

Nem Ölçerlerin Endüstrideki Yeri

Erdem ALIÇ^{1*}, Önder KAŞKA², Onur BOR²

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 46400, Kahramanmaraş

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 81000, Osmaniye

(Alınış / Received: 17.09.2018, Kabul / Accepted: 13.02.2019)

Anahtar Kelimeler

Nem Ölçer,
Higrometre,
Psikometre,
Bağıl nem,
Çiğ noktası sıcaklığı.

Özet: Nem ölçüm cihazları endüstride birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Teknik personel olarak çalışanların bu cihazların özelliklerini iyi bilmesi gerekmektedir. Bu cihazlar oldukça hassaslardır. Kullanıcının teknik yeterliliği hassas ölçümler için önem arz etmektedir. Her biri birbirinden farklı özelliklere sahip birçok nem ölçme cihazı geliştirilmiştir.

Bu çalışmada elektronik ve elektronik olmayan nem ölçerlerin fiziki ve mekanik yapıları, işlev ve görevleri, benzerlikleri ve farklılıkları, üstünlükleri ve zayıflıkları incelenmiştir. Nem ölçüm cihazlarının kullanımı sırasında bilmesi gerekenler tüm detaylara yer verilmiştir. Nem ölçüm cihaz çeşitleri ve literatürdeki uygulamaları ele alınmıştır.

Moisture Meters In The Industry

Keywords

Hygrometer,
Moisture Meter,
Psychrometer,
Relative humidity,
Dew point temperature.

Abstract: Moisture measuring devices are widely used in many industries. Employees of technical personnel should know the characteristics of these devices. These devices are very sensitive. The technical competence of the user is important for precise measurements. Many moisture measuring devices have been developed, each with different properties.

In this study, physical and mechanical structures, functions, similarities and differences, advantages and weaknesses of electronic and non-electronic moisture meters were investigated. All details that need to be known during the use of moisture measuring devices are given. Moisture measurement device types and their applications in literature are discussed.

1. Giriş

Ortam havasının nem miktarını ölçen cihazlarda kullanılan algılayıcılar, bağıl nem, yaş termometre sıcaklığı, özgül nem ve çiğlenme noktası sıcaklığı gibi farklı fiziksel özelliklere karşı hassasiyete sahiptirler. Bu hassasiyetten dolayı bu cihazlarla ölçüm yapılır. Çizelge 1'de pratikte çok kullanılan nem ölçüm cihazları görülmektedir. Bu cihazların tamamı, belirli şartlar altında ve belirli sınırlar içinde doğru ve hassas ölçüm yapabilme duyarlılığına sahiptir [1].

Yoğuşma prosesinin analizi birçok mühendislik uygulamasında büyük öneme sahiptir. Özellikle nemli havadaki su buharının yoğuşması soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında sık karşılaşılan bir

konudur. Bu nedenle makineleşme çağı dediğimiz 19. YY' dan itibaren nem ölçerlerde hızlı bir gelişim göstermiştir.

Atmosferik hava; Hava azot, oksijen, karbondioksit, ozon ve az miktarlardaki başka gazlardan meydana gelen bir karışımdır. Atmosfer içindeki hava muhteviyatı sebebiyle bir miktar su buharı (veya nem) içerir ve bu yüzden atmosferik hava diye ifade edilir. Diğer yandan içinde su buharı olmayan hava ise kuru hava olarak isimlendirilir. Bu makale kapsamında T, °C olarak havanın sıcaklığı ve ΔT sıcaklık değişimi olarak ifade edilmiştir. Herhangi bir iklimlendirme uygulamasında özellikle entalpi değişimleri (Δh) üzerinde durulur ve bu değişim seçilen referans sıcaklığından bağımsızdır [2].

Bir buharın sıcaklığı, doyma sıcaklığının altına indirilirse, yoğuşma gerçekleşir. Endüstriyel cihazlarda bu işlem çoğunlukla, buhar ile serin bir yüzeyin temasından kaynaklanır. Buhar gizli ısıyı bırakır, bu ısı yüzeye doğru geçer ve sıvı oluşumu gerçekleşir. Çok rastlanan diğer yoğuşma türleri, buharın, bir gaz fazı içinde asılı damlacıklar halinde yoğuşarak, bir sisli ortam oluşturduğu düzgün dağılımlı yoğuşma ve buharın, bir soğuk akışkan ile temas ettirilmesiyle oluşan, doğrudan temaslı yoğuşmadır [3].

Tablo 1. Nem duyar elemanlarının özellikleri [1].

Duyar Eleman Tipi	Sınıfı	Ölçüm Aralığı	Yaklaşık Doğruluk
Dunmore Tipi	Elektriksel	5~60 °C, % 7~98 bn	± % 1.5 bn
Yüzey akustik dalga	Elektriksel	% 85~98 bn	± % 1 bn
İyon değiştiröe reçinesi	Elektriksel	-40~90 °C, % 10~100 bn	± % 5 bn
Alüminyum oksit	Elektriksel	-80~60 °C çn	1 °C çn
Alüminyum oksit	Elektriksel	% 5~100 bn	± % 3 bn
Gözenekli seramik	Elektriksel		
Elektrolitik Higrometre	Elektriksel		
Kızıl ötesi lazer diyot	Elektriksel	0.1~100 ppm	± 0.1 ppm
Saç	Mekanik	% 5~100 bn	± % 5 bn
Selülozik maddeler	Mekanik	% 5~100 bn	± % 5 bn
Naylon	Mekanik	% 5~100 bn	± % 7 bn
Dacron lifi	Mekanik	% 5~100 bn	± % 7 bn
Altın varak	Mekanik	% 5~100 bn	± % 7 bn
Karbon Duyar Eleman	Mekanik	% 5~100 bn	± % 7 bn
Piezoelektrik	Kütle değişimi	- 80~-20°C	± % 1~±5 °C bn
Renk değişimi	Fiziksel	% 10~80 bn	± % 10 bn
Buğulu Ayna	Çiğ noktası	-80~95°C çn	± 0.2~ 2 °C çn
Isıtılmış doymuş tuz çözeltisi	Su buharı basıncı	-30~70°C	1.5 °C çn
Gravimetrik	Karışım oranının direkt ölçümü		Okumada ±% 0.13
Coulometrik	Elektrolitik hücre	1-1000 ppm	
Psikometre	Buharlaşmalı serinletme	0~80°C	± %3~ ±%7 bn
Adyabatik doyma psikometresi	Buharlaşmalı serinletme	5~30°C	± %0.2~ ±%2 bn
Işınım yutulması	Nem yutulması	-20~80°C çn	± %2~ ±%5 çn

