

YÜKSEK DOĞRULUKLU SAYISAL MANOMETRE YARDIMIYLA KARŞILIKLI AKIŞA DAYALI YÖNTEMİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Ahmet TÜRK
Abdullah HAMARAT
Yasin DURGUT

ÖZET

Bu çalışmada pistonlu basınç standartlarının efektif alan değerinin belirlenmesinde yüksek doğruluklu sayısal manometreden yararlanılmıştır. Sayısal manometre transfer standardı olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, hem referans hemde test pistonlu basınç standardı nominal olarak aynı basınç değerine yüklenmiş, daha sonra referans ve test cihazların ürettikleri basınç değerleri sırasıyla sayısal manometreden Labview programı kullanılarak okunmuştur. Yöntem olarak referans cihazın ürettiği basıncın test cihazın ürettiği basınçtan daha az olması sağlanmıştır. Referans cihazın efektif alan değeri bilindiğinden aradaki basınç farkını dengelemek için referans cihaz üzerine konulması gereken ilave kütle program tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Programın verdiği ilave kütle referans cihaz üzerine konularak her iki cihazın dengeye gelip gelmediği lazer düşme hızlarıyla kontrol edilmiştir. Sonuçların lazer düşme hızı sistemi ile belirlenen geleneksel yöntem ile uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Efektif Alan, Pistonlu Basınç Standartları, Karşılıklı Akışa Dayalı Yöntem.

ABSTRACT

In this study, digital manometer was used to determine the effective area of pressure balances. Both of reference and test piston-cylinder units were nominally loaded to the same pressure value. As a method, it is provided that the pressure produced by the reference device is less than the pressure produced by the test device. Since the effective area value of the reference device is well-known, the additional mass that must be placed on the reference device in order to compensate for the pressure difference is automatically calculated by the program. The additional mass given by the program was placed on the reference device and the laser fall rates were checked to see whether both devices were in equilibrium or not. Results are agree with each other.

Key Words: Effective Area, Pressure Balance, Cross-Float.

1. GİRİŞ

Pistonlu basınç standartları basınç metrolojisinde sıklıkla kullanılan referans cihazlardandır. Yüksek metrolojik özelliklerinden dolayı düşük belirsizlik ve yüksek doğruluk gerektiren basınç ölçümlerinde kullanılırlar. Pistonlu basınç standartlarının en önemli parçası piston-silindir ünitesidir. Silindir içerisinde serbestçe hareket edebilen piston üzerine konulan kalibreli kütleler yardımı ile istenilen basınç değeri oluşturulur. Elde edilen bu basınç değeri pistonun içerisinde yüzdüğü akışkan vasıtasıyla istenilen noktaya aktarılır.

Pistonlu basınç standartları basıncın tanımı ilkesine göre çalışır. Kalibreli kütlelerin oluşturduğu kuvvet, piston-silindir ünitesinin efektif alanı üzerinde basınca neden olur. Basınç hesabındaki en önemli parametrelerin başında piston-silindir ünitesinin efektif alan değeri gelmektedir. Bu nedenle, piston-silindir ünitesinin efektif alan değerinin çok hassas bir şekilde hesaplanması gereklidir.

Basınç metrolojisinde efektif alan değerinin hesaplanması için kullanılan farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin başında cross-float adı verilen karşılıklı akışa dayalı yöntem gelmektedir. Ancak geleneksel karşılıklı akışa dayalı yöntem oldukça uzun kalibrasyon süresi, operatöre bağımlılık, operatör kaynaklı hatalara açık olması vb. gibi nedenlerden dolayı zor bir kalibrasyon yöntemidir. Literatürde bu yöneme alternatif olabilecek yüksek metrolojik özelliklere sahip basınç dönüştürücüler kullanılarak geleneksel yöntemle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir [1][2].

