

Tıbbi Amaçlı Sıcaklık, Nem, Basınç Ölçme ve İzleme Sistemi Tasarımı

Measurement and Monitoring System Design of Temperature, Humidity and Pressure for Medical Usage

Emre Can Kaya¹, Barış Çoruh², Tuncay Bayrak¹⁻², Arif Koçoğlu¹, Onur Koçak¹⁻²

¹Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Başkent Üniversitesi

kaya.e.can@gmail.com, tbayrak@baskent.edu.tr, okocak@baskent.edu.tr

²İBÜTEM - İleri Biyomedikal Mühendislik Teknolojileri Merkezi Ar-Ge Ltd. Şti.
Teknopark, Gazi Üniversitesi
bariscoruh@ibutem.com.tr

Özet

Günümüzde, hastalıkların teşhisinde ve tedavisinde biyomedikal cihazlarının katkısı çok önemlidir. Hastalıkların teşhisinde büyük ölçüde öneme sahip olan biyomedikal cihazların çalışmasındaki en önemli parametre kritik değer aralığıdır. Bu değer aralığı; insanlarla doğrudan etkileşim halinde olmasından ötürü; endüstriyel cihazlara kıyasla daha önemlidir. Referans ölçüm aletleri ile karşılaştırılarak tıbbi cihazların doğruluğu ve hassasiyetleri kontrol edilmektedir. Bu çalışmada, Biyomedikal Mühendisliği alanında kullanılan hastabaşı monitörü, termometre, etüv ve otoklav gibi ölçüm işleminin önemli olduğu cihazlarda sıcaklık, nem ve basınç parametrelerine ait bir "ölçüm izleme sistemi" tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistem ile 5 noktadan sıcaklık, bir noktadan basınç ve nem ölçümü sürekli olarak yapılmakta ve bilgisayara kullanıcı dostu bir arayüz programı ile aktarılmaktadır. Çalışma kapsamında, kalibrasyon sertifikası bulunan ve izlenebilirlik zincirinde yer alan cihazlar ile imal edilen sistem karşılaştırılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Abstract

Currently, contribution of biomedical devices is very important for diagnosis and treatment of diseases. The most important parameter is critical value range for working of biomedical devices which are largely important for diagnosis of diseases. This range is more important for biomedical devices which involve direct interaction with people than industrial devices. In this study, it is aimed to design a measurement-monitoring system for biomedical devices which utilizes the temperature, humidity and pressure measurement parameters used in the field of Biomedical Engineering like incubator, sterilizer, thermometer and patient monitor etc. In this system, temperature obtained from 5 points, humidity and pressure obtained from one point are continuously monitored and transferred to a graphical user interface program. Within this study, designed system was compared by traceability chain of devices which have certificates of calibration and measurement results were analyzed.

1. Giriş

Hastalıkların tanı, teşhis ve tedavisinde biyomedikal cihazlarının katkısı gün geçtikçe ilerlemektedir. Kullanılan cihazlar doğru, güvenilir olmalı ve hatasız bir şekilde çalışmalıdır. Bu şart sağlanmadığı takdirde yanlış tanı ve teşhisler koyulabilir ve hastalara geri dönüşü zor ya da imkânsız tedaviler uygulanabilir. Bunun önüne geçilmesi için tıbbi cihazların kalibrasyon işlemlerinin doğru bir şekilde yapılarak gerektiğinde kullanım standartlarına uygun hale getirilmesi gerekmektedir.

Ölçme ve kalibrasyon işlemlerinde terminolojinin bilinmesi ve standartlara göre uygulanması önemli görülmektedir. Ölçme ya da ölçüm, bilinmeyen bir büyüklüğün aynı türden olan ancak bilinen bir büyüklükle kıyaslanmasına denir. Diğer bir deyişle, bir uzunluğun, bir alanın, bir kapasitenin veya herhangi bir olgunun belirli bir birim cinsinden hesaplanmasıdır. Bunun için standart ölçü birimleri kullanılır. Ölçüm işlemi, fiziksel bir olay hakkında bilgi toplamak ve belirli bazı sabitlerin değerlerini belirlemek gibi amaçları yerine getirmek amacıyla yapılır. Metroloji, doğruluk seviyesi ve uygulama alanına bakılmaksızın, ölçmeye dayanan pratik ve teorik tüm konuları kapsar. Yani Uluslararası Standart Birimlerin (SI) tarif ve tanımını yapar [1].

