

# DİNAMİK BASINÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİNİN KALİBRASYON METOTLARI

Yasin DURGUT  
İlknur KOÇAŞ

## ÖZET

Bu yayında, dinamik basınç metrolojisinin ulaştığı son noktayı görebilmek açısından, dinamik basınç ölçümlerinin doğası ve neden dinamik basınç ölçmeye ihtiyacımızın olduğu açıklanarak, dinamik basınç ölçümlerinin bazı kullanım alanları hakkında bilgi verilmiştir. Kısaca dinamik basınç dönüştürücülerinin fiziksel yapılarının nasıl olduğu açıklanmış, dinamik basınç dönüştürücülerinin kalibrasyonlarının dinamik yöntemlerle yapılabilmesi amacıyla geliştirilmiş olan ve kullanılan yöntem ve sistemler incelenmiştir. UME'de bu alanda kullanılan yöntem ve sistemlerle ilgili de bilgi aktarılmıştır.

## 1. GİRİŞ

Hızla değişen ve gelişen endüstriyel ve bilimsel çalışmalarda, bazı uygulama alanları için yapılan statik basınç ölçümleri sistem ile ilgili tam olarak tatmin edici bilgi sağlayamamaktadır. Sistemdeki basıncın, dinamik olarak çok küçük zaman birimlerindeki değişiminin ve davranışının ortaya konulması gerekmektedir. Bu amaçla ortaya çıkmış olan dinamik basınç metrolojisi alanında, dinamik olarak sistemdeki basıncı ölçebilecek dinamik basınç dönüştürücüleri, yükselteçler ve göstergeler üretilmiştir.

Aynı zamanda dinamik basınç dönüştürücülerinin ve beraberinde kullanılan diğer bileşenlerin dinamik olarak kalibrasyonlarının yapılarak izlenebilirliklerinin sağlanmasına yönelik çalışmalar da yapılagelmiştir.

Bir sensörün doğru ölçüm yaptığından emin olabilmek için, sensörün kalibre edilmiş olması gereklidir.

Uygulamalarda yapılan ölçümün dinamik karakteristikleri ve ölçüm sonucu ve belirsizlik parametrelerinin bizim için önemli ise, bu tür sensörlerin kalibrasyonları dinamik ölçüm koşulları altında yapılmalıdır. Yapılacak ölçümlerden emin olmamız demek, sensörün ürettiği çıkışın doğru ve güvenilir olması demektir ki bu da bize üretim süreçlerinde gelişme ve iyileşme, maliyetlerde azalma, bir işin defaten yapılması sonucu ortaya çıkacak maliyeti azaltma, verimlilikte artış olarak geri dönmektedir.

## 2. DİNAMİK BASINÇ NEDİR?

Yapılan bir ölçümde, ölçülen fiziksel büyüklük zamanla değişiyorsa ve bu değişim ölçüm sonucu açısından kayda değer bir önem taşıyorsa bu ölçümü, dinamik bir ölçüm olarak tanımlayabiliriz. Bu tür bazı ölçümlerde ölçümün sadece maksimum yani tepe değeri önemliyken, bazı ölçümlerde ise ölçümün zamana göre değişimi ya da belli bir zaman aralığı içindeki aldığı değerler önemli olabilir.

Geniş bir endüstriyel yelpazede düzenli olarak yapılan bazı ölçümler vardır ki doğaları gereği dinamik bir yapı arz ederler ve zamana bağlı bir değişim içindedirler. Örneğin, araba motoru silindiri içindeki basınç ölçümü, kan basıncı ölçümü, balistik ve mühimmat testleri gibi ölçüm parametreleri zamana bağlı değişim gösterirler ve dinamik bir yapıyı temsil ederler. Bir top mermisinin ateşlendiği andan itibaren namlu içindeki basıncın tekrar atmosfer basıncına eşit hale gelene kadar geçen zaman diliminde, namlu içindeki basınç zamana bağlı olarak değişim göstermesi bir dinamik basınç örneğidir.