2. KARŞILIKLI AKIŞA DAYALI YÖNTEM

Karşılıklı akışa dayalı yöntemde referans pistonlu basınç standardı ile test (altındaki) pistonlu basınç standardı aynı hatta bağlanır. Her iki pistonlu basınç standardı üzerine aynı basınca karşılık gelen kütleler nominal olarak yüklenir. Bu basınç altında cihazlar yeteri kadar bekletilip sıcaklık dengesi sağlandıktan sonra, cihazlar arasındaki vana kapalı durumda iken her iki piston-silindir ünitesinin doğal düşme hızları lazer yardımıyla ölçülür. Bu düşme hızı piston ve silindir arasındaki açıklığın profili ile doğrudan ilgili olduğu için, düşme hızları cihazlar için karakteristik bir özelliktir. Her iki cihazın doğal düşme hızları ölçüldükten sonra, cihazlar arasındaki vana açılır. Genellikle bu durumda, referans ve test pistonunun oluşturduğu basınçlar hassas olarak aynı olmadıklarından dolayı denge durumundan bahsedilemez. Basıncın daha fazla olduğu taraf doğal düşme hızından belirgin bir farkla daha hızlı düşerken, diğer piston ya daha yavaş düşer ya da yükselmeye başlar. Bu durum iki cihaz arasındaki denge durumunun oluşmadığı anlamına gelir.

Böyle bir durumda yükselen ya da daha az düşen cihazın üzerine ilave kütleler konularak denge sağlanmaya çalışılır. Genellikle bu kütleler miligramlar mertebesindedir. Dengenin sağlandığı durumda cihazların düşme hızları doğal düşme hızlarına eşittir ya da çok yakındır. Bu durumda hem referans hem de test cihazın aynı hatta oluşturduğu basınçlar eşittir. Bu basınç eşitliği kullanılarak test cihazının o noktadaki efektif alan değeri (1) numaralı formül kullanılarak hesaplanır.

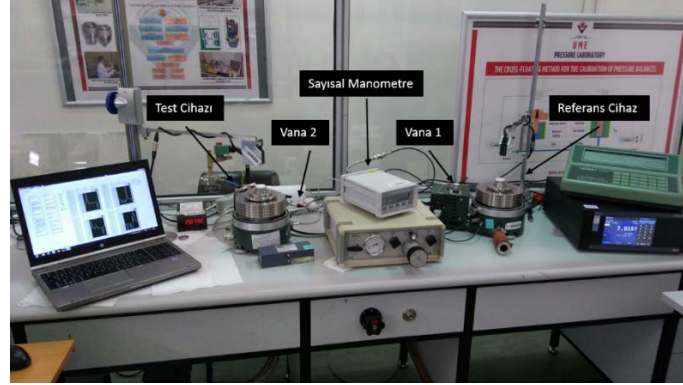
$$\frac{F_{ref}}{A_{ref}} = \frac{F_{test}}{A_{test}} + \Delta h \cdot \Delta \rho \cdot g \quad (1)$$

Karşılıklı akışa dayalı yöntemde artan ve azalan yönlerde 5 çevrim alınır ve her çevrimde test cihazının maksimum çalışma basıncını kapsayacak şekilde en az 6 farklı basınç noktasında ölçümler gerçekleştirilir. Ölçümler sonucunda hesaplamalar yapılarak, test cihazının her basınç noktasındaki efektif alan değerleri hesaplanır. En küçük kareler yöntemi kullanılarak hesaplanan efektif alan değerlerinin basınca bağlı denklemler elde edilir. Burada genellikle 1. dereceden denklem tercih edilir. Bazı durumlarda ise 2. dereceden denklem tercih edilebilir [3]. Elde edilen bu denklemler kullanılarak pistonlu basınç standardının 1 atm basınç ve 20 °C sıcaklıktaki efektif alan değeri ve basınç distorsiyon katsayısı elde edilir.

Efektif alan ve basınç distorsiyon katsayısı değerlerinin deneysel verilerin matematiksel olarak uygun metotlar kullanılarak elde edilmesinden sonra, bu değerlere ait belirsizlik hesaplamaları yapılarak test altındaki piston-silindir ünitesinin kalibrasyonu tamamlanmış olur.

