiştir. Bu denemelerde pompa 12 l/dak debide 10 dakika süre ile çalıştırılmış ve yoğuşurma kabında 9.8 gram nem toplandığı tespit edilmiştir. Kaçak nem miktarını ise 0.6 gram olarak bulunmuştur.

Geliştirilen sistemin endüstriyel bir bacada çalıştırılması sonucunda nem kaçaklarının en yüksek debide % 6 civarında olduğu görülmüştür. Bu değer sistemin nem ölçümünde kullanılması durumunda hata payı olarak ölçüm belirsizliğine katılabilir. Nem sensörlerinin hata payının %15 civarında olması dikkate alındığında % 6'lık bir hata payının kabul edilebilir bir düzey olduğu söylenebilir. Ayrıca, geliştirilen sistem sensörlerle çalışan sürekli-nem ölçüm cihazları ile karşılaştırıldığında daha ekonomiktir.

Geliştirilen sistem referans bir metot olarak kabul edilen EPA Metot 4'ü temel olarak almış bir sistemdir. EPA Metot 4 ile karşılaştırıldığında prensip olarak bir değişiklik yapılmamıştır. Bu nedenle EPA Metot 4'te verilen hata payları geliştirilen otomatik sistem için de geçerlidir. Sonuç olarak geliştirilen sistemin başka bir ölçüm sistemiyle karşılaştırılmasına gerek görülmemiştir.

Baca gazı nem ölçüm sisteminde yoğuşma kabında toplanan suyun miktarını belirlemek için sisteme eklenen su seviye ölçüm sisteminin tekrarlanabilirlik ve doğruluğunu belirleyebilmek amacıyla testleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ilk olarak sistemin bir adımda aldığı yolun tespiti (k sabitinin belirlenmesi) amacıyla 1000 adımda alınan yolun ölçülmesi gerçekleştirilmiştir. Step motor 1000 adım atacak şekilde çalıştırılmış alınan yol dijital caliper ile ölçülmüştür. Bu test sonucu hareket miktarı 1.95 mm olarak ölçülmüş ve bir adım miktarı ise 1.95 mikron olarak bulunmuştur. Daha sonra adım motor ve mekanik düzeneğin çalışmasının testleri yapılmıştır. Bunun için elektrodların bağlı olduğu taşıyıcı kol sabit adım (400 step) yukarı çekilerek birbirini takip eden ve sürekli ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 500 ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerin ortalaması 400,42 olarak belirlenmiştir.

Ölçüm sistemi üzerine uygulanan ikinci test ile gerçek çalışma koşullarında referans buttonunun cevap süresinin ölçümlerde etkili olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bunun için de yukarıda detaylı olarak açıklanan sabit referans noktasından itibaren seviye derinliğinin belirlendiği bir birini takip eden 500 ölçüm yapılmıştır. Tüm ölçüm 2 saat süre almıştır. Kısa zaman aralığında birbirini takip eden ölçüm sonuçları aynı olarak tespit edilmiştir. Ancak süre uzadıkça normal olarak ölçüm kabı içindeki suyun buharlaşma etkisi ile seviyenin azaldığı dolayısıyla ölçülen adım sayısının arttığı izlenmiştir. Buharlaşma etkisinin belirlenebilmesi amacıyla deneye başlamadan önce kullanılan kap içindeki su örneği ile beraber tartılmış ve 125.69 gr olduğu tespit edilmiştir. 500 ölçüm sonunda (iki saat sonra) tekrar tartılarak (125.27 gr) aradaki ağırlık farkı 0.42 gr olarak bulunmuştur. Bu da suyun 0,42 gram'lık kısmının buharlaştığını göstermektedir.

#### **4.1. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler**

Soğutma sistemi içerisinde helezon şekilde sarılı olan bakır boru sarılırken aralarındaki mesafenin artırılması yoğuşan nemin yoğuşturma kabına gidişini kolaylaştıracaktır. Soğutma sisteminde kullanılan boru çaplarının daha az seçilerek bu birimin küçük boyutlarda olması sağlanabilir.

Eğer soğutma sistemi olarak Peltier soğutma kullanılacak ise soğutulan örnekleme hattının yeterince uzun olması sağlandığı taktirde soğutma-yoğunlaştırma birimi olarak kullanılabilir.

Isıtmalı prob yaptırılırken dış kısma ısı yalıtım malzemesi konulmalıdır.



## KAYNAKLAR

- Advam, G. N. and Narus, L., 1981, Effects of humidity on hydrogen sulphide detection by SnO<sub>2</sub> solid state gas sensors, *Sensors and Actuators*, 2, 201 – 206.
- Arai, H., Ezaki, S., Shimizu, Y., Shipp O. and Selyama, T., 1983, Semiconductive humidity sensor of perovskite-type oxides, *Proc International Meeting Chemical Sensors* (yayınlanmamış).
- Çengel, Y.A. and Boles, M.A., 1996, *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, McGraw-Hill-Literatür Yayıncılık, 867p.
- Danielson, C.A., 1973, *Air Pollution Engineering Manuel (Second Edition)*, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, Nc. Publication No. 40., 45p.
- Devorkin, H., et al., 1963, *Air Pollution Source Testing Manuel*, Air Pollution Control District, Los Angeles. Nc. Publication No.50, 95p.
- Dunmore, F.W., 1938, An electrometer and its application to radio meteorography, *J Res Nat Bur Std*, 20, 723-744.
- EPA, 2000, *Determination of Moisture Content In Stack Gases*, [Http://www.epa.gov](http://www.epa.gov).
- Feng, C.D., Sun, S.L., Wang, H., Segre, C.U., Stetter, J.R., 1997, Humidity Sensitive Properties of Nafion and Sol-gel Derived SiO<sub>2</sub>/Nafion Composite Thin Films, *Sensors and Actuators B*, Vol.40., 145-157.
- Gole, F.W., 1970, *Introduction to Meteorology*, John Wiley & Sons Inc., New York, 166p.
- Golonka, L.J., Licznarski, B.W., Nitsch, K., Terycz, H., 1997, Thick Film Humidity Sensors, *Measurement Science and Technology*, Vol. 8, 92-98.
- Green, R., Qu, W., Austin, M., 2000, Development of Multi-Functional Sensors in Thick-Film and Thin-Film Technology, *Measurement Science and Technology*, Vol. 11, 1111-1118.