Günümüzde endüstride birçok tip sensör basınç, kuvvet, tork, sıcaklık ve titreşim gibi fiziksel parametrelerin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Dolayısıyla, farklı disiplinler ve ölçüm karakteristikleri için farklı yapıda, farklı tipte ve farklı çalışma özelliklerinde sensörlerin kullanıldığı söylenebilir. Sensörlerin dinamik özelliklerinin bir sonucu olarak farklı tip sensörler arasında büyük farklılıklar olmaktadır. Dinamik basınç ölçüm uygulamalarında kullanılan bazı farklı algılayıcı tipleri şunlardır:

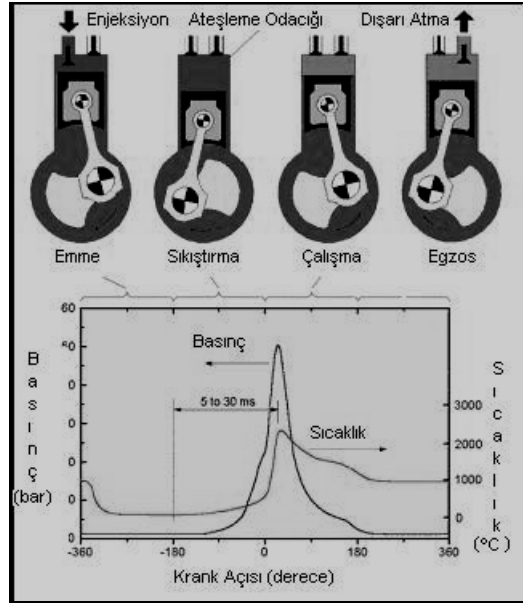
- Yarıiletken piezorezistive sensörler,
- Piezoelektrik sensörler,
- Gerinim ölçerler,
- Mikroelektromekanik sistemler (MEMS)

### 3. DİNAMİK BASINÇ ÖLÇÜMLERİ VE UYGULAMA ALANLARI

1960'lardan sonra uzay ve havacılık sektöründeki hızlı gelişmeler, ileri silah sistemleriyle ilgili çalışmalar, şok dalgaları, patlatma ölçümleri, roket ateşleme sistemleri ve balistik ölçüm parametreleriyle ilgili olarak yüksek frekanslı ölçüm yapabilen basınç sensörleri ihtiyacını doğurmuştur. O zamanda piezoelektrik algılayıcılar, sınırlı frekans aralıklarında ölçüm yapıyorlardı ve akustik ve motor ateşleme sistemleri uygulamalarında kullanılabiliyorlardı.

Günümüzde birçok ölçüm ve kontrol sürecinde, zamana bağlı olarak değişen parametrelerin ölçülmesi gerekli hale gelmiştir. Böylece ölçüm sonucu içinde, anlık olarak ölçülen değer ne olduğundan çok, bu değeri ölçmekte kullandığımız sensörün ya da enstrümanın ürettiği çıkış sinyalinin ölçüm sonucu içinde zamana göre davranışının belirlenmesi önemli hale gelmiştir. Günümüzde çeşitli bilimsel ve teknolojik alanda dinamik ölçümler yapılmaktadır. Zamana bağlı değişen basınç seviyeleri ile ilgili çalışmalar günümüzde gaz tirübün karakteristiklerinde, içten yanmalı motorlarda, havacılık ve biyomedikal cihazlarda yapılmaktadır. Ölçüm yapılan sistemde sadece dinamik basınç sensörünün dinamik karakteristiğini belirlemek yeterli olmaz, kullanılan yükselteç, çevirici ve göstergenin de içinde bulunduğu sistemi ele almak gerekir.

Doğru dinamik basınç ölçümleri, ürün gelişme ve kontrol süreçleri için girdi teşkil eder. Bazı uygulama alanlarını; Motor Silindiri İçindeki Basınç Ölçümleri, Otomotiv Uygulamaları, Turbomakineler, Aerodinamik, Robotik, Tıp ve Ergonomi, İnfalak (patlama) Dalgaları, Balistik Ölçümler ve Akustik olarak sıralayabiliriz. Uygulama örnekleri şekil1 - şekil 8 arasında verilmiştir.