3. SAYISAL MANOMETRE YARDIMI İLE KARŞILIKLI AKIŞA DAYALI YÖNTEM ÖLÇÜM DÜZENEGİ

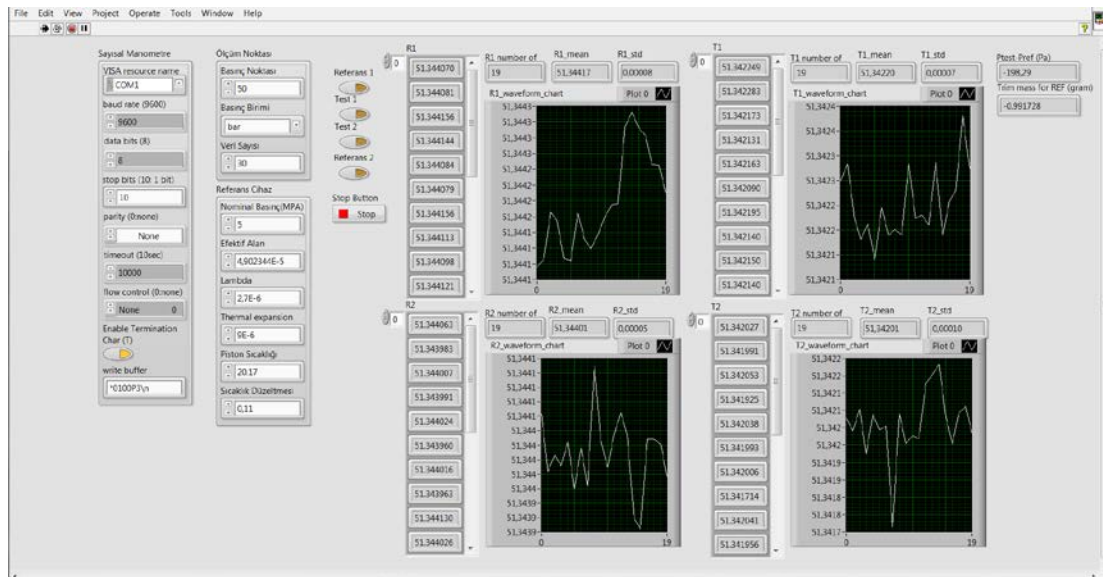
Sayısal manometre yardımı ile piston-silindir ünitesinin kalibrasyonuna ait görsel Şekil 1' de verilmiştir. Düzenekte iki adet vana, 1 adet sayısal manometre, referans cihaz, test cihazı, test piston ve referans piston için sıcaklık ölçerler, 2 adet kütle seti, hassas kütle seti, lazer düşme hızı ölçüm sistemi, mekanik bağlantı aparatları ve bilgisayar programı kullanılmıştır.



Şekil 1. Sayısal manometre yardımı ile karşılıklı akışa dayalı yöntem.

Düzenekte kullanılan sayısal manometre Paroscientific Model 745 olup 70 bar maksimum ölçüm kapasitesine sahiptir. Cihazın doğruluğu ise üretici firma tarafından %0,008 FS olarak beyan edilmiştir. Cihaz üzerinde RS-232 çıkışı mevcuttur. Sayısal manometreden veriler bilgisayar ortamına seri port üzerinden aktarılmıştır.

Düzenekte kullanılan vanalar mekanik vana olup sayısal manometre ile referans ve test cihaz arasındaki basınç iletimini kurmak ve kesmek amacıyla kullanılmışlardır. Sayısal manometre referans cihaz tarafından üretilen basıncı ölçerken 1 numaralı vana açık konumda, 2 numaralı vana ise kapalı konumdadır. Sayısal manometre test cihaz tarafından üretilen basıncı ölçerken 2 numaralı vana açık konumda, 1 numaralı vana ise kapalı konumdadır. Karşılıklı akışa dayalı yöntemin uygulanmasında ise her iki vanada açık konumdadır.



Şekil 2. Labview programı.

Sayısal manometre yardımı ile karşılıklı akışa dayalı yöntemin gerçekleştirilmesinde Şekil 2'de verilen program kullanılmıştır. Program Labview 2015 ortamında oluşturulmuştur. Program sayısal manometre ile seri port üzerinden VISA protokolünü kullanarak haberleşmektedir. Programa sayısal manometre ile haberleşebilmek için gerekli olan baud rate, stop bit, parity vb. gibi komutların kullanıcı tarafından girilmesi gereklidir. Diğer taraftan ölçüm yapılan basınç noktası, basınç birimi, her basınç noktasında sayısal manometreden kaç adet basınç değerinin örnekleneceği, kullanılan referans cihazın efektif alan değeri, basınç distorsiyon katsayısı, lineer genleşme katsayısı ve piston sıcaklığının girilmesi gereklidir.

