

PAPER DETAILS

TITLE: NEM ÖLÇME CİHAZLARININ KALIBRASYONU İÇİN YENİ BİR DÜZENEGİN
TASARLANMASI

AUTHORS: Dilek KUMLUTAS, Mevren TOYGAR

PAGES: 17-24

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/590694>



**NEM ÖLÇME CİHAZLARININ KALİBRASYONU İÇİN
YENİ BİR DÜZENEGİN TASARLANMASI**

**(DEVELOPMENT OF THE NEW TEST CHAMBER FOR
THE CALIBRATION OF THE HYGROMETERS)**

Dilek KUMLUTAŞ* M. Evren TOYGAR* Salih AYVAZ**

ÖZET / ABSTRACT

Ölçüm cihazlarının kalibrasyonunun düzenli olarak yapılması bir zorunluluktur. Kalibrasyon, belirlenen koşullardaki değerlerle, ölçme sisteminin veya ölçme cihazının gösterdiği değerler arasındaki ilişkiyi belirleyen işlemler dizisidir.

Bu çalışmada; bir seri sıcaklık ve nemin gözlenmesiyle, nem ölçerlerin kalibrasyonunun yapılması için özel bir düzenek hazırlandı. İzole bir kabin içerisinde %15 ile %95 aralığında bağıl nem değerleri sağlandı. Düzenekte, sistemin kararlı hale gelebilmesi için kurutma ve egzoz sistemi tasarlanıp, tüm işlemler elektronik olarak kumanda edilerek, sensörler yardımıyla da bilgisayar üzerinden izlendi. Sistem kararlı hale geldikten sonra, önceden kabin içine yerleştirilmiş olan kalibrasyonu yapılacak nem ölçerin ölçüm sonuçlarıyla, psikrometrenin (referans ölçüm cihazı) ölçüm sonuçları karşılaştırıldı.

The calibration of the measuring instruments must be done periodically. Calibration is the set of operations, the relationship between values of quantities indicated by a measuring instrument or measuring system represented by a reference material and the corresponding values realized by standards.

In this work, the humidity and temperature is observed and the special apparatus is prepared for the calibration of the humidity measurements. In the test chamber the relative humidity is taken in between % 15 and % 95. In apparatus, the drying and eject system is planned for the steady-state system and all process are commanded electronically and are displayed, followed by sensors on the computer. After system becomes steady state, the results of humidity measurement installed in the test chamber are compared with the results of pscrometer.

ANAHTAR KELİMELER / KEYWORDS

Higrometre, Kalibrasyon, Bağıl nem, Çiğ noktası sıcaklığı.

Hygrometer, Calibration, Relative humidity, Dew point temperature.

* DEÜ, Mühendislik Fak., Makina Mühendisliği Bölümü, 35100 Bornova, İZMİR.

** OMEGA Ölçme ve Kontrol Sistemleri Yenişehir, İZMİR.

1. GİRİŞ

Teknolojinin büyük bir hızla ilerlemesi beraberinde hassas, güvenilir ve doğru ölçümlere olan ihtiyacı arttırmıştır. Metroloji (ölçü bilim ile ilgili saha) sisteminin bir parçasını oluşturan ölçümlerin yürütüldüğü tüm kuruluş ve laboratuvarlar ile ölçme faaliyetlerinde kullanılan tüm cihazlar, bir ülkenin ölçme altyapısı olarak kabul edilmektedir. Endüstriyel metroloji ve kalite kavramlarının gelişmesi ile birlikte sağlam bir ölçme altyapısının kurulması gerekliliği, gündeme Kalibrasyon kavramını da getirmiştir.

Kalibrasyon, belirlenmiş koşullar altında, ölçme sisteminin veya ölçme cihazının gösterdiği değerler ile referans değerler arasındaki ilişkiyi belirleyen işlemler dizisidir. Buna göre kalibrasyon sonucu, maddi ölçütün ölçme sisteminin veya ölçme cihazının gösterge değeri hatasının veya rastgele bir ölçek üzerindeki işaretlere karşılık gelen değerlerin belirlenmesine imkan vermektedir. Kalibrasyon sonuçları, bazı hallerde kalibrasyon eğrisi veya faktör dizisi halinde belirlenmekte bazı hallerde de kalibrasyon sertifikası veya raporu adı verilen dökümanlara kaydedilmektedir (UME, 1997).