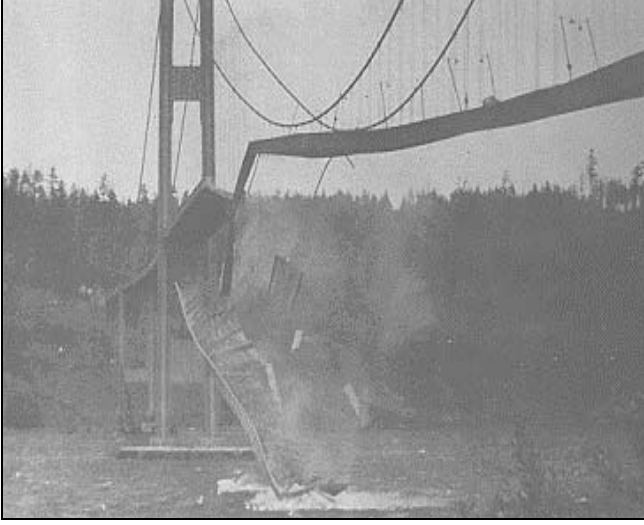
Şekil 1. Silindirin 4 farklı konumu için basınç ölçümü [1].



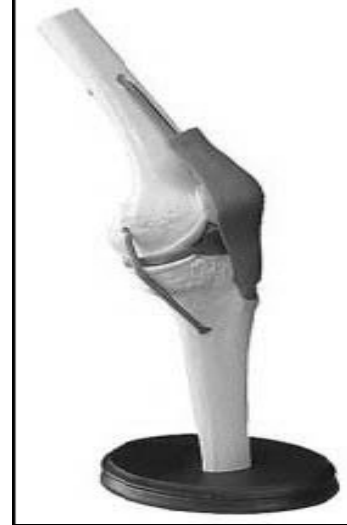
Şekil 2. Hava yastığı üretiminde dinamik basınç ölçümleri [1].



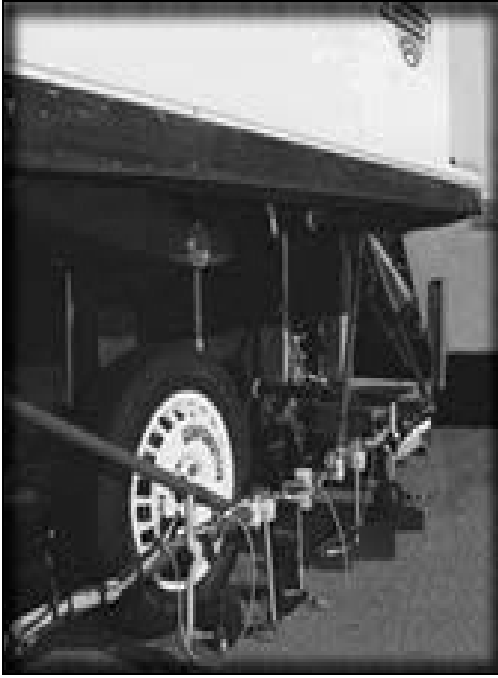
Şekil 3. Test aşamasında bir jet motoru [1].



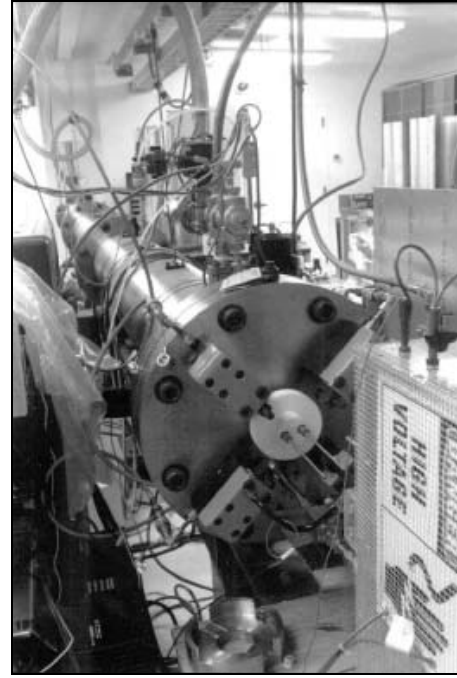
**Şekil 4.** Tacoma Narrows köprüsü üzerine etkiyen kuvvetler köprü süspansiyonuna zarar veriyor, 1940 [1].