Lazer düşme hızı ölçüm sistemi piston-silindir ünitelerinin doğal düşme hızlarının ölçülmesinde ve bilgisayar programı tarafından belirlenen hassas kütlelerin sisteme eklenmesinden sonraki düşme hızlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Lazer sistemi kullanılarak yeni yöntem ile klasik yöntemin ne kadar uyumlu olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

4. SAYISAL MANOMETRE YARDIMI İLE KARŞILIKLI AKIŞA DAYALI YÖNTEM

Bu yöntemde öncelikle referans ve test pistonlu basınç standartları nominal olarak aynı basınca yüklenir. Sayısal manometre yardımıyla hem referans hem de test cihazdan okunan basınçlar göz ile karşılaştırılır. Referans pistonlu basınç standardının gösterdiği basınç değerinin test pistonlu basınç standardının gösterdiği basınçtan daha az olması gerekir. Aksi takdirde test cihazı üzerine ilave kütleler konularak test cihazın ürettiği basıncın referans cihazdan daha fazla olması sağlanır. Bu durumun sağlanmasından sonra kapalı durumda olan her iki vanadan sayısal manometre ile referans cihaz arasında yer alan 1 numaralı vana açılır. Basınç değerinin istikrarlı hale gelmesi için 30 saniye beklenir. Bekleme süresi cihazdan cihaza farklılık gösterebilir. Bekleme süresi sonunda bilgisayar programı kullanılarak sayısal manometreden referans cihazın ürettiği basınç değerleri toplanır. Program toplam 30 adet basınç verisini her 2 saniyede bir basınç verisi alacak şekilde ayarlanmıştır. Referans cihazdan istenilen sayıda veri alınmasından sonra program otomatik olarak veri almayı sonlandıracaktır.

Daha sonra 1 numaralı vana kapatılarak, test cihazı ile sayısal manometre arasındaki 2 numaralı vana açık konuma getirilir. Tekrar hattaki basıncın dengelenmesi için 30 saniye beklenir. Bu süre sonunda bilgisayar programı kullanılarak bu kez sayısal manometreden test cihazının ürettiği basınç değerleri toplanır. 3. adımda 2 numaralı vana kapatılıp tekrar açılır. Bekleme süresinden sonra sayısal manometreden test cihazının oluşturduğu basınç değerleri toplanır. Son olarak 4. adımda 2 numaralı vana kapatılarak referans cihaz ve sayısal manometre arasındaki 1 numaralı vana açık konuma getirilir [1]. Bekleme süresinden sonra referans cihazın oluşturduğu basınç değerleri sayısal manometreden toplanır. Elde edilen basınç değerleri program tarafından kullanılarak referans ve test cihazı arasındaki basınç farkı hesaplanır. Bu basınç farkına karşılık gelen hassas kütle program tarafından hesaplanarak kullanıcı ara yüzünde gösterilir. Böylelikle o basınç noktası için ölçümler tamamlanmış olur.

Yapılan ölçümlerde her basınç noktasında program tarafından verilen hassas kütle değerleri referans pistonlu basınç standardına eklendikten sonra test ve referans cihaz arasındaki vanalar açılarak denge durumu lazer ile kontrol edilmiştir. Dengenin sağlanmadığı durumlarda ilave kütleler kullanılarak sistem dengeye getirilmiştir. Böylelikle hem sayısal manometre yöntemi hem de lazer düşme sistemi yöntemi karşılaştırılmıştır.