Yine tanıma göre, Primer Standart, belirli bir alanda en yüksek metrolojik vasfa sahip standart, Sekonder Standart ise değeri Primer Standart ile karşılaştırılarak elde edilen standarttır. Referans standardı, genelde belirli bir mahalde en yüksek metrolojik özelliklere sahip ve o mahalde yapılan ölçümlerin kendisinden elde edildiği standarttır. Çalışma standardı ise ölçme cihazı (bir ölçümü gerçekleştirmek için tasarlanmış cihaz) veya maddi ölçütü kalibre veya kontrol etmek için rutin olarak kullanılan ve genelde referans standart ile kalibre edilmiş standarttır (UME, 1997).

Buradan yola çıkılarak bu çalışmada, bir nem ölçme cihazının kalibrasyonu için tasarlanan düzenekle, Sekonder seviyede yapılacak nem kalibrasyonu ile Çalışma standartları arasındaki transferin ekonomik ve süratle yapılabilmesini sağlamayı hedeflemektedir. Primer seviyedeki düzeneklerin çok pahalı ve altyapısı henüz oluşum sürecinde olduğundan, projenin uygulanabilir ve Sekonder seviyede hizmet verebilmesi için Sekonder seviye kalibrasyon laboratuvarları iklimlendirme kabinleri hedeflenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda, yüksek hassasiyet seviyesinde nem ölçme cihazının izlenebilir kalibrasyonunu sağlamak için Metroloji ve Akreditasyon Merkezinde nem üreticisi kullanılmıştır. 1991 senesinde Primer Standard seviyede çiğlenme noktası üreticisi tasarlanmış, Cihazın yapılması ve belirsizlikle ilgili raporlar 1996 senesinde tamamlanmıştır. Bağlı nem ölçme cihazının kalibrasyonu için gerekli üretici ilk 1993’de geliştirilmiştir (Heinonen, 1999).

2. TEORİ

Bağılı nem ve özgül nem terimleri, mühendislikte ve atmosfer bilimlerinde çok sık kullanılır, fakat ikisinin de ölçülmesi kolay değildir. Bu nedenle, sıcaklık, basınç gibi ölçülmesi daha kolay olan özelliklerle ilişkilendirilmesi gereklidir (Çengel ve Boles, 1998).

Atmosferdeki hava, azot, oksijen, diğer gazlar ve bir miktar su buharından oluşan bir karışımdır. İçinde su buharı bulunmayan hava ise kuru hava olarak adlandırılır. Havadaki su buharı çok az olmasına rağmen, pek çok uygulamada belirlenmesi gereken önemli bir parametredir (Çengel ve Boles, 1998). Nemli hava, içinde su buharı ve kuru havanın ayrı ayrı ideal gazlar olduğu, bir ideal gaz karışımı olarak kabul edilirse (Genceli, 1997b); “Dalton’un toplanan basınçlar yasası” gereği, havanın toplam basıncı, kuru havanın ve su buharının kısmi basınçlarının toplamı şeklinde ifade edilebilir:

$$P = P_a + P_v \quad (1)$$

P : Toplam basınç

P_a: Kuru havanın kısmi basıncı

P_v: Su buharının kısmi basıncı

Havadaki su buharı miktarı değişik biçimlerde belirtilebilir. Bunun en doğrudan yolu bir birim kuru hava kütlelerinde bulunan su buharı kütlelerini belirtmektir. Bu değer, mutlak veya özgül nem diye adlandırılır ve Eşitlik 2 ile gösterilir (Çengel ve Boles, 1998).

$$w = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / (R_v T)}{P_a V / (R_a T)} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_a} \quad (2)$$

Eşitlik 1'i Eşitlik 2'de yerine yerleştirirsek;

$$w = \frac{0.622 P_v}{P - P_v} \quad (\text{kg su buharı} / \text{kg kuru hava}) \quad (3)$$

özgül nem için Eşitlik 3 elde edilir. Havadaki su buharını belirtmenin bir diğer yolu ise bağıl nem tanımıyla yapılabilir. Bağıl nem, havadaki su buharı miktarının, aynı sıcaklıktaki havada bulunabilecek en çok su buharı miktarına oranıdır (Çengel ve Boles, 1998).