- Khanna, V.K., Nahar, R. K., 1984, Effect of moisture on the dielectric properties of porous alumina films, *Sensors and Actuators*, 5, 187-198.
- Matsuura, M., Matsuoka, M., 1976, Humidity dependence of resistivity of potassium-modified ferric oxide ceramics, 23, 242-249.
- Nakaasa Instrument Co Ltd, 1984, Catalogue, C911-84001-15K-2D, 78p.
- Nitta, T., Fukushima, F., Matsuo, Y., 1983, Water vapor gas sensor using ZrO<sub>2</sub>-MgO ceramic body, *Proc Int Meet on Chemical Sensors*, Kodansha, 387-392.
- Nitta, T., Terada, Z. and Hayakawa, S., 1980, Humidity-sensitive electrical conduction of MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-TiO<sub>2</sub> porous ceramics, *J Amer Cer Soc*, 63, 269-300.
- Onacak, T., 2006, Sözlü görüşme, Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Beytepe 06532, Ankara, turkay@hacettepe.edu.tr
- Penman, H.L., 1955, *Humidity*, The Institute of Physics, London, 355p.
- Rittersama, Z.M., 2002, Recent Achievements in Miniaturized Humidity Sensors-a Review of Transduction Techniques, *Sensors and Actuators A*, Vol. 96, 196-210.
- Sager, K., Schroth, A., Nakladal, a., Gerlach, G., 1996, Humidity-Dependent Mechanical Properties of Polyimide Films and Their Use for IC-Compatible Humidity Sensors, *Sensors and Actuators A*, Vol.53, 330-334.
- Sakai, Y., Matsuguchi, M., Makhata, H., 1999, A New Type LiCl Dew Point Hygrometer Probe Fabricated with a Composite of Porous Polymer and the Salt", *The 10<sup>th</sup> International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Japan*, Vol. 99, 1664-1667.
- Shimizu, Y., Aral, H. and Selyama, T., 1982, Ceramic humidity sensors /Microstructure and humidity sensitive characteristics of spmel type oxides, *Denki Kagaku*, 50, 831-834.
- Shimizu, Y., Shlmabukuro, M., Aral, H. and Selyama, T., 1985, Enhancement of humidity sensitivity for perovskite-type oxides having semiconductivity, *Chem Lett*, 917-920 .

- Shimizu, Y., Shippo, O., Aral, H. and Selyama, T., 1984, Influence of reducing gases on the sensitivity of the semiconductive humidity sensor, Denkr Kagaku, 52, 849-850.
- Suzuki, K., Koyama, K., Inuzuka, T. and Nabeta, Y., 1983, Alumina thin film humidity sensor controlling of humidity characteristics and aging, Proc 3rd Sensor Symp, Tsukuba, Japan, 251-256.
- Sudo, Y., 1980, Humidity sensitive ceramic element, Den&r Zazryo, 19, 74-78.
- Taguchi, H., Takahashi, Y. and Matsumoto, C., 1980; The effect of water adsorption on  $(La_{1-x}Sr_x)MnO_3$  (0 1 x 0 5), Yogyo-kyokai-shi, 88, 566-570.
- Vissceher, G.J., 1995; Standart Psychrometers: a matter of preferences, Meas. Sci. Technology, Vol.6, 1451-1461.
- Wang, H., Feng, C.D., Sun, S.L., Segre, C.U., Stetter, J.R., 1997; Comparision of Conductometric Humidity Sensing Polimers, Sensors and Actuators B, Vol.40, 211-216.
- Yamazoe, N. and Shimizu, Y., 1986; Humidity Sensors Principles And Applications, Sensors and Actuators, 4, 85-96.
- Yuki, T. and Yokomuo, Y., 1981; Highly efficient humidity sensor, Sense-Gyufsu, 1, 23-27.

## **EKLER DİZİNİ**

Ek 1. EPA Metot-4 Orijinal

Ek 2. Mikrodenetleyici programının PICBasic Pro derleyicisi ile yazılan kaynak kodu

Ek 3. Seviye ölçüm sisteminin 400 sabit adımdaki 500 deneme sonucu

Ek 4. Su seviye ölçüm sisteminin referans butona göre gerçekleştirilen 500 ölçüm sonucu

Ek 5. Özgeçmiş

## EK-5 ÖZGEÇMİŞ

### ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Önder ÇETİNER

Doğum Yeri : Hekimhan

Doğum Yılı : 29.02.1976

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu: Yüksek Mühendis

Lise 1991-1993

Lisans 1994-2000.

Yabancı Dil: İngilizce

İş Tecrübesi:

2000- 20003 Ekotest (Laboratuar Yöneticisi)

2003- 20003 Bilim (Laboratuar Yöneticisi)

2003- 20004 EPS (Laboratuar Yöneticisi-Şirket Ortağı)

2004- 20006 ALKA (Laboratuar Yöneticisi-Şirket Ortağı)

Ek-2: Mikrodenetleyici Programinin PicBasic PRO Derleyicisi ile yazılan kaynak Kodu

Pause 2000

ADCON1 = 7

INCLUDE "modedefs.bas"

DEFINE DEBUG\_REG PORTC  
DEFINE DEBUG\_BIT 3  
DEFINE DEBUG\_BAUD 9600  
DEFINE DEBUG\_MODE 1

EEPROM\_SCLK var PORTD.0  
EEPROM\_DATA var PORTD.1

EEPROM\_READ con %10100001  
EEPROM\_WRITE con %10100000

rtcyear var byte  
rtcday var byte  
rtcmonth var byte  
rtcdate var byte  
rtchr var byte  
rtcmin var byte  
rtcsec var byte  
rtccontrol var byte

tam var byte  
say var word  
zaman var word  
deg var byte  
i var word  
veri var byte  
tamsonuc var word  
baksonuc var word  
sonuc var word  
kesson var word