Belirlenmiş koşullar altında, ölçülen büyüklüğün gerçek değeri ile onu ölçen aletin verdiği sonucun arasında bağlantı kurma işlemine kalibrasyon denir. Kalibrasyon, bir ölçümler dizisidir; doğruluğu bilinen bir ölçüm standardını veya sistemini kullanarak diğer test ve ölçüm aletlerinin doğruluğunun ölçülmesi, sapmalarının belirlenmesi ve dokümanite edilmesi işlemidir [1].

Bir ölçümün geçerliliği, ölçü aletinin ölçmesi istenen büyüklüğü gerçekte ne kadar iyi ölçtüğü ile ilgili ifadedir. Örneğin, bir nem sensörünün sonuçları 0–80°C çalışma aralığının tamamında doğrusaldır. Diğer aralıklarda ise, doğrusal olduğu bölümler çalışma aralığının tamamını kapsamaz. Bundan dolayı, çoğu ölçü aletinde çıktılar, ancak belirli koşullar ve aralıklarda geçerlidir [2].

Bir ölçümün güvenilirliği, ölçüm büyüklüğünün farklı değerler aldığı farklı denemelerde yapılan ölçümlerin gözden geçirilmesinde bir tutarlık elde edilmesiyle ilgili ifadedir. Tekrarlanabilirlik, güvenilirlikle bağlantılı bir kavram olup, ölçü aletinin aynı etkiye her seferinde aynı tepkiyi verebilmesidir. Örneğin, kalibrasyon işlemi sırasında cihazın yaptığı ölçümü test ederken, prosedür gereği aynı cihaz 5 defa ölçülür. Güvenilirlik ve tekrarlanabilirlik kavramlarının doğrulukla karıştırılmaması gerekmektedir. Bir ölçüm güvenilir ve tekrarlanabilir olmasına rağmen aynı zamanda hatalı da olabilir [3].

Bir ölçümün doğruluğu, bir ölçü cihazının ölçtüğü değer içinde bulunduğu aralık olarak tanımlanır. Başka bir ifadeyle bir ölçümün doğruluğu, hatalardan ne kadar arındırılmış olduğunu göstermektedir. Hassasiyet ise, bir ölçü aletinin göstergesinde minimum değişimi sağlayan giriş değeridir. Daha başka ifadeyle hassasiyet, ardışık ölçümlerin tamlığıdır. Bu iki etken ölçüm sonuçları bakımından bizim için çok önemlidirler. Buna rağmen bu iki faktör birbirleriyle karıştırılabilmektedir [4].

Ölçüm işlemlerindeki diğer önemli kavram çözünürlüktür. Çözünürlük, ölçüm büyüklüğünün birbirine yakın ne kadar küçük parçalara bölünebildiğinin bir derecesidir. Buna örnek olarak plazma televizyonlardaki görüntü kalitesini verebiliriz. Bu televizyonlardaki görüntü kalitesi piksellerin birbirlerine yakınlıklarını ifade etmektedir. Piksellerin birbirlerine yakınlığı da çözünürlük kavramıyla açıklanmaktadır. Bir sistemin çözünürlüğü, verideki en az ağırlıklı biti değiştirmeye yetecek kadar ölçüm büyüklüğünde meydana gelen değişim miktarıdır [2].