**Şekil 5.** Biyomedikal diz modeli [1].



**Şekil 6.** Lastik gürültüsü ve yol yüzey yapısı arasındaki ilişkinin araştırılması [1].



**Şekil 7.** Patlama test tüpü [1].



**Şekil 8.** Yüksek hacimli plastik bileşenler için enjeksiyon kalıbı [1].



**Şekil 9.** Füzenin uygun bir durumda fırlatılması için iç balistik dinamik basınçın bilinmesine ihtiyaç vardır [1].

#### 4. DİNAMİK BASINÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİ

Statik ölçümler için bir basınç dönüştürücüsü, çıktının, girişin değişimine oranı olan hassasiyeti ile tanımlanır. İyi bir doğrusal dönüştürücü için hassasiyet, güç çeviricinin ölçüm aralığı içinde pratik olarak sabittir. Dinamik ölçümlerde ihtiyaç duyulan bilgi, zamanla değişen basıncı ölçme kapasitesidir. Bahsedilen bu kapasitenin bulunması için izlenen yollardan biri de ilgili dönüştürücü için elde edilen çıkışın sistem girişine oranını ifade eden fonksiyonunun yani transfer fonksiyonunun bulunmasıyla mümkün olabilmektedir.

Dinamik basınç sensörlerinde ise girdi zamanla değiştiğinden girdi değişiminin çıktı değişimine oranı statik dönüştürücülerden farklı olarak sabit değildir. Dinamik sensörlerinde sadece sensörün hassasiyetinin tayini karakterizasyonu için tek başına yeterli değildir. Dinamik kalibrasyonlarda, hem dinamik hem de statik durumların olduğu senaryolarda, sensörün davranışını ortaya koymak için kazanç ve fazın frekansın bir fonksiyonu olarak bulunması gerekir. Bu transfer fonksiyonunun bulunması için ise harmonik ve tranzient metotları uygulanır. Bu metotların uygulanması için ise dinamik basınç dönüştürücüleri kalibrasyonunda farklı çalışma prensibine sahip jeneratörler kullanılmaktadır.

Ulusal bir metroloji laboratuvarında statik bir basınç kalibrasyonlarında kullanılan pistonlu basınç standartları için belirsizlikler ppm cinsinden ifade edilmektedir. Genlik ve frekans dinamik basınç dönüştürücüleri için ise kullanılan belirsizlik ifadeleri yüzde cinsinden ifade edilmektedir. Genlik ve frekans dinamik basınç kalibrasyonları için söz konusu kalibrasyon aralığı oldukça geniştir: Örneğin, 50 KHz frekansta 13 Pa basınç uzay çalışmalarında kullanılırken, 10 MHz frekansta 1 GPa basınçlarda patlatma uygulamaları da yapılmaktadır.

Basınç dönüştürücü mekanik bir yapıdır. Dinamik basınç ölçümlerinde ise, titreşim, rezonans, ses iletimi, stres ve gerinim uygulamaları ve güç transferi uygulamaları yapılabilmektedir. Sensörün yapısı, düşük, orta ve yüksek frekanslar için uygundur.

## Piezoelektrik Etki ve Kuartz Sensör Yapılar

Piezoelektrik etki, Pierre ve Jacques Curie tarafından 1880'de keşfedildi. 1950'lerde bu alanlarda ticari gelişmeler yaşandı. Piezoelektrik ölçme sistemleri, aktif elektrik sistemleridir. Kuartz kristaller, üzerlerine gelen yük değişimi ile doğrudan orantılı pikokolon(PC) birimiyle ifade edilen bir elektriksel yük çıktısı oluşturmaktadırlar.

Piezoelektrik malzeme için bu konuda sözsahibi şirketlerden Kistler, büyük çoğunlukla kuartz kristalleri kullanmaktadır. Bunun yanında piezo-seramik ve mikro yapıda işlenmiş silikon yapılar da piezo elektrik etkiye sahiptirler. Üretimi yapılan bu tür kuartz yapıya sahip cihazlar, kuvvet, basınç, ivme ya da gerinim gibi fiziksel parametreler açısından optimize edilerek kalibrasyonları yapılır ve kullanıma sunulurlar.

## 5. DİNAMİK BASINÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİNİN KALİBRASYON METOTLARI

Çoğu uygulamada, basınç dönüştürücüleri, basınç terazileri kalibrasyonları gibi standart prosedürler uygulanarak statik olarak kalibre edilirler. Bazı durumlarda ölçüm belirsizliği, dönüştürücünün statik kalibrasyonundan ya da sistemin dinamik karakteristiğinden tahmin edilir. Bununla birlikte, bu prosedürler sensörün dinamik davranışı hakkında bilgi vermez. Bu durumda ancak sensörün cevap zamanı, doğal frekansı ve sönümlenme oranı gibi bazı dinamik karakteristik bilgilere ulaşabiliriz. Bu bilgiler sensörün farklı frekans aralıklarındaki davranışını tam olarak anlamamız için yeterli değildir.