adim var word  
adim=0  
tam=0  
zaman=50

bellek var byte  
bellek=0

B var byte  
sayi var word  
C var byte

RST var PORTC.2  
IO var PORTC.1  
SCLK var PORTC.0

```
LOW RST
LOW SCLK
```

```
anadon:
```

```
LCDOUT $Fe,1
LCDOUT "Baca Gazi Olcum."
LCDOUT $Fe, $C0
LCDOUT "Sistemi"
Pause 3000
```

```
For i=1 to 100
```

```
LCDOUT $Fe,1
LCDOUT "Manuel Olcum"
LCDOUT $Fe, $C0
LCDOUT "(O) ya basin"
```

```
If rtchr=$13 then
Gosub motasa
endif
```

```
If PORTE.0=1 then
Gosub motasa
endif
Pause 100
nexti
```

```
Goto anadon
```

```
motasa:
```

```
LCDOUT $Fe,1
LCDOUT "Sogutma ve"
LCDOUT $Fe, $C0
LCDOUT "Isitma acildi"
```

```
High PORTB.1
Pause 20000
```

```
LCDOUT $Fe,1
LCDOUT "Referans buton"
LCDOUT $Fe, $C0
LCDOUT "Kontrolu"
```

```
For i=1 to 100
```

```
High PORTB.7
Pause 10
Low PORTB.7
```

```
High PORTB.6
Pause 10
Low PORTB.6
```

```
High PORTB.5
```

```
Pause 10
Low PORTB.5

High PORTD.7
Pause 10
Low PORTD.7

next i

Pause 2000

olcumyuk:

by1:
High PORTD.7
Pause 10
Low PORTD.7
C=1
Gosub ustbut

by2:
High PORTB.5
Pause 10
Low PORTB.5
C=2
Gosub ustbut

by3:
High PORTB.6
Pause 10
Low PORTB.6
C=3
Gosub ustbut

by4:
High PORTB.7
Pause 10
Low PORTB.7
C=4
Gosub ustbut

goto olcumyuk

ustbut:
If PORTC.7=1 then
adim=0
Gosub bekle
endif
return

bekle:
Pause 60000
Pause 60000
Pause 60000
Pause 60000
```



```
HighPORTB.7
LCDOUT $Fe,1
LCDOUT "Pompa"
LCDOUT $Fe, $C0
LCDOUT "Acildi"
Pause 60000
Pause 60000
Pause 60000
Pause 60000
Pause 60000
Pause 60000
Pause 60000
Pause 60000
Low PORTB.7
LCDOUT $Fe,1
LCDOUT "Pompa"
LCDOUT $Fe, $C0
LCDOUT "Kapatildi"
Pause 60000
Pause 60000
Pause 60000
LCDOUT $Fe,1
LCDOUT "Isitma=sogutma"
LCDOUT $Fe, $C0
LCDOUT "Kapatildi"
Pause 5000
Low PORTB.1
Pause 5000
```

dolum:

```
Pause 1000
High PORTB.4
```

```
LCDOUT $Fe,1
LCDOUT "<Olcum Islemi"
LCDOUT $Fe, $C0
LCDOUT "Basladi"
```

```
For i=1 to 6000
If PORTD.2=1 then
Low PORTB.4
Gosub bosalt
endif
pause 10
next i
```

```
LCDOUT $Fe,1
LCDOUT "Bakiye "
LCDOUT $Fe, $C0
LCDOUT "Olcum"
```

```
gosub ara
```

```
bosalt:
```

```
tam=tam+1
```

```
Pause 1000
High PORTB.2
Pause 15000
Low PORTB.2
Goto dolum
```

```
ara:
If C=4 then
Gosub bob1
endif
```

```
If C=3 then
Gosub bob2
endif
```

```
If C=2 then
Gosub bob3
endif
```

```
If C=1 then
Gosub bob4
endif
```

```
otomatik:
```

```
bob1:
High PORTB.7
Pause 10
Low PORTB.7
B=1
Gosub sorgul
```

```
bob2:
High PORTB.6
Pause 10
Low PORTB.6
B=2
Gosub sorgul
```

```
bob3:
High PORTB.5
Pause 10
Low PORTB.5
B=3
Gosub sorgul
```

```
bob4:
High PORTD.7
Pause 10
Low PORTD.7
B=4
Gosub sorgul
```

```
Goto otomatik
```

sorgul:

adim=adim+1

If PORTD.2=1 then

Pause 500

High PORTB.2

Pause 15000

Low PORTB.2

Pause 500

Gosub yazma

endif

return

Yazma:

LCDOUT \$Fe,1

LCDOUT "Olcum kabi: ", dec2 tam

LCDOUT \$Fe, \$C0

LCDOUT "Bak, adim: ", dec3 adim

Pause 3000

tamsonuc=tam\*12

baksonuc=(adim\*5)/1000+(12+228/100)

sonuc=tamsonuc+baksonuc

kesson=(sonuc\*1000)/32

Pause 5000

Goto anadon

end

**METHOD 4 - DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT  
IN STACK GASES**

**NOTE:** This method does not include all the specifications (e.g., equipment and supplies) and procedures (e.g., sampling) essential to its performance. Some material is incorporated by reference from other methods in this part. Therefore, to obtain reliable results, persons using this method should have a thorough knowledge of at least the following additional test methods: Method 1, Method 5, and Method 6.

*1.0 Scope and Application.*

1.1 Analytes.

Analyte	CAS No.	Sensitivity
Water vapor (H <sub>2</sub> O)	7732-18-5	N/A

1.2 Applicability. This method is applicable for the determination of the moisture content of stack gas.

1.3 Data Quality Objectives. Adherence to the requirements of this method will enhance the quality of the data obtained from air pollutant sampling methods.

*2.0 Summary of Method.*

2.1 A gas sample is extracted at a constant rate from the source; moisture is removed from the sample stream and determined either volumetrically or gravimetrically.

2.2 The method contains two possible procedures: a reference method and an approximation method.

2.2.1 The reference method is used for accurate determinations of moisture content (such as are needed to calculate emission data). The approximation method, provides estimates of percent moisture to aid in setting isokinetic sampling rates prior to a pollutant emission measurement run. The approximation method described herein is only a suggested approach; alternative means for approximating the moisture content (*e.g.*, drying tubes, wet bulb-dry bulb techniques, condensation techniques, stoichiometric calculations, previous experience, etc.) are also acceptable.

2.2.2 The reference method is often conducted simultaneously with a pollutant emission measurement run. When it is, calculation of percent isokinetic, pollutant emission rate, etc., for the run shall be based upon the results of the reference method or its equivalent. These calculations shall not be based upon the results of the approximation method, unless the approximation method is shown, to the satisfaction of the Administrator, to be capable of yielding results within one percent H<sub>2</sub>O of the reference method.

3.0 *Definitions.* [Reserved]

#### 4.0 Interferences.

4.1 The moisture content of saturated gas streams or streams that contain water droplets, as measured by the reference method, may be positively biased. Therefore, when these conditions exist or are suspected, a second determination of the moisture content shall be made simultaneously with the reference method, as follows:

Assume that the gas stream is saturated. Attach a temperature sensor [capable of measuring to  $\pm 1$  °C (2 °F)] to the reference method probe. Measure the stack gas temperature at each traverse point (see Section 8.1.1.1) during the reference method traverse, and calculate the average stack gas temperature. Next, determine the moisture percentage, either by: (1) using a psychrometric chart and making appropriate corrections if the stack pressure is different from that of the chart, or (2) using saturation vapor pressure tables. In cases where the psychrometric chart or the saturation vapor pressure tables are not applicable (based on evaluation of the process), alternative methods, subject to the approval of the Administrator, shall be used.