Bu çalışmada, tüm bu parametreler göz önünde bulundurularak beş ayrı noktadan sıcaklık, bir noktadan basınç ve nem ölçümleri alabilen ve bilgisayara kullanıcı dostu bir arayüz programı ile aktaran bir ölçüm izleme sistemi imal edilmiştir. İmal edilen bu sistem belirli koşullarda ve izlenebilirlik zinciri dahilindeki referans cihazlarla karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

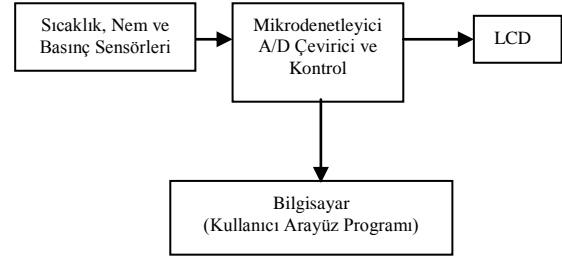
Bu çalışmada, sıcaklık sensörü olarak sayısal çıkış veren DS18B20 entegresi kullanılmıştır. Beş ayrı noktadan sıcaklık ölçümü yapabilmek için beş adet sıcaklık sensörü kullanılmıştır.

DS18B20 -55 °C'den +125 °C'ye kadar çalışabilmektedir. Bu çalışmada, sıcaklık sensörlerinin mikrodenetleyici olarak kullanılan PIC16F877 ile tek hat üzerinden haberleşmesi sağlanmıştır. Sensör hassasiyeti -10 °C'den +85 °C'ye kadar ± 0.5 °C'dir.

Basınç sensörü olarak Motorola Freescale markasının izlenebilir bir ürünü kullanılmıştır. Bu sensörün bütünleşmiş modeli silikon yapıda olduğundan sıcaklığa karşı dayanımı fazladır. Ölçüm aralığı 0-500kPa (0-3750 mmHg) ve -40 °C ile +125 °C arasında çalışabilmektedir. Analog çıkış veren sensör 9 mV/kPa hassasiyetinde ölçüm yapmaktadır. Bu sensörün seçilmesinin nedeni doğrusal ve hızlı (1ms) bir voltaj çıkışı vermesi, geniş bir basınç ve vakum aralığında ölçüm yapabilesidir.

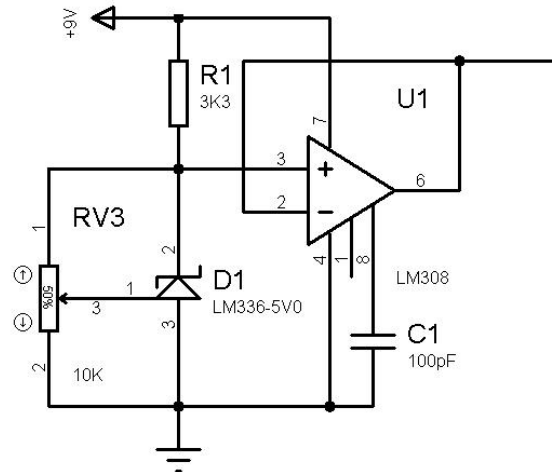
Nem sensörü olarak Honeywell markasının izlenebilirlik zinciri dâhilinde yer alan bir ürünü kullanılmıştır. Sürücü devresinden 200 μ A akım çekmesi nedeniyle pil ile beslenen devrelerde de kullanılabilir. Yüksek doğrulukta sonuç alınabilen bu sensör ıslak, tozlu ve yağlı bir çok çevre koşulunda çalışabilmektedir. Sensör ± 0.35 RH doğruluğa sahiptir ve 0-85 °C arasında kullanılabilir.

Şekil 1'de gösterilen sistemin blok diyagramı yer almaktadır. Sistemin beslemesi, 220 volt şehir şebekesinden elde edilen gerilimin uygun regülatör devreleri ile 5V'a regüle edilmesi ile sağlanmaktadır.



Şekil 1: Tasarlanan sistemin blok diyagramı

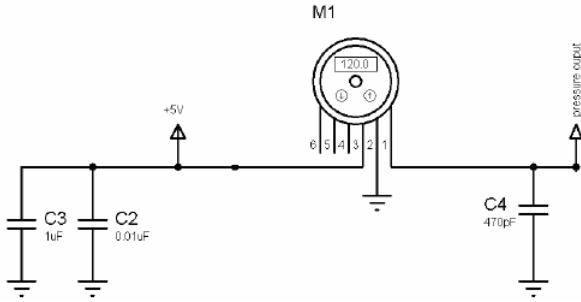
Ayrıca sensör ölçümlerinde besleme geriliminin stabil çalışması için bir gerilim düzenleyici devre kullanılmıştır. LM336 temelli gerilim düzenleyici devre Şekil 2'de görülmektedir. Bu referans diyot genellikle sayısal voltmetre ve güç kaynaklarının yapımında kullanılmaktadır.