2. Materyal ve Metot

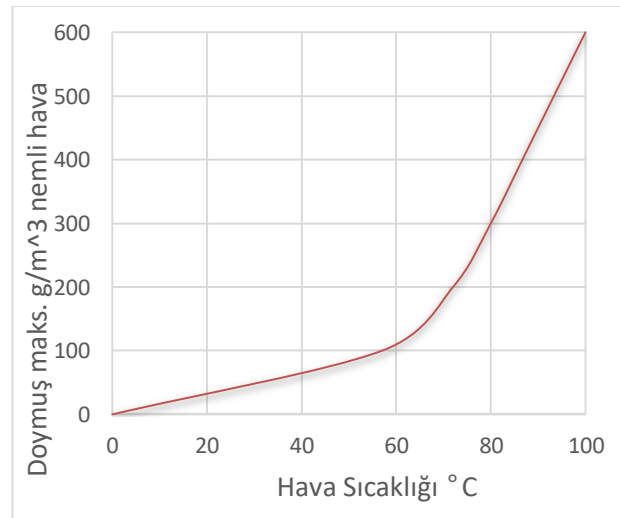
Sıcaklığın yanı sıra, nem de oldukça önemli bir işlem elemanıdır. Örneğin iplik üretiminde nemin olması gerekenden fazla veya eksik olması üretim sırasında veya kullanım sırasında ipliğin daha kolay kopmasına sebep olacak bu da ilk mamulden son mamule kadar kalitesi düşük bir üretim gerçekleşmesine sebep olabilecektir.

Burada nem ölçerlerle ilgili bilgi verilmeden önce, nemi daha iyi tanıyabilmemiz için bazı bilmemiz gerekenlerden bahsetmek gerekir. Bunlar Dalton kuralı, Amagat kuralı, doymuş su buhar basıncı, çiğ noktası, bağıl nem, mutlak nem, kuru termometre sıcaklığı ve yaş termometre sıcaklığıdır.

Dalton'un kısmi basınçlar yasası; bir gaz karışımının basıncı, karışanların karışım sıcaklığında olmaları ve ayrı ayrı toplam hacmi kaplamaları durumunda sahip olacakları basınçların toplamıdır [2].

Amagat'ın kısmi basınçlar yasası; bir gaz karışımının hacmi, karışanların karışım sıcaklığı ve basıncında olmaları durumunda ayrı ayrı kaplayacakları hacimlerin toplamıdır [2].

Doymuş su buhar basıncı; hava kendi sıcaklığına bağlı olarak belirli bir miktarda su buharının emilimi ve saklanması kabiliyetine sahiptir. Bu su buharı emilimi ve saklama kabiliyeti sıcaklığın artması ile artar. Herhangi bir kısmi sıcaklıkta ölçülen su buharı basıncı ki kısmi buhar basıncı diye adlandırılır ve doymuş su buharı basıncı P_{doy} (P_{doy} =Doyma Buhar Basıncı) olarak tasarlanan doymuşluk limitine kadar artabilir. Burada diğer gazların, bileşenlerin varlığı ve atmosferik basınç suyun buhar basıncında herhangi bir etkiye sahip değildir. Doymuş su buharı basıncı eğrisini, farklı sıcaklıklardaki su buharı içeriğinin maksimum doymuşluğunu gösteren grafik Şekil 1'de verilmiştir [4].



Şekil 1. Su buharı basıncı eğrisi [4].

Çiğ noktası sıcaklığı; atmosferik havanın sabit basınç altında soğutulduğunda yoğuşmanın başladığı sıcaklık diye ifade edilir. Daha kısa ifade etmek gerekirse, çiğ noktası sıcaklığı suyun söz konusu buhar basıncındaki doyma sıcaklığıdır [2].

Bağıl nem; kuru olmayan hava içerisinde muhakkak bir miktar su buharı içerir, bu havanın içerdiği su buharı miktarının, aynı sıcaklıktaki aynı ortamdaki havada bulunabilecek en fazla su buharı miktarının oranına bağıl nem denir [2]. Aşağıdaki denklem 1'de yer alan ifade bağıl (f) nemi gösterir. Havadaki su buharı kütlesi (mv) ve aynı sıcaklıkta maksimum bulunabilecek su kütlesi ise (mg) ile ifade edilir. Bağıl nem ayrıca basınçların oranı ile de hesaplanabilir.