Dinamik basınç kalibrasyonlarının aksine, statik basınç kalibrasyonları açısından kullanılan metotlar oldukça gelişmiştir. Mutlak, bağıl ya da fark basınç ölçümleri ya da vakum, düşük vakum, basınç, yüksek basınç gibi farklı genlikte basınç aralıkları için kabul edilmiş yöntemler oluşturulmuş ve standart hale getirilmiştir. Ancak dinamik basınç kalibrasyonları açısından hali hazırda primer standartlar yaygın bir şekilde oluşturulamamıştır.

Dinamik basınç kalibrasyonu, bilinen statik referans basınç değerinden hızlı açılabilen vanalar kullanarak aniden basıncı düşürme yöntemiyle yapılabilmektedir. Ya da bir transfer standart kullanmak suretiyle hidrolik impulse karşılaştırma yöntemi kullanılabilir. Bu konuda diğer bir yöntem de şok tüplerinin kullanılmasıdır. Kullanılan kalibratör tipine ve basınç ortamına bağlı olarak istenilen basınca milisaniye ya da mikro saniye sürelerinde erişilebilir.

Sensörün dinamik kalibrasyonu ya da bir sistemin dinamik ölçümü, test cihazlarının dinamik davranışlarını belli bir belirsizlikle bulmak demektir. Bunu yapmak için ise zamanla değişen, güvenilir, kontrol edilebilen bir dinamik basınç üreten sistem kullanılmalıdır. Bu basınç sinyali kalibrasyon için referans sinyal olarak kullanılır. Bu sinyal ise dinamik basınç jeneratörlerinden elde edilir. Kullanılan basınç jeneratörünün tipi, hem kalibrasyon prosedürünü hem de kalibre edilen sensörün tipini etkiler.

Dinamik basınç jeneratörleri periyodik ve aperiodyk olmak üzere ikiye ayrılır:

### 1. Periyodik Basınç Jeneratörleri

Bu türdeki jeneratörler bir sinüzoidal sinyal üretirler.

### 2. Aperiodyk Basınç Jeneratörleri

Bu türdeki jeneratörler ise ya step sinyal ya da impuls sinyal üretirler.

## 5.1 Periyodik Basınç Jeneratörleri

Periyodik jeneratörlerin kullanıldığı uygulamalarda, frekansı bilinen bir sinyal kalibre edilecek sensöre uygulanır. Uygulanan sinyal harmonik, kare dalga ya da başka bir periyodik sinyaldir.

### 5.1.1 Akışkan Kolonlu Periyodik Jeneratör

Sıvı dolu bir kolon içindeki sıvının dikey olarak ivmelendirilmesi sayesinde sinüs sinyal üreten bir periyodik jeneratör elde edilmiş olur.

### 5.1.2 Dönen Vana

Referans basınç, dönen bir vana sayesinde iki ya da daha fazla basınç noktası arasında anahtarlama sistemiyle değiştirilerek test cihazına uygulanır. Uygulanan basınç kare dalga şeklindedir.

## 5.2 Aperiodyk Basınç Jeneratörleri

### 5.2.1 Hızlı Açılabilen Vana Sistemi

Bu jeneratörde, oranları 1/3000'den daha büyük iki farklı hacim, hızlı açılabilen bir vana ile ayrılmıştır.

### 5.2.2. Şok Tüpü

Şok tüpleri dinamik sıcaklık ve basınç sensörleri kalibrasyonları için son derece uygun cihazlardır. Bir şok tüp cihazı farklı basınç değerlerinin olduğu ve bir membran ile ayrıldığı iki farklı hacimden oluşur. Membranın yırtılmasıyla tüp içinde harekete geçen şok dalgası kalibre edilecek sensöre ulaşır.

### 5.2.3. Ağırlık Düşürülmesi

Dönüştürücünün aperiodyk yüklemesi için en kolay yöntemlerden biridir. Sıvı ortamdaki bir pistonu bir ağırlık düşürülerek, bu basıncın dönüştürücüye etkimesi şeklinde olur.