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v V / (R_v T)}{P_g V / (R_g T)} = \frac{P_v}{P_g} \quad \text{burada } P_g = P_{\text{doyma}, T} \quad (4)$$

Eşitlik 2 ve Eşitlik 4'ü birleştirecek olursak,

$$\phi = \frac{wP}{(0.622 + w)P_g} \quad \text{ve} \quad w = \frac{0.622 \phi P_g}{P - \phi P_g} \quad (5a,b)$$

bağıl nem ve özgül nem için Eşitlik 5a ve Eşitlik 5b elde edilir. Bağıl nem kuru hava için 0, doymuş hava için 1 değerini alır. Havada bulunabilecek su buharı miktarı sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle özgül nem sabit kalırken, bağıl nem sıcaklıkla değişir (Çengel ve Boles, 1998).

Bağıl nemi belirlemenin yollarından biri de, havanın çığ noktası sıcaklığını bulmaktır. Çığ noktası sıcaklığı bulunduğunda, buhar basıncı (P_v) ve buna bağlı olarak bağıl nem hesaplanabilir. Bu yaklaşım basittir, fakat pratik değildir. Çığ noktası sıcaklığı, hava sabit basınçta soğutulduğu zaman yoğunlaşmanın başladığı sıcaklık olarak belirlenir. Diğer bir deyişle, çığ noktası sıcaklığı suyun buhar basıncındaki doyma sıcaklığıdır (Çengel ve Boles, 1998).

$$T_{\text{çn}} = T_{\text{doyma}, P_v} \quad (6)$$

3. NEM ÖLÇÜMÜ

3.1. Nem Ölçme Cihazları ve Özellikleri

Havanın nem içeriğini ölçen cihazlarda kullanılan algılayıcı elemanlar, yaş termometre sıcaklığı, bağıl nem, özgül nem ve çığlenme noktası sıcaklığı gibi değişik fiziksel özelliklere

karşı duyarlıdırlar. Çizelge 1’de pratikte kullanılan çeşitli nem ölçen cihazlar görülmektedir. Bu cihazların her biri, belli koşullar altında ve belli sınırlar içinde doğru ölçüm yapabilme kabiliyetine sahiptir (Genceli, 1997a).

3.2. Polimer Film Elektronik Higrometrenin Çalışma Prensibi

Nem kabininde kullanılan higrometre tipi, polimer film elektronik higrometredir. Bu cihazlar, su geçirme özelliğine sahip bir yüzey üzerine ince veya kalın film biçiminde higroskopik organik bir polimerin kaplanmasıyla oluşturulurlar. Kapasitanslı ve empedanslı tip duyar elemanlar mevcuttur. Empedanslı cihazlarda iletim, iyonik veya elektronik olarak oluşmaktadır. Bu higrometreler tipik olarak sıcaklık düzeltmesini ve sinyal değerlendirilmesini sağlayan entegre devrelere sahiptirler. Bu tip duyar elemanların başlıca avantajları, küçük boyutlara, düşük fiyata ve %64 değerindeki bir bağıl nem değişimi için 1 ile 120 s arasında değişen hızlı tepki zamanına sahip olmaları sayılabilir (Genceli, 1997a).

Çizelge 1. Nem duyar elemanlarının özellikleri (Genceli, 1997a)

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 değiştirme reçinesi	Elektriksel	-40~90°C , %10~100 bn	± %5 bn
Alüminyum oksit	Elektriksel	%5~100 bn	± %3 bn
Alüminyum oksit	Elektriksel	-80~60°C çn	± 1°C çn
Gözenekli seramik	Elektriksel		
Elektrolitik higrometre	Elektriksel		
Kızıl ötesi laser 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 çn
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 çn	± 1.5°C
Gravimetrik	Karışım oranının direkt ölçümü	0.12 g/kg ~ 20 g/kg karışım oranı	Okumada ± % 0.13
Coulometrik	Elektrolitik hücre	1~1000 ppm	
Psikrometre	Buharlaşmalı serinletme	0~80°C	± %3 ~ ± %7 bn
Adyabatik doyma psikrometresi	Buharlaşmalı serinletme	5~30°C	± %0.2 ~ ± %2 bn
Işınım yutulması	Nem yutulması	-20~80°C çn	± %2 ~ ± %5°C çn