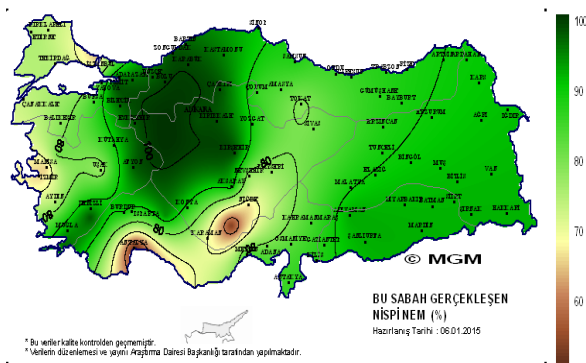
$f = 0$ ise kuru hava;

$0 < f < 1$ ise nemli hava

$f = 1$ ise doymuş hava olarak isimlendirilir.

$$f = \frac{mv}{mg} = \frac{PvV / RvT}{PgV / RvT} = \frac{Pv}{Pg} \quad (1)$$

Mühendislik hesaplamalarında bağıl nem kullanılır. Çünkü iç ortam (konut, mağaza, iş yeri, buzhane, depo vb.) için gerekli olan ortam şartı, ekseriyetle bağıl nemdir. Ortam sıcaklığının kontrolü bağıl nem kadar önemli değildir. Bu yüzden sağlanması istenen ortam şartı, ortam sıcaklığı ne olursa olsun, bağıl nemin sabit olmasıdır. Ortaya çıkan bu durumda iç ortamdaki özgül nem değeri, dış ortamdaki daha düşük olacaktır. Yine de iç ortamdaki özgül nem değerinin belirlenebilmesi için bağıl nem ile birlikte sıcaklığında bilinmesi gereklidir [5].



Şekil 2. Türkiye Bağıl (nispi) nem verileri Mutlak nem; Birim hacim havada bulunan su buharı kütesidir. Birimi g/m^3 olarak ifade edilir [6].

Kuru termometre sıcaklığı; normal termometrelerde, termometre ucunun açık olması ile ölçülen hava sıcaklığı anlamına gelir [7].

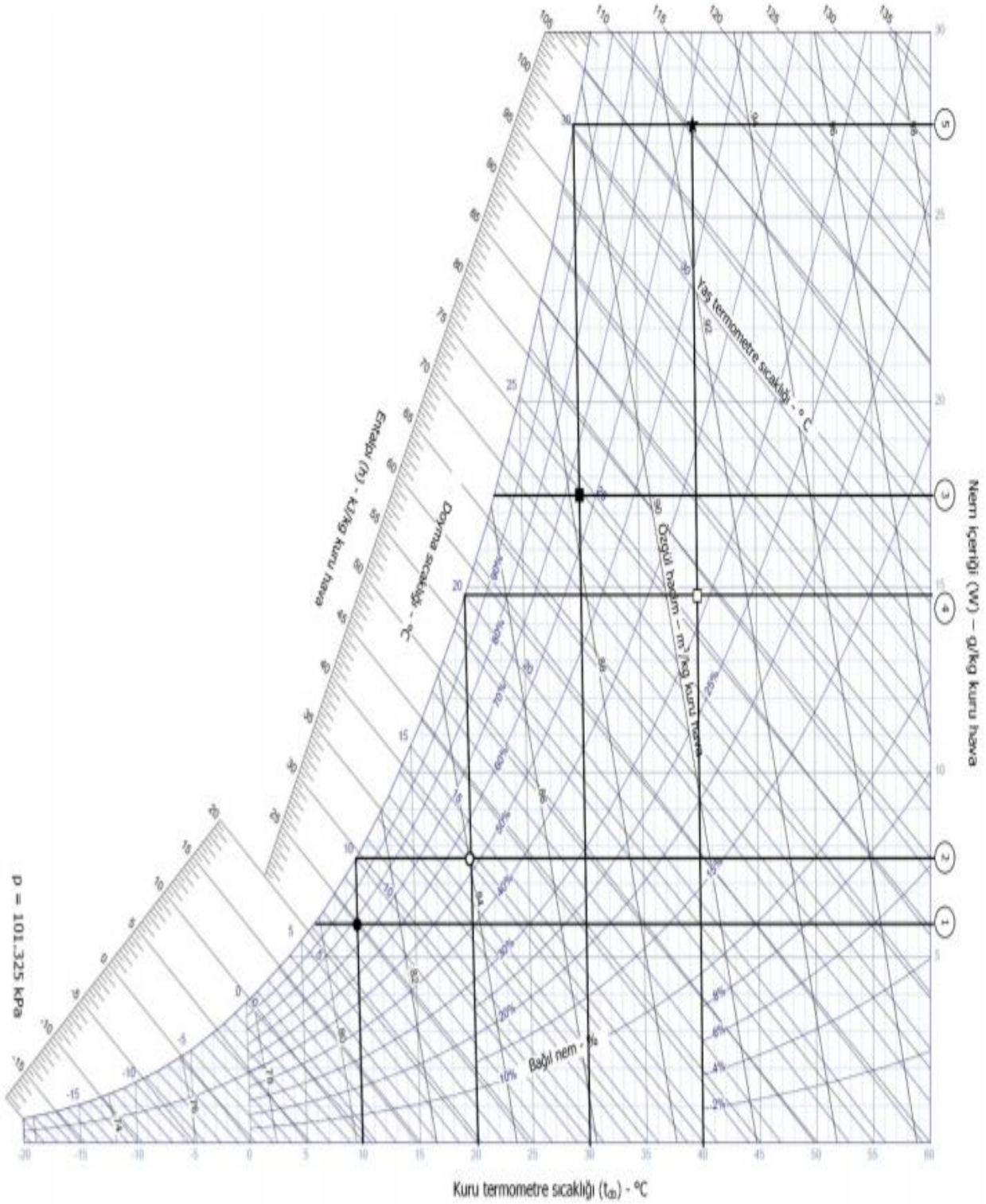
Yaş termometre sıcaklığı; termometrenin ıslak bir bezle vb, kaplı olarak hava akımına maruz bırakılmasıyla ölçülür. Yaş termometre sıcaklığı ölçümünde doymuş hava değeri sıfır ise yani ortamda su buharı bulunmuyorsa kuru termometre sıcaklığı ile yaş termometre sıcaklığı birbirine eşittir [7].