#### 5.0 Safety.

5.1 Disclaimer. This method may involve hazardous materials, operations, and equipment. This test method may

not address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this test method to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to performing this test method.

#### *6.0 Equipment and Supplies.*

6.1 Reference Method. A schematic of the sampling train used in this reference method is shown in Figure 4-1.

6.1.1 Probe. Stainless steel or glass tubing, sufficiently heated to prevent water condensation, and equipped with a filter, either in-stack (*e.g.*, a plug of glass wool inserted into the end of the probe) or heated out-of-stack (*e.g.*, as described in Method 5), to remove particulate matter. When stack conditions permit, other metals or plastic tubing may be used for the probe, subject to the approval of the Administrator.

6.1.2 Condenser. Same as Method 5, Section 6.1.1.8.

6.1.3 Cooling System. An ice bath container, crushed ice, and water (or equivalent), to aid in condensing moisture.

6.1.4 Metering System. Same as in Method 5, Section 6.1.1.9, except do not use sampling systems designed for flow rates higher than 0.0283 m<sup>3</sup>/min (1.0 cfm). Other metering systems, capable of maintaining a constant sampling

rate to within 10 percent and determining sample gas volume to within 2 percent, may be used, subject to the approval of the Administrator.

6.1.5 Barometer and Graduated Cylinder and/or Balance. Same as Method 5, Sections 6.1.2 and 6.2.5, respectively.

6.2. Approximation Method. A schematic of the sampling train used in this approximation method is shown in Figure 4-2.

6.2.1 Probe. Same as Section 6.1.1.

6.2.2 Condenser. Two midget impingers, each with 30-ml capacity, or equivalent.

6.2.3 Cooling System. Ice bath container, crushed ice, and water, to aid in condensing moisture in impingers.

6.2.4 Drying Tube. Tube packed with new or regenerated 6- to 16-mesh indicating-type silica gel (or equivalent desiccant), to dry the sample gas and to protect the meter and pump.

6.2.5 Valve. Needle valve, to regulate the sample gas flow rate.

6.2.6 Pump. Leak-free, diaphragm type, or equivalent, to pull the gas sample through the train.

6.2.7 Volume Meter. Dry gas meter, sufficiently accurate to measure the sample volume to within 2 percent,



and calibrated over the range of flow rates and conditions actually encountered during sampling.

6.2.8 Rate Meter. Rotameter, or equivalent, to measure the flow range from 0 to 3 liters/min (0 to 0.11 cfm).

6.2.9 Graduated Cylinder. 25-ml.

6.2.10 Barometer. Same as Method 5, Section 6.1.2.

6.2.11 Vacuum Gauge. At least 760-mm (30-in.) Hg gauge, to be used for the sampling leak check.

7.0 *Reagents and Standards.* [Reserved]

8.0 *Sample Collection, Preservation, Transport, and Storage.*

8.1 Reference Method. The following procedure is intended for a condenser system (such as the impinger system described in Section 6.1.1.8 of Method 5) incorporating volumetric analysis to measure the condensed moisture, and silica gel and gravimetric analysis to measure the moisture leaving the condenser.

8.1.1 Preliminary Determinations.

8.1.1.1 Unless otherwise specified by the Administrator, a minimum of eight traverse points shall be used for circular stacks having diameters less than 0.61 m (24 in.), a minimum of nine points shall be used for rectangular stacks having equivalent diameters less than

0.61 m (24 in.), and a minimum of twelve traverse points shall be used in all other cases. The traverse points shall be located according to Method 1. The use of fewer points is subject to the approval of the Administrator. Select a suitable probe and probe length such that all traverse points can be sampled. Consider sampling from opposite sides of the stack (four total sampling ports) for large stacks, to permit use of shorter probe lengths. Mark the probe with heat resistant tape or by some other method to denote the proper distance into the stack or duct for each sampling point.

8.1.1.2 Select a total sampling time such that a minimum total gas volume of 0.60 scm (21 scf) will be collected, at a rate no greater than 0.021 m<sup>3</sup>/min (0.75 cfm). When both moisture content and pollutant emission rate are to be determined, the moisture determination shall be simultaneous with, and for the same total length of time as, the pollutant emission rate run, unless otherwise specified in an applicable subpart of the standards.

#### 8.1.2 Preparation of Sampling Train.

8.1.2.1 Place known volumes of water in the first two impingers; alternatively, transfer water into the first two impingers and record the weight of each impinger (plus water) to the nearest 0.5 g. Weigh and record the weight of

the silica gel to the nearest 0.5 g, and transfer the silica gel to the fourth impinger; alternatively, the silica gel may first be transferred to the impinger, and the weight of the silica gel plus impinger recorded.

8.1.2.2 Set up the sampling train as shown in Figure 4-1. Turn on the probe heater and (if applicable) the filter heating system to temperatures of approximately 120 °C (248 °F), to prevent water condensation ahead of the condenser. Allow time for the temperatures to stabilize. Place crushed ice and water in the ice bath container.

8.1.3 Leak Check Procedures. It is recommended, but not required, that the volume metering system and sampling train be leak-checked as follows:

8.1.3.1 Metering System. Same as Method 5, Section 8.4.1.

8.1.3.2 Sampling Train. Disconnect the probe from the first impinger or (if applicable) from the filter holder. Plug the inlet to the first impinger (or filter holder), and pull a 380 mm (15 in.) Hg vacuum. A lower vacuum may be used, provided that it is not exceeded during the test. A leakage rate in excess of 4 percent of the average sampling rate or 0.00057 m<sup>3</sup>/min (0.020 cfm), whichever is less, is unacceptable. Following the leak check, reconnect the probe to the sampling train.

8.1.4 Sampling Train Operation. During the sampling run, maintain a sampling rate within 10 percent of constant rate, or as specified by the Administrator. For each run, record the data required on a data sheet similar to that shown in Figure 4-3. Be sure to record the dry gas meter reading at the beginning and end of each sampling time increment and whenever sampling is halted. Take other appropriate readings at each sample point at least once during each time increment.

**NOTE:** When Method 4 is used concurrently with an isokinetic method (*e.g.*, Method 5) the sampling rate should be maintained at isokinetic conditions rather than 10 percent of constant rate.

8.1.4.1 To begin sampling, position the probe tip at the first traverse point. Immediately start the pump, and adjust the flow to the desired rate. Traverse the cross section, sampling at each traverse point for an equal length of time. Add more ice and, if necessary, salt to maintain a temperature of less than 20 °C (68 °F) at the silica gel outlet.

8.1.4.2 After collecting the sample, disconnect the probe from the first impinger (or from the filter holder), and conduct a leak check (mandatory) of the sampling train as described in Section 8.1.3.2. Record the leak rate. If

the leakage rate exceeds the allowable rate, either reject the test results or correct the sample volume as in Section 12.3 of Method 5.