3.3. Psikrometrenin Çalışma Prensibi

Bu çalışmada, referans olarak alınacak değerleri belirleyen ölçüm cihazı psikrometredir. Tipik bir endüstriyel psikrometre, bir tanesi nemli bir fıtıl ile ıslak tutulan, elektriksel veya

mekanik prensiplere göre çalışan iki adet sıcaklık duyar elemanından oluşur. Küçük bir vantilatör veya aspiratör, bu iki duyar eleman üzerine hava üfleyerek nemli sıcaklık algılayıcısının sıcaklığını düşürür. Fital yakınındaki nemli havayı doymuş hale getirmek için gerekli olan buharlaşma miktarı sabit kaldığında, en düşük sıcaklık değeri oluşur. Bu işlem fitilde kullanılan suyun saflığına, fitilin temizliğine, havalandırma miktarına, ısı ışıınımı etkilerine, sıcaklık duyar elemanlarının boyutuna, hassasiyetine ve gazın taşınım özelliklerine bağlıdır (Genceli, 1997a).

ASHRAE Standard 41.6.1992 R, ıslak ve kuru termometrelerin haznelerine dik havalandırma için 3 ile 5 m/s, eksenel havalandırma için 1.5 ile 2 m/s değerindeki hızlara sahip hava akımlarını önermektedir. Psikrometrelerde belirsizlikler tipik olarak, $\pm$ %3-7 bağıl nem arasında değişir. Belirsizlik, ıslak ve kuru haznenin sıcaklık ölçümlerinin doğruluğuna, barometrik basınç değerinin ölçüm hassasiyetine ve ASHRAE Standard 41.6'da ana hatlarıyla verilen kabul görmüş kullanım yöntemlerine uygun olup olmamanın bir fonksiyonudur (Genceli, 1997a).

0°C değerinin altındaki hava sıcaklıklarında fitil üzerinde su donabilir veya fitil aşırı soğuyabilir. Islak termometre sıcaklığı su ve buz için farklı olacağından, hal durumu kesin olarak bilinmeli ve bu hal için uygun olan grafik veya çizelge kullanılmalıdır. Bazı kullanıcılar, donma koşullarında, fitili ıslak hazneden ayırırlar ve hazneyi su içine birkaç kez daldırırlar. Bu sayede su hazne üzerinde donarak bir buz filmi oluşturur. Düşük sıcaklıklarda ıslak haznenin sıcaklık düşümü az olduğundan, hassas sıcaklık okumaları yapılmalıdır. Yüksek sıcaklıklarda psikrometre cihazı kullanılabilir, ancak ıslak hazne sıcaklığının çok azalması halinde fitil ıslak kalmalıdır ve ıslak haznenin fitil suyundan olan taşınım ile ısı geçişinden etkilenmemesi için fitile verilen su soğutulmalıdır (Genceli, 1997a).

4. NEM KABİNİ

Higrometrelerin tekrar kalibre edilme gereklilikleri istenen doğruluğa, duyar elemanın kararlılığına ve maruz kaldıkları şartlara bağlıdır. Birçok değişik tipteki higrometrenin kalibrasyonları düzenli olarak yapılmalıdır. Bu kalibrasyonlar, bilinen bir nem ve sıcaklıktaki atmosferik koşullara göre veya bir standart higrometre ile karşılaştırılarak yapılabilir. Tam kalibrasyon genellikle bir seri sıcaklık ve nemin gözlenmesini gerektirir. Bilinen nem miktarlarını üretmek için, doymuş tuz çözeltileri, sülfürik asit çözeltileri ve bölünmüş akış, çift basınç, çift sıcaklık ve NIST çift basınç nem jeneratörleri gibi yöntemler kullanılır. Tüm bu sistemler, bilinen değerde bir nem üretmek için kontrollü bir çevre ile hassas sıcaklık ve basınç kontrolü ile oluşturulurlar. Bu kontrollerin doğruluğu $\pm$ %0.5 ile $\pm$ %1 arasındadır. Hassas nem üreteçlerinin çalışma aralığı, tipik olarak %5 ile %95 bağıl nem arasındadır (Ayder ve Genceli, 1998).