Yukarıdaki bilgileri öğrenen bir mühendis artık nem ölçüm işine geçebilir. Havadaki nemi ölçmek için birçok farklı yöntem kullanılır. En uygun yöntemin seçilmesi lokal duruma bağlı olarak mühendis tarafından yapılır. Örneğin Şekil 2' de Türkiye'nin bağıl nem haritası verilmiştir. Mühendisin bulunduğu bölgenin bağıl nem değerlerini göz önünde bulundurarak dizayn yapması gerekir. Basit ancak doğru şekilde nem ölçüm cihazının kullanımı daha iyi doğruluğa ulaşılmasına ve özel gereksinimlerin karşılanmasına izin verir. Genel bir yardım sağlamak amacıyla, en iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan bazı nem ölçüm yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

2.1. Psikometrik ölçüm cihazları

Psikometri kelime anlamı ile nemli havadaki işlemler, şartlar ile ilgilenen ve nemli havanın termodinamik özelliklerini kullanarak hesap yapılan termodinamiğin bir dalıdır. Psikometrik yöntem bağıl nemi doğrudan ölçer. Bu yöntem ısı değişimi prensibine bağlıdır.

Çeşitli ifadeler yardımıyla hesaplanan nemli havaya ait termodinamik özellikler tek bir grafik halinde gösterilebilir. Bu tüm özellikleri gösteren grafiğe psikometrik diyagram ismi verilmiştir. Bu diyagram vasıtası ile iklimlendirme ve havalandırma problemlerinde karşılaşılan sorunları analiz etmek, hepsi de sonuç verebilen farklı değerler içerisinde en iyi olanını belirlemek veya türlü çözüm yöntemlerinin birbirlerinden farkını bulmak mümkündür.

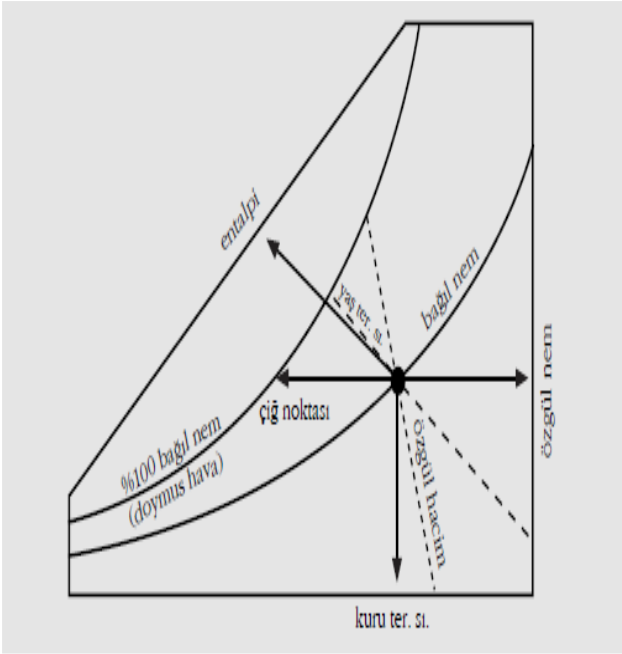


Şekil 3. Psikrometrik diyagram[15]

Psikometrik diyagram ilk defa 1923 yılında (Mollier) tarafından yapılmıştır. Birçok özelliğin diyagram üzerinde bir doğru olarak gösterilmesine imkân sağlaması bakımından koordinat eksenleri olarak, nem oranı ve entalpi özellikleri kullanılmıştır. Şekil 3'te psikometrik diyagram verilmiştir.

Diyagramın düzenlenmesi için XYZ eksen takımı seçilmiştir. Ordinat eksenini, belirli bir ölçekte havanın

nem oranını [W: gr/kg (kuru hava)] ve aynı zamanda P (P: Basınç) olarak su buharı kısmi basıncını gösterir. Bu eksen ile aralarında yaklaşık 50° olacak şekilde eğik bir eksen üzerinde entalpi [h: kJ/kg (kuru hava)] gösterilmiştir. Diyagramın alanını genişletmek amacı ile entalpi eksenini, kendisine paralel olarak yukarı doğru yeterince ötelendirilmiştir. Apsis eksenini olarak T kuru termometre sıcaklıkları gösterilmiştir [10].



Şekil 4. Psikrometrik diyagramda, herhangi bir durumdaki havanın özellikleri[10].

Psikometre iki bağımsız sıcaklık probundan oluşur, bir tanesi yaş termometre probu olarak kullanılır ve diğeri de kuru termometre probu olarak kullanılır. Yaş termometre probu bir fitil gibi davranan ince doku ile çevrelenmiş ve suya doymuştur.

Hava akışı bu probun üzerinden geçmelidir ve belirli miktarda su buharı, hava sıcaklığı ve neme bağlı olarak havada buharlaşır. Bu yaş termometrelerin yüzeyinde soğuk etki yapar (yaş termometre sıcaklığı).

Aynı zamanda ikinci sıcaklık probu ortam hava sıcaklığını (kuru termometre sıcaklığı) ölçer. Bu şekilde belirlenen psikometrik sıcaklık farkı kuşatan havanın bağıl nemi için bir ölçümü ifade eder.