Şekil 2: Gerilim düzenleyici devre

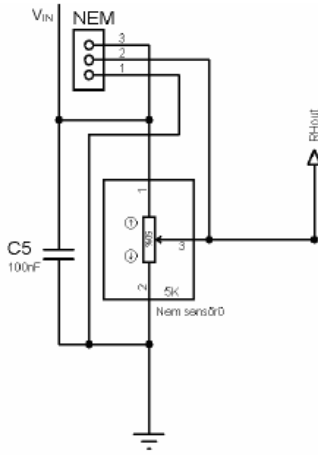
Basınç sensörü sürücü devresi olarak Şekil 3'teki devre kullanılmıştır. Piezo-rezistif bütünleşmiş basınç sensörlerinde iki önemli gürültü vardır. Bunlar; beyaz gürültü ve dalgalanmadır. Bu gürültülerden beyaz gürültü sıcaklığa bağlıdır. Dalgalanma ise sensörün içindeki işlemciye bağlıdır. Aynı zamanda gürültü sensöre bağlanan devre elemanları yoluyla da artar. Bunu çözmek için sensör devresinin tasarımı yapılırken besleme devresi, topraklama ve baskı devre önemlidir. Sensör çıkışı miliVolt düzeyinde çok küçük gerilim farkları üretir (Çıkış geriliminde 0,9 m V'luk 1 kPa'lık değişime eşittir).

Sensörün mekanik cevabı 500 Hz olmasına rağmen, gürültü düzeyi 500 MHz ile 1000 MHz arasındadır. Bu çalışmada, sensör çıkışı 470pF değerinde bir kondansatör ile filtrelenmiştir.



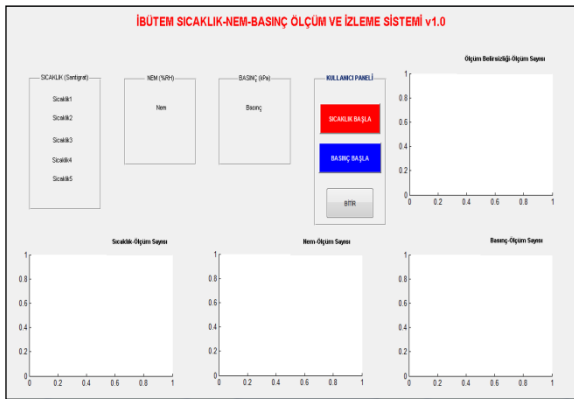
Şekil 3: Basınç sensörü sürücü devresi

Nem sürücü devresi Şekil 4'de görülmektedir. Bu devrede sadece sensörü korumak için bir adet kondansatör kullanılmıştır.



Şekil 4: Nem sürücü devresi

Mikrodenetleyici yazılımında Pic Basic Pro kullanılmıştır. Bunun yanında gerçekleştirilen sistem bilgisayar ile RS-232 üzerinden haberleşmektedir. Arayüz programı MATLAB-GUI ile tasarlanmıştır ve ".exe" uzantılı dosyaya çevrilerek her bilgisayarda kullanılabilir formata getirilmiştir. Şekil 5'te sistem arayüz programı görülmektedir.



Şekil 5: Bilgisayar arayüz programı

Sistem ölçüm değerlerini hem LCD ekranda göstermekte hem de bilgisayara aktarmaktadır. Arayüz programı verileri gösterip grafiklere aktarmanın yanında her sensör için "text" formatında dosyalar oluşturarak bu dosyalara verileri kaydetmektedir. Adeta bir veri katarı şeklinde çalışan program bu sayede kullanıcıya büyük kolaylık sağlamaktadır.