Bu çalışmada, bir seri sıcaklık ve nemin gözlenmesiyle, nem ölçerlerin kalibrasyonunun yapılması için özel bir düzenek hazırlandı. İzole bir kabin içerisinde %15 ile %95 aralığında bağıl nem değerleri sağlandı.

4.1. Tasarımı ve Çalışma Prensibi

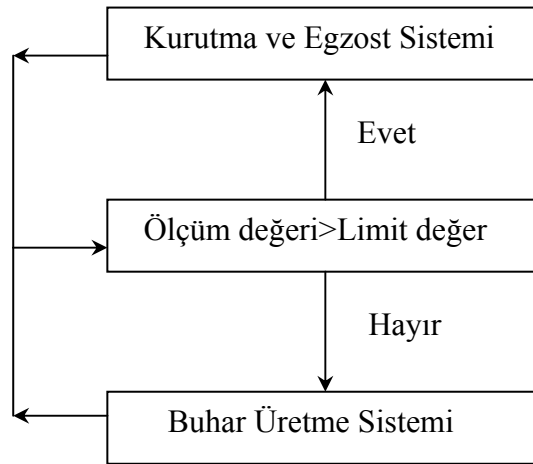
Nem ölçerlerin kalibrasyonunun yapılması için hazırlanan düzenekte, istenilen iklim koşullarının oluşturulacağı iklim dolabı, ısı kaybını minimuma indirmek için sıkıştırılmış poliüretanla izole edildi. Bu düzeneğin tasarımında; buhar üretici ve kurutma-egzost sistemi ile kabin içerisinde %15 - %95 aralığında bağıl nem değerlerinin oluşturulması ve kalibrasyon için gerekli verilerin bilgisayar ortamından alınması amaçlanmıştır.

Nem kabini iç ortam bağıl nem değerlerinin üst limiti ve alt limiti ayarlanabilmektedir. Bu ayarlanan değerlere göre bir otomatik kontrol ünitesi tasarlanmıştır. Üst limit değerine göre, kabin içerisinde kurutma ve egzost sistemi çalışmaktadır. Alt limit değerine göre ise nem jeneratörü ortamı nemlendirmektedir (Şekil 1). Sistemde alt limit ve üst limit olarak tek bir değer de tanımlanabilir. İklim dolabı ya da nem kabini olarak adlandırabileceğimiz düzenekte kullanılan higrometre tipi, polimer film elektronik higrometredir (kapasitif nem sensörü). Bu higrometrenin işlevi, kabin içerisindeki bağıl nemi, belirlenen alt ve üst limit değerleri arasında tutarak, ortamın kararlı hale gelmesini sağlamaktır.

Kalibrasyonu yapılacak olan cihaz ve ölçüm değerleri referans olarak alınacak olan cihaz (psikrometre) kabin içerisine yerleştirilmesinden sonra alt ve üst limit değerlerin set edilmesiyle birlikte sistem çalışmaya başlar. Kabinin alt bölümünde bulunan, ısı yalıtımı yapılmış çelik bir kap içindeki saf su, şok rezistans ısıtıcı ile ani olarak kaynama noktası üzerine çıkartılır. Kabin içinde, kaynama sonucunda oluşan buhar basıncı 15 Psi'ın üzerine çıktığında, kabin tahliye ucunda bulunan çekvalf açılarak iklim dolabının içine kızgın buharın girmesi sağlanmış olur. Kabin içindeki su seviyesi elektronik seviye ölçer ile sürekli olarak kontrol edilmekte ve su istenen seviye altına düştüğünde yedek saf su tankından kaba su beslemesi yapılmaktadır. Kabin içinde oluşan nem değeri 10 ms'lik sürelerde ölçümlenir. Ölçüm değeri limit değerler ile kıyaslanır. Eğer sensörlerden gelen % bağıl nem sinyali set edilmiş limit değerin üzerine çıkarsa kabin içindeki kurutma rezistansı ve buna paralel olarak çalışan deşarj fanı devreye girerek oluşan nem değerinin set edilen değere inmesi sağlanır. Kararlı bir ortam yaratma ve ölçümlerin doğruluğu açısından, tüm bu işlemler sırasında kabin içerisine yerleştirilen bir fan sürekli çalıştırılmaktadır.