Psikometrik diyagramın doğru şekilde kullanılması ile hava neminin doğru şekilde belirlenmesi sağlanır. Örneğin, Assmann aspiratörlü psikometre uluslararası referans ve kontrol cihazı olarak kullanılabilir. Yayı çalışan bir iç fan termometrelerin etrafında yaklaşık 3 m/sn [metre/saniye] sabit ortalama hava hızını sağlar. Sıcaklık farklı iki kalibre edilmiş cam termometrede okunur. Şekil 8'de Assmann model emme psikometre yer almaktadır.



Şekil 5. Emme Psikometre Model Assmann [8].

Sonuç bir tabloya veya bir psikometre diyagramına göre manuel olarak değerlendirilir. Şekil 4'te psikometrik diyagramın nasıl okunacağını göstermektedir. Artan doğruluk için 0.1°C de Alman meteoroloji servisinin aspiratörlü psikometre tablolarını çalıştırmak mümkündür.



Şekil 6. Savurma Psikometre [8].

Aspiratörlü psikometreye ek olarak burada birçok farklı düzenleme vardır. Cam termometreli mekanik psikometrelerin uygulama alanı 60°C sıcaklığa kadar iklimsel aralık ile sınırlıdır. Bu tipteki enstrümanın avantajı hiçbir elektrik kaynağının gerekli olmamasıdır. Şekil 6'da savurma tipli psikometre yer almaktadır.

Elektrikli psikometreler daha kapsamlı uygulamalara sahiptir. Burada yaş ve kuru termometre sıcaklıkları PT100 dirençli termometreleri kullanılarak ölçülür. Mikroişlemci kontrollü göstergeler, kontrolörler ve kaydedicilerde Sprung formülü ile belirlenen göreceli nem daha sonradan uygun bir giriş devresi kullanılarak gösterilebilir veya doğrudan işlenebilir. Sıcaklık aralığı 0°C - 100 °C e kadar genişletilir.

Diğer nem ölçüm cihazlarına nazaran daha güvenli olan yapısı sayesinde psikometrik yöntem genelde kirlili ve korozyon gazlarının ve çözücülerin bulunduğu yerlerde ölçümlere izin verir. Elektrikli psikometreler örneğin et işleme ve peynir üretiminde uzun süreli ölçüm için kullanılır [4].

2.2. Higroskopik ölçüm cihazları

Higroskopik maddelerin boyutlarının değişmesi esasına dayanan metottur. (saçlı higrometre ve benzeri metotlar gibi). Piyasada genel adıyla kapasitif yöntem olarak bilinir. Günümüzde en çok kullanılan higrometreler, çiğ noktası higrometresi, tuz fazlı ısıtmalı higrometre, mekanik higrometre, polimer film kaplı elektronik higrometre, Dunmore higrometresi, iyon değişimli reçineli elektrikli higrometre, empedans tabanlı gözenekli seramiğe sahip elektronik higrometre, alüminyum oksit kapasitif sensörlü higrometre, elektrolitik higrometre, piezoelektrik sorpsiyonlu higrometre, spektroskopik (radyasyon absorpsiyonlu) higrometre ve gravimetrik higrometreler olarak birbirlerinden ayrılabilir. Şekil 7'de analog higrometre gösterilmektedir.



Şekil 7. Analog Higrometre [12].

Kapasitif yöntem; Çimento, silis, gıda, seramik, kimya ve ilaç endüstrisi gibi tüm sanayi dallarında, nem ölçümü gerekmektedir. Proseste yer alan kurutma, sertleştirme gibi kaliteye doğrudan etki edecek birçok işlemde nem, kontrol altında tutulması önemli arz eden bir parametredir. Nem ölçümü için geliştirilmiş birçok metot olmakla birlikte, kapasitif ölçme yöntemi, vakit kaybı olmaksızın en iyi ve en kaliteli sonuçları, en ekonomik şekilde verir [9].

Kapasitif yöntem genelde kondansatör prensibine dayanır. Nem sensörünün fonksiyonu su moleküllerinin emilimi veya uzaklaştırılması vasıtasıyla ince bir polimer filmin kapasitesindeki değişime bağlıdır.

Atmosferik nem içeriği sıcaklık geçişlerine bağlı olarak, su buharı gibi nem sensörünün higroskopik üst elektrotundan geçer ve aktif polimer filme ulaşır. Polimer film tarafından emilen su buharının miktarı nem sensörünün elektriksel özelliklerini değiştirir ve kapasitede değişim olarak görünür. Bu kapasite değişimi bağıl nemdeki değişim ile orantılıdır; bu elektronik sinyaller ile değerlendirilir ve standart çıkış sinyaline dönüştürülür. Elektronik sinyaller bireysel nem sensörünün temel kapasitesiyle eşleşmek zorundadır. Özel düzenleme ve azalan kütle miktarına kapasitif nem sensörleri çok hızlı cevap sağlar. Ayrıca bunlar hafif kir ve tozdan büyük ölçüde etkilenmezler.