## 8.2 Approximation Method.

**NOTE:** The approximation method described below is presented only as a suggested method (see Section 2.0).

8.2.1 Place exactly 5 ml water in each impinger. Leak check the sampling train as follows: Temporarily insert a vacuum gauge at or near the probe inlet. Then, plug the probe inlet and pull a vacuum of at least 250 mm (10 in.) Hg. Note the time rate of change of the dry gas meter dial; alternatively, a rotameter (0 to 40 ml/min) may be temporarily attached to the dry gas meter outlet to determine the leakage rate. A leak rate not in excess of 2 percent of the average sampling rate is acceptable.

**NOTE:** Release the probe inlet plug slowly before turning off the pump.

8.2.2 Connect the probe, insert it into the stack, and sample at a constant rate of 2 liters/min (0.071 cfm). Continue sampling until the dry gas meter registers about 30 liters (1.1 ft<sup>3</sup>) or until visible liquid droplets are carried over from the first impinger to the second. Record temperature, pressure, and dry gas meter readings as indicated by Figure 4-4.



## 9.0 Quality Control.

### 9.1 Miscellaneous Quality Control Measures.

Section	Quality Control Measure	Effect
Section 8.1.1.4	Leak rate of the sampling system cannot exceed four percent of the average sampling rate or 0.00057 m <sup>3</sup> /min (0.20 cfm).	Ensures the accuracy of the volume of gas sampled. (Reference Method)
Section 8.2.1	Leak rate of the sampling system cannot exceed two percent of the average sampling rate.	Ensures the accuracy of the volume of gas sampled. (Approximation Method)

9.2 Volume Metering System Checks. Same as Method 5, Section 9.2.

## 10.0 Calibration and Standardization.

**NOTE:** Maintain a laboratory log of all calibrations.

10.1 Reference Method. Calibrate the metering system, temperature sensors, and barometer according to Method 5, Sections 10.3, 10.5, and 10.6, respectively.

10.2 Approximation Method. Calibrate the metering system and the barometer according to Method 6, Section 10.1 and Method 5, Section 10.6, respectively.

## 11.0 Analytical Procedure.

11.1 Reference Method. Measure the volume of the moisture condensed in each of the impingers to the nearest

ml. Alternatively, if the impingers were weighed prior to sampling, weigh the impingers after sampling and record the difference in weight to the nearest 0.5 g. Determine the increase in weight of the silica gel (or silica gel plus impinger) to the nearest 0.5 g. Record this information (see example data sheet, Figure 4-5), and calculate the moisture content, as described in Section 12.0.

11.2 Approximation Method. Combine the contents of the two impingers, and measure the volume to the nearest 0.5 ml.

### *12.0 Data Analysis and Calculations.*

Carry out the following calculations, retaining at least one extra significant figure beyond that of the acquired data. Round off figures after final calculation.

#### 12.1 Reference Method

##### 12.1.1 Nomenclature.

$B_{ws}$  = Proportion of water vapor, by volume, in the gas stream.

$M_w$  = Molecular weight of water, 18.0 g/g-mole (18.0 lb/lb-mole).

$P_m$  = Absolute pressure (for this method, same as barometric pressure) at the dry gas meter, mm Hg (in. Hg).

$P_{std}$  = Standard absolute pressure, 760 mm Hg



(29.92 in. Hg).

- R = Ideal gas constant,  
0.06236 (mm Hg)(m<sup>3</sup>)/(g-mole)(°K) for metric  
units and 21.85 (in. Hg)(ft<sup>3</sup>)/(lb-mole)(°R)  
for English units.
- T<sub>m</sub> = Absolute temperature at meter, °K (°R).
- T<sub>std</sub> = Standard absolute temperature, 293 °K  
(528 °R).
- V<sub>f</sub> = Final volume of condenser water, ml.
- V<sub>i</sub> = Initial volume, if any, of condenser water,  
ml.
- V<sub>m</sub> = Dry gas volume measured by dry gas meter, dcm  
(dcf).
- V<sub>m(std)</sub> = Dry gas volume measured by the dry gas meter,  
corrected to standard conditions, dscm (dscf).
- V<sub>wc(std)</sub> = Volume of water vapor condensed, corrected to  
standard conditions, scm (scf).
- V<sub>wsg(std)</sub> = Volume of water vapor collected in silica gel,  
corrected to standard conditions, scm (scf).
- W<sub>f</sub> = Final weight of silica gel or silica gel plus  
impinger, g.
- W<sub>i</sub> = Initial weight of silica gel or silica gel  
plus impinger, g.
- Y = Dry gas meter calibration factor.
- )V<sub>m</sub> = Incremental dry gas volume measured by dry gas

meter at each traverse point, dcm (dcf).

$D_w$  = Density of water, 0.9982 g/ml  
(0.002201 lb/ml).

12.1.1.2 Volume of Water Vapor Condensed.

$$V_{wc(std)} = \frac{(V_f - V_i)\rho_w R T_{std}}{P_{std} M_w}$$

$$= K_1 (V_f - V_i)$$

**Eq. 4-1**

where:

$K_1$  = 0.001333 m<sup>3</sup>/ml for metric units,  
= 0.04706 ft<sup>3</sup>/ml for English units.

12.1.1.3 Volume of Water Collected in Silica Gel.

$$V_{wsg(std)} = \frac{(W_f - W_i) R T_{std}}{P_{std} M_w K_2}$$

$$= K_3 (W_f - W_i)$$

**Eq. 4-2**

where:

$K_2$  = 1.0 g/g for metric units  
= 453.6 g/lb for English units  
 $K_3$  = 0.001335 m<sup>3</sup>/g for metric units,  
= 0.04715 ft<sup>3</sup>/g for English units.

12.1.1.4 Sample Gas Volume.

$$\begin{aligned}
 V_{m(\text{std})} &= \frac{V_m Y P_m T_{\text{std}}}{P_{\text{std}} T_m} \\
 &= K_4 Y \frac{V_m P_m}{T_m}
 \end{aligned}
 \tag{Eq. 4-3}$$

where:

$$\begin{aligned}
 K_4 &= 0.3855 \text{ }^\circ\text{K/mm Hg for metric units,} \\
 &= 17.64 \text{ }^\circ\text{R/in. Hg for English units.}
 \end{aligned}$$

**NOTE:** If the post-test leak rate (Section 8.1.4.2) exceeds the allowable rate, correct the value of  $V_m$  in Equation 4-3, as described in Section 12.3 of Method 5.