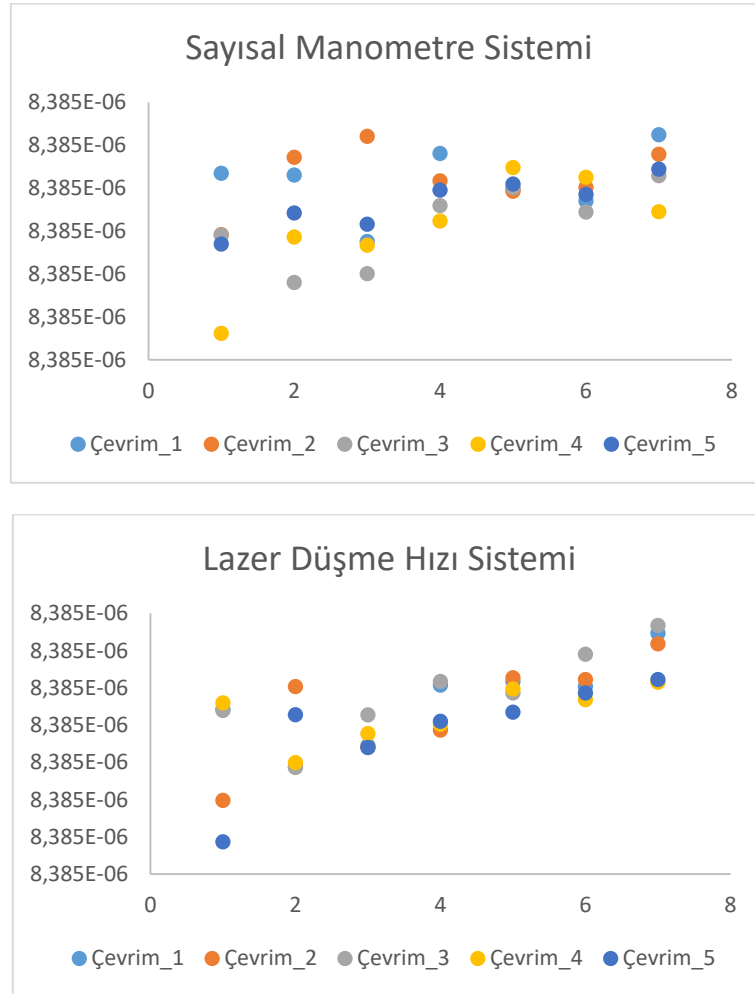
Ölçümler esnasında sayısal manometreden alınan verilerin standart sapma değerleri incelenmiştir. Standart sapma değerlerinin genellikle 10 Pascal değerinden az çıktığı görülmüştür. Standart sapmanın beklenenden çok yüksek çıktığı birkaç durum gözlemlenmiştir. Bu durumlarda o nokta için aynı prosedür izlenerek ölçüm istenilen standart sapma elde edilinceye kadar tekrarlanmıştır.

Yüksek doğruluklu sayısal manometre yardımıyla yapılan kalibrasyon işlemi 5 çevrim ve her çevrimde 7 basınç noktasında gerçekleştirilmiştir. Aynı prosedür geleneksel yöntem içinde uygulanmıştır. Tablo 1' de her iki yöntem ile yapılan kalibrasyon işlemi sonucunda elde edilen efektif alan, belirsizlik ve E_n değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Efektif Alan Değerleri.

Sayısal Manometre İle Karşılıklı Akışa Dayalı Yöntem			Lazer Düşme Sistemi İle Karşılıklı Akışa Dayalı Yöntem			E _n
Nominal Değer	Hesaplanan Ortalama Efektif Alan	Alan Belirsizliği	Nominal Değer	Hesaplanan Ortalama Efektif Alan	Alan Belirsizliği	
MPa	x 10 ⁻⁴ m ²	x 10 ⁻⁴ m ²	MPa	x 10 ⁻⁴ m ²	x 10 ⁻⁴ m ²	
1	0,08385420	0,00000235	1	0,08385364	0,00000194	0,18
2	0,08385431	0,00000211	2	0,08385369	0,00000178	0,22
3	0,08385427	0,00000209	3	0,08385370	0,00000176	0,21
4	0,08385439	0,00000207	4	0,08385382	0,00000176	0,21
5	0,08385441	0,00000210	5	0,08385389	0,00000175	0,19
6	0,08385438	0,00000204	6	0,08385392	0,00000175	0,17
7	0,08385447	0,00000208	7	0,08385404	0,00000176	0,16

Tablo 1 incelendiğinde sayısal manometre yardımıyla karşılıklı akışa dayalı yöntemde elde edilen efektif alan değerleri ve belirsizlikleri, lazer düşme hızı yöntemi ile elde edilen efektif alan değerleri ve belirsizlik değerlerinden daha yüksektir.