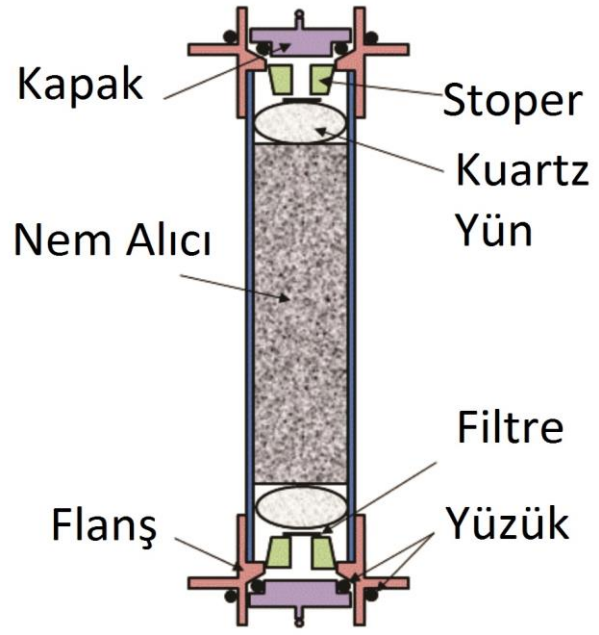
Kapasitif ölçüm yöntemlerine örnek vermek gerekirse iklim mühendisliğinde, korozyon gazlarının özelliklerine ve modeline bağlıdır. Çözücülerin yüksek konsantrasyonlarının olmadığı endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirler. Kapasitif nem sensörlerinin standart ölçüm aralığı genelde 10 — 90 % RH (bağıl nem) dir. Yüksek dereceli modeller 0 ve 100 % RH tam aralığında kullanıma izin verirler [4].

Çiğ noktası higrometresi; soğuk malzemelerin yüzeylerindeki yoğunlaşma ihtimalini (örnek olarak soğutma tavanlarındaki su gidiş boruları) direkt olarak kontrol etmek amacıyla kullanılır. Bu higrometreler, iletken bir film veya kapasite nemölçerlere benzer üretilmişlerdir ve direkt olarak soğuk yüzeye montajı yapılırlar. Yüzey sıcaklığı, ortam havasının çiğ noktası sıcaklığına yakınsa, sınır değerinin (sınır tabakasında bağıl nem %95) aşılması durumunda yoğunlaşma ihtimali olur[11].

Tuz fazlı ısıtmalı higrometre; Bu cihaz, genellikle bir sarmal bifilar elektrotlar için bir sargı, cam elyaf kumaş ile kaplanmış bir boru şekilli alt parçadan oluşur. Yüzeyi bir tuz çözeltisi, genellikle, lityum klorür ile kaplıdır. Sensör bir balasta ve 24 V (AA) kaynağına seri olarak bağlanır. Alet çalışırken, tuz filmi akan elektrik akımı ile sensörü ısıtır. Tuzlu su, elektrik direnci özellikleri doymuş bir solüsyona tekabül eden bir kritik rutubet muhtevastındaki tuz miktarı ile denge durumuna ulaşır. Higroskopik tuzlardan lityum klorür, suyu çok iyi bir biçimde, çözelti içerisindeki buhar basıncı ile hava arasında bir muvazene oluşturuncaya kadar emer. Lityum klorür ile, bu sensör aşağıdaki bağıl nem yaklaşık % 12 civarında (bu tuzun denge bağıl nem) ölçülmesi için kullanılır. Yaklaşık 70 °C' lik bir üst çiğlenme noktası limiti vardır. En yüksek hassasiyet ölçümleri -23 ve 34 °C arasında ve 40 °C üzerinde bir çiğlenme noktasında gerçekleşir [10]



Şekil 8. Gravimetrik higrometre için gaz gaz (solda) ve su (sağ) toplama tüpleri [14].



Mekanik higrometreler; pek çok organik maddenin nem ile boyutları değişir. Bu eylem, basit ve etkili bir nem göstergesi, kaydedicisi ve denetleyicisi olarak mekanik higrometrelerde kullanılır. Boyutsal ve yapısal değişim bir mekanik bağlantı aracılığıyla denetlenir. Bu denetimin sonucu pnömomatik veya elektronik sinyale çevrilir. Bu cihazlar, 0 ° C'nin altında, genel olarak güvenilir değildir. Tepkisi değişen bir işlemi izlemek için, genellikle yetersizdir ve aşırı neme maruz kaldığında önemli ölçüde etkilenebilir[10].

Polimer film kaplı elektronik higrometre; higroskopik malzemelerin çalışma prensibine göre çalışır, ekseriyetle neme karşı duyarlı olan naylon veya kabarcıklı polimer benzeri malzemelerden yapılır. Su buharına maruz kaldığında nemi absorbe eder ve genişir. Yine mekanik higrometreler gibi boyutsal ve yapısal değişim bir mekanik bağlantı aracılığıyla denetlenir. Bu denetimin sonucu pnömomatik veya elektronik sinyale çevrilir. [11].

Dunmore higrometresi; çevre atmosferiyle dengedeki bir tuzun direnci veya iletkenliğinin ölçümü esasına dayanır. Su, tuz tarafından emilirken veya atılırken, tuzun iletkenlik kabiliyeti değişir ve Dunmore higrometresi bu iletkenlik değişimini temel alarak ortamın nemini ölçer [10].

İyon değişimli reçineli elektrikli higrometre; Geleneksel bir iyon değişim reçinesi, çapraz bağlantı yapısı içinde, yüksek bağıl moleküler kütleye ve pozitif ya da negatif yüklü ve polar grupları olan bir polimer yapı ihtiva eder. Bu polar gruplar ile ilişkili sabit gruplar elektrostatik kuvvetler tarafından tutulur, bunlar karşıt yüke sahip iyonlardır. Su ya da su buharı varlığında, bir voltaj reçine üzerinde bu iyonları

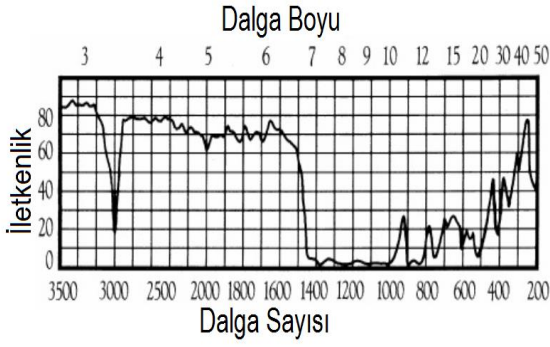
etkiler bu nedenle, iyonlar zamanla elektrolitik iletim kapasitesine sahip olur ve elektrostatik olarak düzenlenen iyonlar mobil hale gelir. Mobil hale gelen iyonlar elektrik sinyalleri ile ölçülür.