#### 12.1.5 Moisture Content.

$$B_{\text{ws}} = \frac{V_{\text{wc}(\text{std})} + V_{\text{wsg}(\text{std})}}{V_{\text{wc}(\text{std})} + V_{\text{wsg}(\text{std})} + V_{m(\text{std})}}
 \tag{Eq. 4-4}$$

12.1.6 Verification of Constant Sampling Rate. For each time increment, determine the  $V_m$ . Calculate the average. If the value for any time increment differs from the average by more than 10 percent, reject the results, and repeat the run.

12.1.7 In saturated or moisture droplet-laden gas streams, two calculations of the moisture content of the stack gas shall be made, one using a value based upon the

saturated conditions (see Section 4.1), and another based upon the results of the impinger analysis. The lower of these two values of  $B_{ws}$  shall be considered correct.

12.2 Approximation Method. The approximation method presented is designed to estimate the moisture in the stack gas; therefore, other data, which are only necessary for accurate moisture determinations, are not collected. The following equations adequately estimate the moisture content for the purpose of determining isokinetic sampling rate settings.

#### 12.2.1 Nomenclature.

- $B_{wm}$  = Approximate proportion by volume of water vapor in the gas stream leaving the second impinger, 0.025.
- $B_{ws}$  = Water vapor in the gas stream, proportion by volume.
- $M_w$  = Molecular weight of water, 18.0 g/g-mole (18.0 lb/lb-mole).
- $P_m$  = Absolute pressure (for this method, same as barometric pressure) at the dry gas meter, mm Hg (in. Hg).
- $P_{std}$  = Standard absolute pressure, 760 mm Hg (29.92 in. Hg).
- $R$  = Ideal gas constant,  
0.06236 [(mm Hg)(m<sup>3</sup>)]/[(g-mole)(K)]

for metric units and

21.85 [(in. Hg)(ft<sup>3</sup>)]/[(lb-mole)(°R)] for  
English units.

$T_m$  = Absolute temperature at meter, °K (°R).

$T_{std}$  = Standard absolute temperature, 293 °K  
(528 °R).

$V_f$  = Final volume of impinger contents, ml.

$V_i$  = Initial volume of impinger contents, ml.

$V_m$  = Dry gas volume measured by dry gas meter,  
dcm (dcf).

$V_{m(std)}$  = Dry gas volume measured by dry gas meter,  
corrected to standard conditions, dscm (dscf).

$V_{wc(std)}$  = Volume of water vapor condensed, corrected to  
standard conditions, scm (scf).

$Y$  = Dry gas meter calibration factor.

$D_w$  = Density of water, 0.09982 g/ml  
(0.002201 lb/ml).

#### 12.2.2 Volume of Water Vapor Collected.

$$V_{wc(std)} = \frac{(V_f - V_i)\rho_w R T_{std}}{P_{std} M_w}$$

$$= K_5 (V_f - V_i)$$

**Eq. 4-5**

where:

$K_5$  = 0.001333 m<sup>3</sup>/ml for metric units,  
= 0.04706 ft<sup>3</sup>/ml for English units.

## 12.2.3 Sample Gas Volume.

$$\begin{aligned}
 V_{m(\text{std})} &= \frac{V_m Y P_m T_{\text{std}}}{P_{\text{std}} T_m} \\
 &= K_6 Y \frac{V_m P_m}{T_m}
 \end{aligned}$$

Eq. 4-6

where:

$$\begin{aligned}
 K_6 &= 0.3855 \text{ }^\circ\text{K/mm Hg for metric units,} \\
 &= 17.64 \text{ }^\circ\text{R/in. Hg for English units.}
 \end{aligned}$$

## 12.2.4 Approximate Moisture Content.

$$\begin{aligned}
 B_{ws} &= \frac{V_{wc(\text{std})}}{V_{wc(\text{std})} + V_{m(\text{std})}} + B_{wm} \\
 &= \frac{V_{wc(\text{std})}}{V_{wc(\text{std})} + V_{m(\text{std})}} + (0.025)
 \end{aligned}$$

Eq. 4-7

13.0 *Method Performance.* [Reserved]14.0 *Pollution Prevention.* [Reserved]15.0 *Waste Management.* [Reserved]16.0 *Alternative Procedures.*

The procedure described in Method 5 for determining moisture content is acceptable as a reference method.

17.0 *References.*

1. Air Pollution Engineering Manual (Second Edition). Danielson, J.A. (ed.). U.S. Environmental Protection

Agency, Office of Air Quality Planning and Standards.  
Research Triangle Park, NC. Publication No. AP-40. 1973.

2. Devorkin, Howard, et al. Air Pollution Source  
Testing Manual. Air Pollution Control District, Los  
Angeles, CA. November 1963.

3. Methods for Determination of Velocity, Volume, Dust  
and Mist Content of Gases. Western Precipitation Division  
of Joy Manufacturing Co. Los Angeles, CA. Bulletin WP-50.  
1968.