**Şekil 3.** Basınç-Efektif Alan Grafikleri.

Tablo 1’de verilen efektif alan değerlerine ait grafikler ise Şekil 3’te verilmiştir. Grafiklere göre cihazın yüksek basınç değerlerindeki tekrarlanabilirliği düşük basınç değerlerindeki tekrarlanabilirliğinden daha iyidir. Diğer taraftan her iki grafik incelendiğinde lazer düşme hızı sistemi ile elde edilen efektif alan değerlerinin birbirleri ile daha uyumlu olduğu görülmektedir. Lazer sistemi ile elde edilen efektif alan değerlerinin artan basınçla orantılı olarak arttığı gözlenirken, diğer yöntemde ise efektif alan değerlerinin artan basınçla bazen azaldığı durumlarda gözlemlenmiştir.

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Her iki yöntemle elde edilen her basınç noktasındaki efektif alan değerlerine ait E_n hesaplamaları (Tablo 1), sonuçların birbiri ile uyumlu olduğunu göstermektedir. E_n değerinin en yüksek olduğu basınç noktasındaki efektif alan değerleri arasındaki fark yaklaşık 7 ppm, E_n değerinin en düşük olduğu noktada ise yaklaşık 5 ppm olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara dayanarak her iki yöntemin birbiri ile uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Kobata T., Olson A. D., (2005), “Accurate determination of equilibrium state between two pressure balances using a pressure transducer”, Metrologia 42 (2005) S231–S234
- [2] Scherschligt J., Olson D., Yang Y., (2016) “Pressure Balance Cross-Calibration Method Using a Pressure Transducer as Transfer Standard”, NCSL Int Meas. 2016
- [3] EURAMET (2011), Calibration of Pressure Balances, EURAMET cg 3, European Association of National Metrology Institutes.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet TÜRK

1984 Bozüyük doğumludur. 2007 yılında Boğaziçi Üniversitesi Fizik Öğretmenliği bölümünden dereceyle mezun olmuştur. 2014 yılında TÜBİTAK UME Basınç laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 2018 yılında uzman araştırmacı ünvanını almıştır. 2019 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fizik Bölümünden Yüksek lisans derecesiyle mezun olmuştur.

Abdullah HAMARAT

1975 Yenice/Çanakkale doğumludur. 1996 yılında İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2002 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Bölümü’nde yüksek lisansını tamamlamıştır. 1997-2002 yılları arasında özel sektörde enerji, teknik servis, proje yöneticiliği gibi çeşitli alanlarda çalışmıştır. 2002-2007 yılları arasında TÜBİTAK-UME Basınç Laboratuvarı’nda araştırmacı olarak çalışmıştır. 2007-2018 yıllarında özel sektör proje yöneticisi, laboratuvar teknik müdürü ve laboratuvar müdürü görevlerinde bulunmuştur. Haziran 2018’den bu yana TÜBİTAK-UME Basınç Laboratuvarı’nda araştırmacı olarak çalışmaktadır.

Yasin DURGUT

1975 Akşehir doğumludur. 1997 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Yine aynı yıl Ege Üniversitesi Yabancı Diller Bölümü İngilizce hazırlık Programı'nı bitirmiştir. Sonrasında Alcatel Telekomünikasyon A.Ş.'de 2000-2004 yılları arasında çeşitli telekomünikasyon projelerinde çalışmıştır. Durgut, 2006 yılında ise Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi İşletme Bölümü'nü bitirmiştir. 2016 yılında Fizikte doktora çalışmasını dinamik basınç ölçüleri konusunda tamamlayarak doktor ünvanı almıştır. Yasin Durgut, proje yöneticisi PMP (Project Management Professional) sertifika derecesine sahiptir. 2004 yılından bu yana TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Basınç Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak çalışmaya devam etmektedir. Çeşitli dergilerde, ulusal ve uluslararası konferans ve kongrelerde yirminin üzerinde yayını bulunmaktadır. Aktif olarak Turkak'ta basınç alanında TS EN ISO/IEC 17025 kapsamında denetçilik faaliyetlerini sürdürmektedir.