Gerekli donanımsal ve yazılımsal çalışmaların ardından üretilen sistemin sıcaklık ölçümleri, kalibrasyon sertifikasyonuna sahip izlenebilirlik zinciri dahilinde yer alan Agilent U1251A kapasitif sıcaklık ölçer ile karşılaştırılmıştır. Nem ölçümleri Fluke 54 II cihazı ile basınç ölçümleri ise BİOTEK kan basıncı ölçer ile karşılaştırılmıştır. Böylece imal edilen sistemin, çalışma doğruluğu referans cihazlarla karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

Test aşamasında, sıcaklık ölçümü hem oda koşullarında hem de buzdolabı ortamında Agilent U1251A ve imal edilen sistem için eş zamanlı olarak toplam 13 dakika sürede her 30 saniyede bir ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir. Böylece sensör ve cihaz tepkileri incelenebilmiştir.

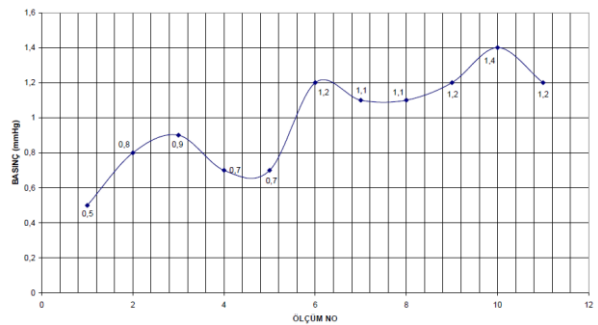
3. Sonuç ve Yorum

Model adı BNS 1.0 olarak verilen sistemimizin ölçtüğü basınç değerleri ile BİOTEK kan basıncı ölçerin değerleri Çizelge 1'de yer almaktadır. Çizelgede her iki cihazın ölçüm farkları da gösterilmektedir.

Çizelge 1: Basınç ölçüm sonuçları

Ölçüm No	BNS 1.0 (mmHg)	BİOTEK BP PUMB (mmHg)	Fark (mmHg)
1	19,5	20,0	0,5
2	39,2	40,0	0,8
3	48,6	49,5	0,9
4	69,3	70,0	0,7
5	83,3	84,0	0,7
6	98,8	100,0	1,2
7	128,9	130,0	1,1
8	158,9	160,0	1,1
9	198,8	200,0	1,2
10	248,6	250,0	1,4
11	298,8	300,0	1,2

Şekil 6'da her iki cihazın ölçüm farklarının grafikte gösterimi yer almaktadır. Fark değerlerinin ortalaması 1,0 ve standart sapması ise 0,278633' dür. Buna göre ilk 5 değer ortalamasının altında diğerleri ortalamasının üstündedir.



Şekil 6: Basınç ölçüm farklarının değişim grafiği

Nem ölçümü oda koşullarında ve nebulazitör cihazının sağladığı nemli ortamda gerçekleştirilmiştir. Çizelge 2'de oda koşullarında alınan nem ölçümleri ve her iki cihaz arasındaki fark değerleri verilmektedir. Nebulazitör cihazı çalıştırılmadan önce ve sonra ölçümler tekrarlanmıştır ve sonuçlar analiz edilmiştir. Çizelge 3'te nebulazitör çalışmadan hemen önce alınan ölçümler ve Çizelge 4'de nebulazitör çalıştıktan sonraki ölçümler gösterilmektedir. Nebulazitör çalıştıktan sonra alınan ölçümlerde her iki cihaz arasındaki farkın küçüldüğü gözlemlenmektedir.