Empedans tabanlı gözenekli seramiğe sahip elektronik higrometre; neme duyarlı seramik oksitin absorpsiyon özelliğini kullanarak emilen suyun ve bağıl nemin miktarını belirleyen, elektronik ortama aktaran ölçme cihazıdır.

Alüminyum oksit kapasitif sensörlü higrometre; bu sensör anodize alüminyum şerit ve gözenekli bir oksit tabakasından oluşur. Bu sensörün bir elektrotunu alüminyum tabaka diğer elektrodunu ise çatlak krom ya da altın tabakası oluşturur. Oksitlenme esnasında adsorbe edilen su molekülü sayısı bir kapasitans ile belirlenir[10].

Elektrolitik higrometre; Kurutucu malzeme olarak bilinen fosfor pentaoksite gerilim uygulanırsa elektroliz gerçekleşir ve bu elektrolizin sonucu olarak uygulanan gerilimden dolayı ortaya çıkan akım oranı su buharı miktarını verir. Bu cihazlar genellikle 11 ile 1000 ppm arasında nem, hava oranı kullanım için tasarlanmıştır, ancak yüksek nem ile birlikte kullanılabilir [10].

Piezoelektrik sorpsiyonlu higrometre; bu higrometrede iki adet higroskopik kuvars kaplanmış kristal osilatör frekans değişikliklerini karşılaştırır. Çünkü kristal osilatörün su buharı emilimi kütle değişikliğine, dolayısıyla frekans değişimine sebep olur. Ticari modellerinde ise polimer kaplı kristaller kullanılır[10].



Şekil 9. PVDF filmi tipik kızılötesi emilme tayfı [13].

Spektroskopik (radyasyon absorpsiyonlu) higrometre; Su buharı ışığı soğurur belirli bir bant genişliğinde ise ışığı ölçer, kızılötesi ışını soğurma özelliğine dayanır. Su buharı 0.122 μm Lyman-alfa hattı ile ilgili 2 ila 3 μm dalga boylarında kızılötesi radyasyon ve ultraviyole radyasyon emer. Emilen radyasyon miktarı Beer yasasına göre, gaz karışımındaki mutlak nem ya da su buharı içeriği doğrudan ilişkilidir. Şekil 9'da radyasyon absorpsiyonlu higrometre için kızıl ötesi emilme tayfı yer almaktadır.

Gravimetrik higrometre; Gravimetrik higrometre emilen su ve su buharı ile ilişkili gaz hacminin hassas ölçüm ile kütle örneğin karıştırma oranını veya mutlak nemi belirlemek mutlak su buharı içeriği elde etmek için kullanılır. Kütle, sıcaklık, basınç ve hacim için gerekli ölçümleri çok hassas bir şekilde yapabilir. Ancak, detaylardaki karmaşıklığı ve kullanımda aşırı dikkat gerektirmesi kendi yararını sınırlamaktadır. Şekil 8'de gravimetrik higrometre gösterilmektedir.

3. Bulgular

3.1 Nem ölçerlerin avantajları ve dezavantajları

Her nem ölçerin kullanım alanına göre tercih edilmesi gerekmektedir. Kısa bir örnekle açıklamak gerekirse Dunmore nem ölçeri çok hassastır fakat çok çabuk kirlenebilirken, Alüminyum oksit kapasitif sensörlü bir nem ölçer, hafif toz ve kirden etkilenmez fakat hassasiyeti Dunmore nem ölçerine göre daha düşüktür.

Burada gösterimin daha kolay ve anlaşılır olması bakımından nem ölçerlerin avantaj ve dezavantajları çizelge şeklinde ifade edilmiştir.

Tablo 2. Nem ölçerlerin Avantaj ve Dezavantajları [10]

	NEM ÖLÇER	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
1	Aspiratörlü psikrometre	Fiyatı ucuz Kullanımı kolay	Tablolardan sürekli kontrol gerekli
2	Cam termometreli mekanik psikrometre	Fiyatı ucuz Kullanımı kolay Elektiriksel bağlantıya ihtiyacı yok	Uygulama alanı 60°C sıcaklığa kadar iklimsel aralık ile sınırlıdır.