*18.0 Tables, Diagrams, Flowcharts, and Validation Data.*

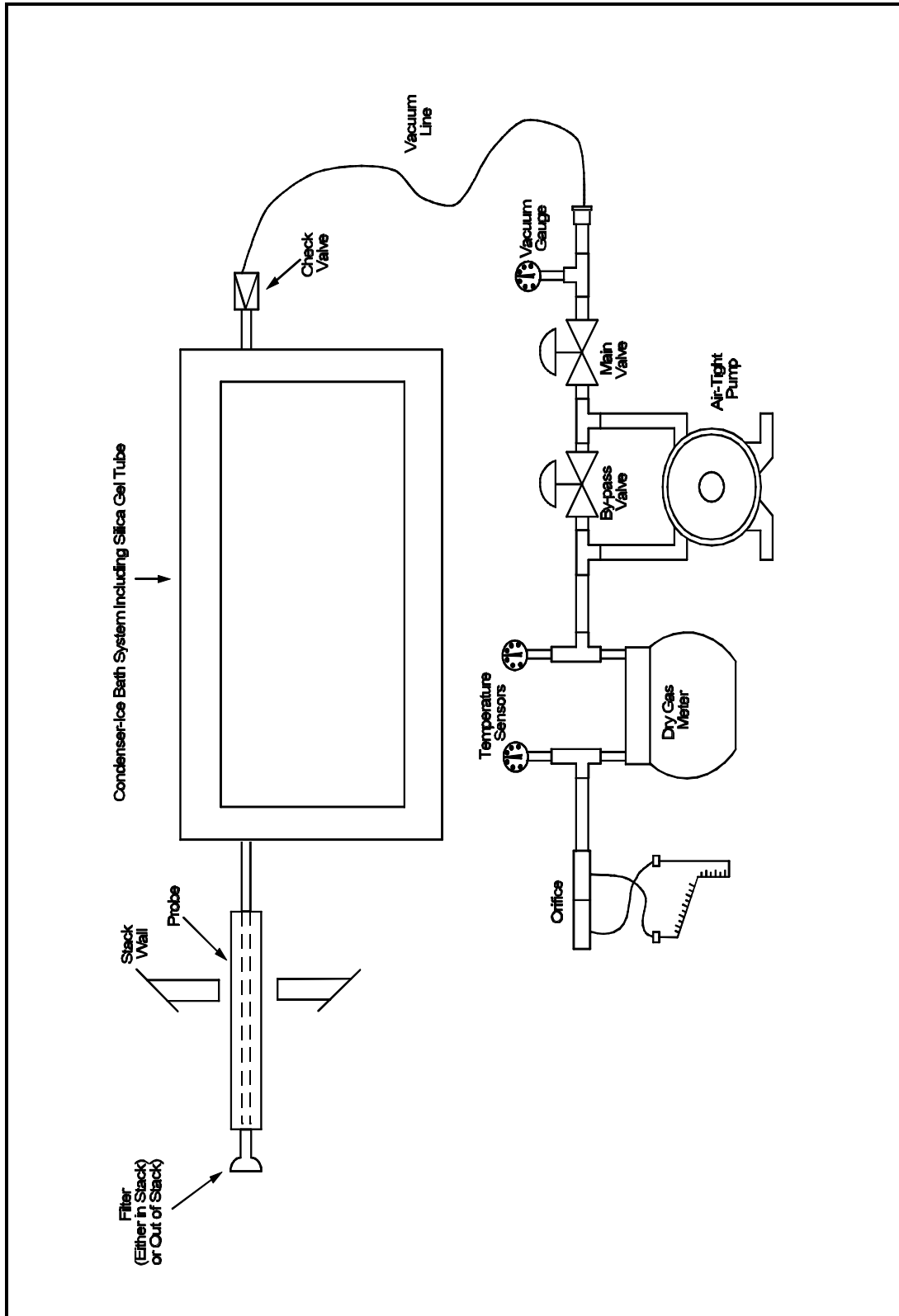


Figure 4-1. Moisture Sampling Train-Reference Method



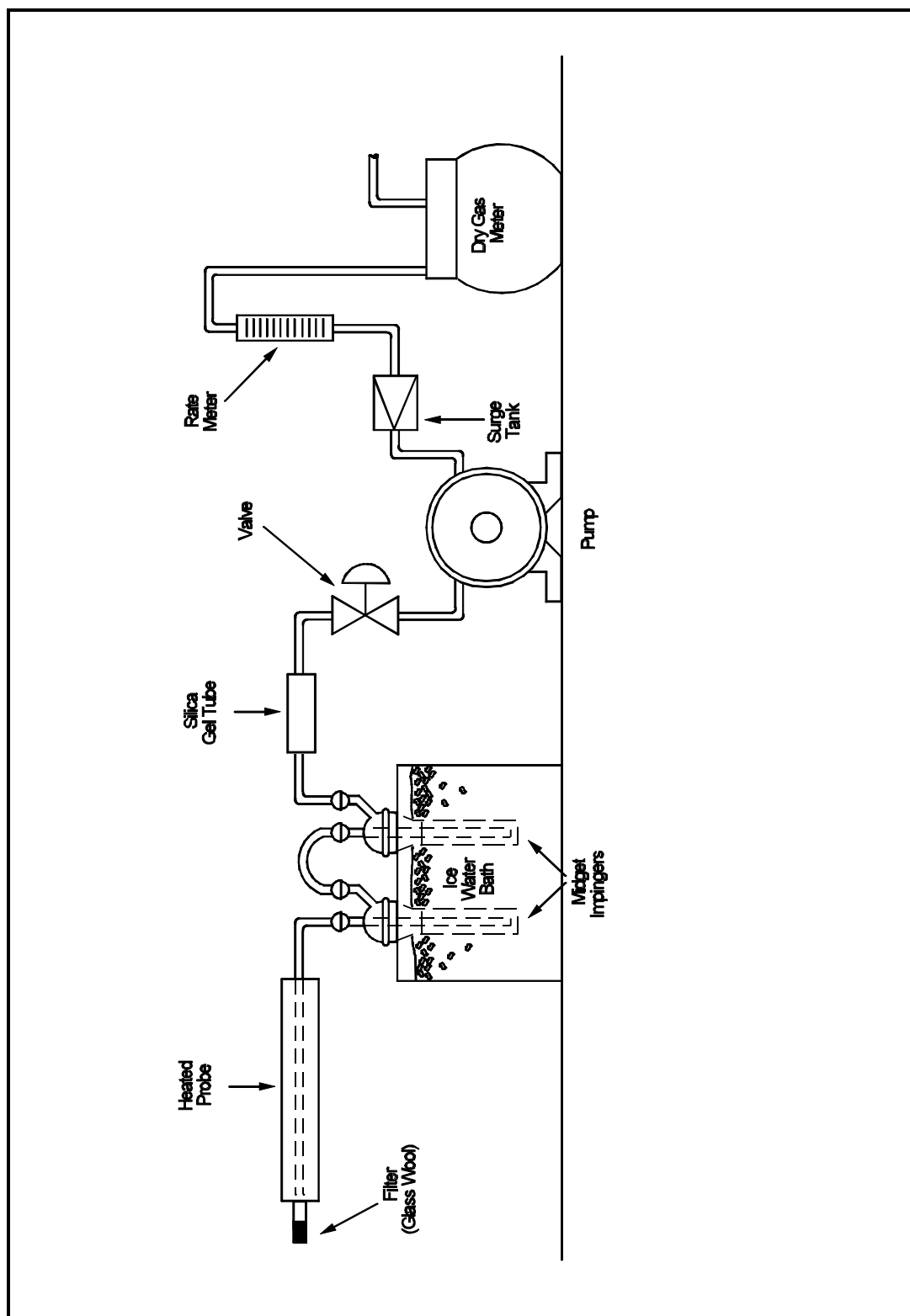
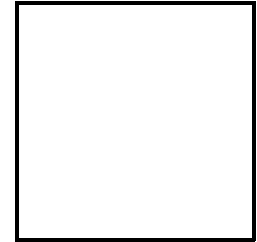


Figure 4-2. Moisture Sampling Train - Approximation Method.