Çizelge 2: Oda koşullarında Nem ölçüm değerleri

Ölçüm No	BNS 1.0 (% RH)	Fluke 54 II Thermometer (% RH)	Fark (% RH)
1	35	40,7	5,7
2	35	40,7	5,7
3	35	40,7	5,7
4	35	40,7	5,7
5	35	40,7	5,7
Ortalama Nem		40,70 % RH	5,70 % RH

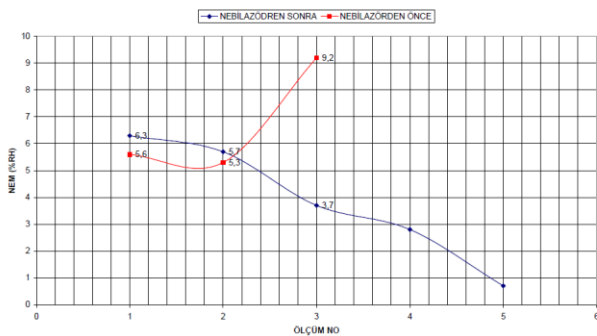
Çizelge 3: Nebulazitör çalışmadan önce alınan nem ölçümleri

Ölçüm No	BNS 1.0 (% RH)	TES1361 (% RH)	Fark (% RH)
1	45	50,6	5,6
2	44	50,3	5,3
3	44	54,2	9,2
Ortalama Nem		51,70	6,70

Çizelge 4: Nebulazitör çalıştıktan sonra alınan nem ölçümleri

Ölçüm No	BNS 1.0 (% RH)	TES1361 (% RH)	Fark (% RH)
1	58	64,3	6,3
2	63	68,7	5,7
3	65	68,7	3,7
4	76	78,8	2,8
5	79	79,7	0,7
Ortalama Nem		72,04	3,84

Şekil 7 'de nem üretme cihazından önce ve sonra iki cihaz arasında oluşan farklar birlikte gösterilmiştir. Bu grafiğe göre Nem üretme cihazından sonra iki cihaz arasındaki fark daha küçülmüştür. Kullanılan nem sensörünün cevap süresinin yavaşlığı bunun nedeni olabilir.



Şekil 7: Nebulazitör çalışmadan önce ve sonra alınan nem ölçüm farkları

Sıcaklık, birçok cihazda ve ortamda etkileyici özelliğinden dolayı üzerinde durulması gereken bir parametredir. Bu nedenle sıcaklık ölçümünde test işlemi biraz daha kapsamlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Toplam 13 dakika sürede her 30 saniyede bir ölçüm alınarak hem oda hem de buzdolabı ortamında test işlemi yapılmıştır.

Şekil 8'de buzdolabı ortamında Agilent U1251A (referans) ve BNS 1.0 cihazının ölçümleri gösterilmektedir.

Bu ölçümlere bakıldığında beşinci sensörün referans cihaza en yakın ölçümleri verdiği görülmektedir. Sensörlerin aslında özdeş olması fakat buna rağmen farklılık göstermesi içyapılarındaki yarı iletken teknolojilerin kendi içinde farklılık göstermesi şeklinde yorumlanabilir.