Tüm işlemler bilgisayar kontrollü olarak yapılabilmektedir. Kabin içindeki kuru termometre sıcaklığı, çiğlenme noktası sıcaklığı, bağıl nem ve özgül nem değerleri istenen zaman aralığı için bilgisayar ekranında gösterilebilir, kaydedilebilir ve ilgili grafikler çizilebilir. Bağıl nem ve kuru termometre sıcaklığı direkt ölçülebilmekte diğer özellikler bunlara bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bununla ilgili denklemler teori bölümünde verilmiştir.

Sonuç olarak, kabin içerisine yerleştirilen kalibre edilecek olan nem ölçme cihazının belirli bir zaman aralığındaki ölçüm sonuçları ile yine kabin içerisine yerleştirilen ve referans (sekonder seviyedeki cihaz) cihaz olarak kabul edilen psikrometrenin ölçüm sonuçları karşılaştırıldı (Çizelge 2).



Şekil 1. Nem Kabini Basit Çalışma Prensibi

Çizelge 2. Kalibre edilecek cihaz ile referans cihazın (psikrometre) ölçme sonuçları

Saat	Cihaz	Psikrometre	Hata
14:05:04	% 39.9	% 41.3	-1.4
14:05:14	% 39.9		-1.4
14:05:24	% 40.0		-1.3
14:05:34	% 40.1		-1.2
14:05:44	% 40.2		-1.1
14:05:54	% 40.2		-1.1
14:06:04	% 40.1		-1.2
14:06:14	% 40.0	% 41.2	-1.2
14:06:24	% 39.9		-1.3
14:06:34	% 39.9		-1.3
14:06:44	% 39.9		-1.3
14:06:54	% 40.0		-1.2
14:07:04	% 40.1		-1.1
14:07:14	% 40.2		-0.9
14:07:24	% 40.2	% 41.1	-0.9
14:07:34	% 40.1		-1.0
14:07:44	% 40.0		-1.1
14:07:54	% 39.9		-1.2
14:08:04	% 39.8		-1.3
14:08:14	% 39.9		-1.3
14:08:24	% 40.0		-1.2
14:08:34	% 40.1	% 41.2	-1.1
14:08:44	% 40.2		-1.0
14:08:54	% 40.1		-1.1
14:09:04	% 40.0		-1.2
14:09:14	% 39.9		-1.3
14:09:24	% 39.8		-1.4
14:09:34	% 39.8	% 41.2	-1.4
14:09:44	% 40.0		-1.2
14:09:54	% 40.1		-1.1
14:10:04	% 40.1		-1.1
14:10:14	% 40.1		-1.0
14:10:24	% 40.0		-1.1
14:10:34	% 39.9	% 41.1	-1.2
14:10:44	% 39.8		-1.3
14:10:54	% 39.8		-1.3
14:11:04	% 40.0		-1.1
14:11:14	% 40.1		-1.2
14:11:24	% 40.2		-1.1
14:11:34	% 40.2	% 41.3	-1.1
14:11:44	% 40.1		-1.2
14:11:54	% 40.0		-1.3
14:12:04	% 39.9		-1.4
14:12:14	% 39.8		-1.5

KAYNAKLAR

- Ayder E., Genceli O.F., (1997a): “Ölçme Tekniği, ASHRAE Temel El Kitabı (Fundamentals)”, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar, s. 27-29.
- Çengel Y.A., Boles M.A. (1998): “Thermodynamics: An Engineering Approach”, McGraw-Hill, Third Edition, s. 724-731.
- Genceli O. F. (1997b): “Psikrometri, ASHRAE Temel El Kitabı (Fundamentals)”, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar, s. 9.
- Heinonen M. (1999): “A Humidity Generator With A Test Chamber System”, Journal of the International Measurement Confedition, Vol. 25, N. 4, Elsevier, Science Publishers B.V., Armsterdam, Netherlands, p. 307-313.
- TUBİTAK-MAM/UME Ulusal Meteoroloji Enstitüsü (1996): “Meteorolojide Kullanılan Temel ve Genel Terimler Sözlüğü”, 2. Basım, s. 49-51.