Plant \_\_\_\_\_  
 Location \_\_\_\_\_  
 Operator \_\_\_\_\_  
 Date \_\_\_\_\_  
 Run No. \_\_\_\_\_  
 Ambient temperature \_\_\_\_\_  
 Barometric pressure \_\_\_\_\_  
 Probe Length \_\_\_\_\_



SCHMATIC OF STACK CROSS SECTION

Traverse Pt. No.	Sampling Time (1), min	Stack Temperature °C (°F)	Pressure differential across orifice meter )H mm (in.) H <sub>2</sub> O	Meter Reading gas sample volume m <sup>3</sup> (ft <sup>3</sup> )	)V <sub>m</sub> m <sup>3</sup> (ft <sup>3</sup> )	Gas sample temperature at dry gas meter		Temperature of gas leaving condenser or last impinger °C (°F)
						Inlet T <sub>m<sub>in</sub></sub> °C (°F)	Outlet T <sub>m<sub>out</sub></sub> °C (°F)	
Average								

Figure 4-3. Moisture Determination. - Reference Method

Location \_\_\_\_\_ Comments:  
 Test \_\_\_\_\_  
 Date \_\_\_\_\_  
 Operator \_\_\_\_\_  
 Barometric pressure \_\_\_\_\_

Clock Time	Gas volume through meter, ( $V_m$ ), $m^3$ ( $ft^3$ )	Rate meter setting $m^3/min$ ( $ft^3/min$ )	Meter temperature $^{\circ}C$ ( $^{\circ}F$ )

Figure 4-4. Example Moisture Determination Field Data Sheet - Approximation Method.

	Impinger volume, ml	Silica gel weight, g
Final		
Initial		
Difference		

Figure 4-5. Analytical Data - Reference Method.

EK-3: Seviye ölçüm sisteminin 400 sabit adımdaki 500 deneme sonucu

401	401	401	400	400	400	400	400	400	400
400	400	399	400	400	400	400	400	400	400
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
400	400	401	400	400	400	401	400	400	400
399	400	400	400	400	400	400	400	400	400
401	400	400	400	400	400	399	400	400	400
400	400	400	400	400	400	401	400	400	400
400	401	401	400	400	400	400	400	400	400
400	399	399	400	400	400	400	400	400	400
400	400	400	400	400	400	401	400	400	400
400	400	400	400	400	400	399	400	400	400
399	400	401	400	400	400	401	400	400	400
401	399	400	400	400	400	400	400	400	400
400	400	400	400	400	400	399	400	400	400
400	400	400	400	400	400	401	400	400	400
400	400	401	400	400	401	399	400	400	400
400	400	399	400	400	400	401	400	400	400
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
400	400	401	400	400	401	400	400	400	400
400	400	400	400	400	399	400	400	400	400
399	400	400	400	400	400	400	400	400	400
401	400	401	400	400	401	400	400	400	400
400	401	400	400	400	399	401	400	400	400
400	400	400	400	400	401	399	400	400	400
400	400	401	400	400	399	401	400	400	400
400	400	399	400	400	400	400	400	400	400
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
400	400	400	400	400	401	400	400	400	400
401	401	401	400	400	400	400	400	400	400
399	399	401	400	400	400	400	400	400	400
401	400	400	400	400	400	401	400	400	400
400	401	400	400	400	400	399	400	400	400
400	399	400	400	400	400	401	400	400	400
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
400	401	401	400	400	401	400	400	400	400
400	400	400	400	400	400	399	400	400	400
400	400	400	400	400	399	401	400	400	400
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
401	400	400	400	400	401	400	400	400	400
400	400	400	400	400	400	401	400	400	400
399	400	399	400	400	400	399	400	400	400
401	401	400	400	400	400	400	400	400	400
400	400	400	400	400	400	401	400	400	400
399	399	400	400	400	400	400	400	400	400
401	401	401	400	400	400	400	400	400	400
400	400	400	400	400	401	400	400	400	400
400	400	400	400	400	399	400	400	400	400
400	400	400	400	400	401	401	400	400	400
400	400	400	400	400	399	399	400	400	400

EK-4: Su seviye ölçüm sisteminin referans butona göre gerçekleştirilen 500 ölçüm sonucu

1	207	51	211	101	214	151	218	201	221	251	224	301	228	351	232	401	237	451	239
	207		211		214		218		221		225		228		231		236		240
	207		211		214		218		221		224		228		232		236		240
	208		210		214		218		221		224		228		231		237		241
	208		210		214		218		221		224		229		233		236		241
	209		211		215		219		220		224		229		230		236		240
	209		211		215		218		221		224		229		232		237		240
	209		210		215		219		222		225		228		233		237		240
	209		212		215		218		221		225		229		232		237		241
	208		211		215		219		221		224		228		233		236		240
	209		211		215		219		221		224		228		232		236		240
	208		213		215		220		221		225		228		232		237		240
	209		212		215		220		221		225		228		231		237		241
	209		212		215		220		221		225		229		231		237		240
	209		212		215		219		222		225		229		232		237		240
	209		212		215		219		222		225		229		232		237		241
	209		212		216		219		222		224		228		232		237		240
	209		212		216		219		221		225		229		231		237		240
	209		213		215		219		221		224		229		232		237		241
	208		212		215		219		221		225		229		232		238		242
	208		212		216		219		221		225		229		231		238		242
	208		212		216		219		222		225		230		232		239		241
	209		212		216		219		222		225		230		231		238		242
	209		213		216		219		221		224		230		232		238		242
	209		212		216		219		222		225		230		232		238		242
	209		212		216		219		222		224		230		233		238		242
	208		212		217		219		222		225		231		234		239		241
	210		212		216		219		222		224		230		234		238		241
	209		213		217		219		222		224		230		233		238		242
	208		213		217		219		223		225		230		234		238		242
	209		213		217		220		222		226		230		234		238		242
	209		213		218		220		222		226		230		234		239		242
	209		213		217		220		222		226		231		233		238		242
	208		213		217		221		222		226		230		233		238		243
	208		213		217		220		222		227		230		233		238		242
	210		213		217		220		222		226		230		235		239		243
	209		213		218		220		222		226		230		235		239		242
	209		214		217		220		223		225		230		235		239		243
	210		214		217		220		223		225		230		236		238		243
	209		214		218		220		222		226		231		235		239		243
	209		214		217		220		223		226		231		235		238		243
	209		214		218		220		223		227		231		234		238		243
	211		213		218		220		223		227		230		235		238		244
	209		214		218		220		224		226		231		236		239		244
	209		213		218		220		224		227		231		236		240		245
	209		213		218		221		224		227		232		236		239		244
	210		214		217		220		225		228		232		235		238		244
	210		214		218		220		225		227		231		235		239		245
	211		213		218		220		224		228		230		235		239		244
50	211	100	214	150	218	200	221	250	224	300	228	350	231	400	236	450	238	500	245