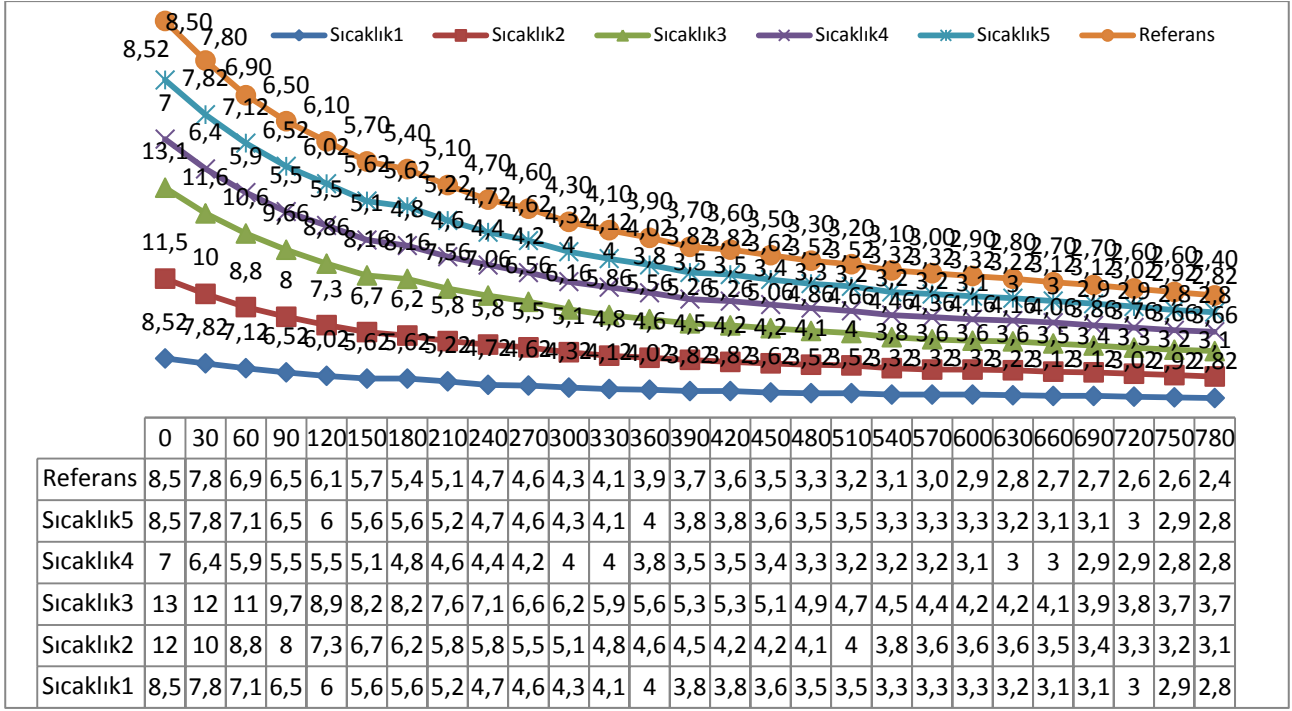
Kullanılan sensörlerin izlenebilirlik zincirine dahil olmaması ve buna rağmen kullanılmasının nedeni PT100 veya PT1000 gibi daha gelişmiş ve izlenebilir sensörlerin maliyetinden kaynaklanmaktadır. Tasarım şablonunun oluşturulması, sistem çalışma ve test protokolünün oluşturulması sonrası sensör değişimi daha kolaydır ve bir sonraki çalışma tüm sensörlerin kalibrasyon standartları dahilinde olması yönündedir. Buzdolabı koşullarında alınan ölçümlerde 4. sensörün diğerlerine göre daha az sapma gösterdiği görülmüştür.

Oda koşullarında yapılan testlerde ise yine aynı şekilde 5. sensör referans cihazla paralel sonuçlar göstermiştir. Aslında test işlemi, cihazların aynı sonuca ulaşmaya kadar devam ettirilmelidir. Böylece daha iyi bir sonuç eğrisi oluşturulabilir. Yalnız sektörde kalibrasyon işlemleri, daha kısa zamanda, hızlı ölçüm alma hedefinde gelişmekte olduğundan böyle bir uygulamanın getirisi sadece istatistiksel bağlamda anlamlı görülebilir.