3	Elektrikli psikrometre	Daha güvenli Genelde kirli ve korozif gazların ve çözücülerin bulunduğu yerlerde	Elektriksel bağlantılara ihtiyacı var. Mekaniklerine göre daha pahalı
4	Çiğ noktası higrometresi	Performansında değişim meydana gelmez	Mekanik sistemlere göre pahalıdır.
5	Tuz fazlı ısıtmalı higrometre	En yüksek hassasiyet bölgeleri -23 ve 34°C arasında	Tepeki süresi yavaştır. Sensör kirlenebilir.
6	Mekanik higrometreler	Sık sık kalibrasyon gerektirir. Aşırı nemden etkilenebilir 0°C'nin altında güvensizdir.	Elektrikli sistemlere göre ucuzdur.
7	Polimer film kaplı elektronik higrometre	Boyutu küçüktür. Düşük maliyetli. Daha hızlı çözüm süresi	Mekaniklere göre pahalıdır.
8	Dunmore higrometresi	Sensörleri çok hassastır.	Zamanla kirlenebilir. Düzenli kalibrasyon gerektirir. Mekaniklere göre pahalıdır.
9	İyon değişimli reçineli elektrikli higrometre	Geniş çalışma aralığı Basit mekanik ve elektriksel tasarımdan meydana gelmesi	Dunmore elemanları ile kullanılabilir. Pahalıdır.
10	Empedans tabanlı gözenekli seramiğe sahip elektronik higrometre	Mükemmel hassasiyeti var. 200°C ye kadar yüksek sıcaklığa dayanıklı Maliyeti daha uygun	%1 civarı hata payı var.
11	Alüminyum oksit kapasitif sensörlü higrometre	Hafif kir ve tozdan büyük ölçüde etkilenmezler. Oldukça hızlıdır.	+2 ve ± 5 % rH arasındaki doğruluk sağlar.
12	Elektrolitik higrometre	1-1000 ppm arası hava su buharı karışımında kullanım için tasarlanmıştır.	1-1000 ppm arası hava su buharı karışımında kullanım için tasarlanmıştır.
13	Piezoelektrik sorsiyonlu higrometre	suyun kısmi basıncının aynı zamanda, ortam sıcaklığında ölçer	Pahalıdır. Ticari olanında polimer kaplama kullanılır.
14	Spektroskopik (radyasyon absorpsiyonlu) higrometre	Temassız uygulama gerektiren yerlerde kullanılır.(endüstriyel kurutma fırınları gibi)	Çok yüksek maliyetli Nispeten büyük boyutlu.
15	Gravimetrik higrometre	Kütle, sıcaklık, basınç ve hacim gerekli ölçümleri çok hassas bir şekilde yapabilir.	Detaylara karmaşık Kullanımda aşırı dikkat gerektirmesi

4. Tartışma ve Sonuç

Su buharı ölçümleri, endüstriyel uygulamalar, hava tahmini, üst atmosfer çalışmaları, hava ve gürültü kirliliği ölçümleri, toksik ve nükleer santral emisyonları, vb. için vazgeçilmezdir. Çeşitli ölçüm teknikleri uygulamaya bağlı olarak kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında öncelikle nem ölçümü yapabilmek için bilinmesi gerekenler araştırılmış, sonrasında nem ölçüm cihazları hakkında geniş bir bilgi verilmiş ve kullanım yeri tercihleri için gerekli olan hususlardan bahsedilmiş üçüncü bölümde ise nem ölçerlerin avantajları ve dezavantajları tablo şeklinde ifade edilmiştir. Bu makale nem ölçerler

üzerine çalışan araştırmacılar için kaynak bir çalışma niteliğindedir. Bu çalışma yapılırken ülkemizde nem ölçerlerle alakalı yerli kaynak eksikliği fark edilmiş ve sıklıkla yabancı kaynaklara başvurulmuştur. Bu nedenle ülkemizde en kısa zamanda nem ölçerlerle ilgili bilimsel kitap çevirileri yapılması gerektiği gözlemlenmiştir.

Kaynakça

- [1] Ayder E., Genceli O.F., (1997): “Ölçme Tekniği, ASHRAE Temel El Kitabı (Fundamentals)”, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar, s. 27-29.
- [2] Çengel Y., Boles M., 2012 Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik 5. Baskı İzmir Türkiye
- [3] Incropera, F. P., DeWitt P. D., Bergman L. T., Lavine A. S., (2007). Fundamentals of Heat and Mass Transfer: J.Wiley & Sons, 6th Edition, U.S.A.
- [4] [http%3A%2F%2Fwww.jumo.com.tr%2FAttachments%2FJUMO%2FAttachmentdownload%3Fid%3D8265%26filename%3Dt90.7000tr.pdf&ei=hGmlVNWsFcjraIKHgPgD&usg=AFQjCNEdFA50ppf0d2eTvLbZCckgTg4hw&bvm=bv.82001339,d.d2s](http://www.jumo.com.tr/Attachments/FJUMO/Attachmentdownload%3Fid%3D8265%26filename%3Dt90.7000tr.pdf&ei=hGmlVNWsFcjraIKHgPgD&usg=AFQjCNEdFA50ppf0d2eTvLbZCckgTg4hw&bvm=bv.82001339,d.d2s) Erişim tar:02.01.2015
- [5] Arısoy A., 4. 1999 ‘Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi’, İzmir, s.621-631
- [6] <http://www.dmi.gov.tr/tarim/nispi-nem.aspx> Erişim tar: 06.01.2015
- [7] Singh O., 2009 Applied Thermodynamics ., 3th Edition India, s. 829, ISBN (13) : 978-81-224-2916-9
- [8] <http://www.eruzelektrik.com.tr/zzzeski/w ebthies/psykromet.htm> (Erişim tar:06.01.2015)
- [9] <http://www.otomasyondergisi.com.tr/arsiv/yazi/57-aco-kapasitif-nemolcumu #sthash.VhyDcl91.dpuf> (Erişim tar:06.01.2015)
- [10] ASHRE., 2009‘Handbook Fundamentals ’ SI Edition, 505 – 507 s.
- [11] http://www.deneysan.com/Content/images/documents/otom-2_1942522.pdf (Erişim tar: 07.01.2015)
- [12] <http://www.labor.com.tr> (Erişim tar: 07.01.2015)
- [13] <http://www.azosensors.com/Article.aspx?ArticleID=177#3> (Erişim tar: 08.01.2015)
- [14] <http://www.nist.gov/pml/div685/grp01/c o2-dew-point.cfm> Erişim tar: (08.01.2015)
- [15] Dayıoğlu, Mehmet Ali. 2015 Nemli Havanın Psikrometrik Özelliklerinin Analizi: ASHRAE Matematiksel Modeli. Tarım Makineleri Bilim Dergisi 2015, 11(4) s.363-370