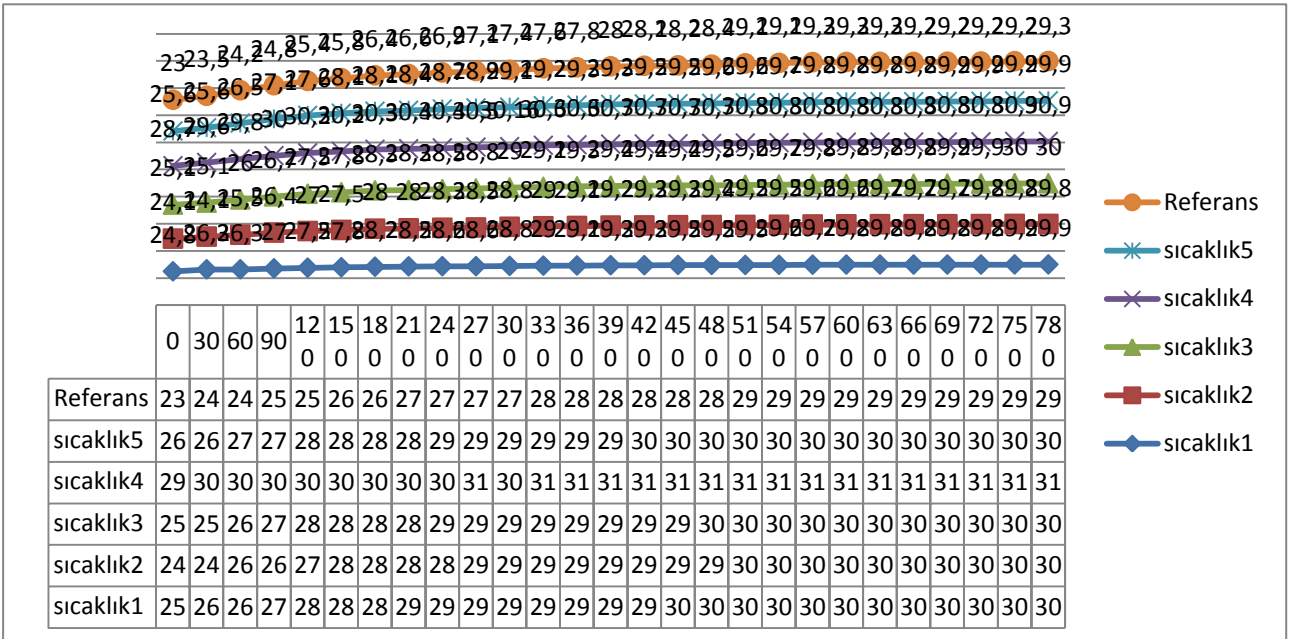
Bu sistemlerin veri katarı şeklinde çalışması ve otomatik bir şekilde bilgisayara kaydetme işlemi kalibrasyon işlemlerinin daha kolay yapılması için olması gereken bir özelliktir. Bu çalışmada kapalı bir ortam yaratıp cihazların anlık ölçümleri karşılaştırılması yerine belirli bir süreç ve ortamda durağan ölçüm değerine gelene kadarki cevap süresi izlenilmiştir. Sensör çalışmalarında gerekli sürücü devreler, baskı kalitesi ve kutulama gibi elektronik, mekanik ve yazılım çalışmalarının sistemi yavaşlatmaması gerekmektedir. Bunun için en basit ve hızlı tasarım seçilmesi önerilmektedir. Kullanılacağı ortama göre seçilen sensörlerin çalışma şartları veri sayfalarından yola çıkarak incelenmelidir.

Gelecekteki çalışmalar, kullanılan tüm sensörlerin kalibrasyon standartlarına göre seçilmesi, cihaz tasarımının daha küçük ve farklı ortamlar için kolaylıkla kullanılacak şekilde tasarlanması, test işlemlerinin daha kapsamlı şekilde yapılması ve hatta haberleşme protokolünün kablosuz olacak biçimde yeninden düzenlenmesi şeklinde sıralanabilir.

Aynı zamanda kalibrasyon işlemleri için çok önemli bir parametre olan ölçüm belirsizliği hesabı da ileriki çalışmalarda sistem tarafından otomatik olarak hesaplanması planlanmaktadır. Kullanıcılar için büyük yük getiren bu işlemin sistemin kendi yapması kalibrasyon işlemlerinin daha kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayacaktır. Özellikle büyük hastanelerde yüzlerce cihazın kalibrasyon işlemlerinin getirdiği zaman kaybı ve zorluğu düşünüldüğünde bu teknolojilerin ilerlemesi büyük önem içermektedir.



Şekil 8: Buzdolabı ortamından alınan sıcaklık ölçümleri



Şekil 9: Oda koşullarında alınan sıcaklık ölçümleri

4. Kaynaklar

[1] Dyro F. Joseph, Clinical Engineering Handbook, Elsevier Academic Press, ISBN: 0-12-226570-X, 2004
 [2] Khandpur R.S., Biomedical Instrumentation: Technology and Applications ISBN: 0071447849, McGraw-Hill Professional, 2004

[3] Webster John G. The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook (Electrical Engineering Handbook), ISBN: 0849383471, CRC Press, 1998
 [4] CHAPRA Steven C., CANALE Raymond P., Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler İçin Sayısal Yöntemler, ISBN:975-8431-83-8, Literatür Yayıncılık, 2003