### 5.2.4. Pistonlu Basınç Standardı Kullanarak Negatif Yönde Basınç Uygulanması

Bu yöntem laboratuvarımızda da uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde referans cihaz olarak oluşturduğu net basınç hassas olarak bilinen bir pistonlu basınç standardı kullanılır. Dinamik basınç dönüştürücü yükseltici ve göstergesi beraber sisteme bağlanır ve dönüştürücü, değeri çok hassas olarak bilinen statik bir basınca pistonlu basınç cihazı sayesinde yüklenir. Yüklenen bu basınç noktasından aniden atmosfer basıncına, yani bağıl olarak sıfır basınca düşülür ve dönüştürücünün gösterdiği değer okunur. Bu yöntemde yüklenen tepe noktası referans kabul edilir ve sıfıra düşüldüğü zaman dönüştürücü göstergesi kaydedilir. Dönüştürücünün belirli hassasiyet değeri için basınç dönüştürücünün okuduğu basınç değerleri rapor edilir.

## SONUÇ

Son yıllarda hızlı bir teknolojik ve bilimsel gelişmelerin yaşandığı ve uygulandığı, başta savunma sanayi ve enerji sektörü olmak üzere, doğru ölçüm yapılması, ölçüm prosedürlerinin ve metodolojilerinin geliştirilmesi ve sonuçların yorumlanarak uygulanabilir hale getirilmesi, metrolojik kalitenin artmasıyla mümkün olacaktır.

Dinamik basınç ölçümleri açısından konuya yaklaşırsak, mevcut bir sürecin en can alıcı noktasında yeralan ölçümlerin doğruluğundan emin olmak demek, kullanılan ölçüm enstrümanlarından ve yöntemlerinden emin olmak anlamına gelmektedir. Dünyada NIST ve LNE-ENSAM Laboratuvarları'nda mevcut olan primer seviye dinamik basınç ölçüm sistemlerinin yanında diğer ülkelerde de bu konularda ciddi çalışmalar yürütülmektedir. TÜBİTAK UME Basınç Laboratuvarı'nda bu konuyla ilgili olarak 800 MPa kapasiteli ikinci seviye bir dinamik basınç ölçüm sistemi kurulmuştur ve dinamik basınç dönüştürücülerinin kalibrasyonları yapılmaya başlanmıştır. Yine sektörel gelişmelere paralel olarak UME Basınç Laboratuvarı dinamik basınç ölçümleri konusunda yurtiçi kurumlara hizmet vermekte ve bu kurumlarla ortak çalışmalarını ve birlikteliklerini sürdürmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] HJELMGREN, J., "Dynamic Measurement of Pressure – A Literature Survey", SP Swedish National Testing and Research Institute SP Measurement Technology SP REPORT 2002:34.
- [2] DAMION, J.P., "Means of Dynamic Calibration for Pressure Transducers", Metrologia 1993/94.30.743-746.
- [3] BEAN, V.E., "Dynamic Pressure Metrology", Metrologia 1993/94.30.737-741.
- [4] KISTLER, Piezoelektrik Theory, 20.290e-05.04.
- [5] LALLY, J., CUMMISKEY, D., "Dynamic Pressure Calibration" PCB Piezoelectronics, Inc., www.pcb.com.
- [6] ALBERTO C. G. C., DINIZ, ALESSANDRO B. S., OLIVERIRA, JOAO NILDO DE SOUZA VIANNA, FERNANDO J.R., NEVES
- [7] www.npl.co.uk.

## ÖZGEÇMİŞLER

### 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.

Yasin Durgut, merkezi ABD'de bulunan Project Management Institute üyesi olup bu enstitüden PMP (Project Management Professional) sertifika derecesine sahiptir. 2004 yılından itibaren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Basınç Grubu Laboratuvarı'nda çalışmaktadır. Laboratuvar bünyesinde her türlü basınç ölçerin kalibrasyon faaliyetleri, laboratuvar ve Tübitak projeleri ve yayın faaliyetleri alanlarında çalışmalarını sürdürmektedir.

### İlknur KOÇAŞ

1967 İstanbul doğumludur. 1988 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliğinden mezun olmuştur. 1991 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans programı'nı, tamamlamıştır. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Konstrüksiyon Bilim Dalı'nda Doktora eğitimini 1999 yılında tamamlamış olup, 1990 -2000 yılları arasında aynı üniversitenin Konstrüksiyon Anabilim Dalı'nda öğretim görevlisi olarak çalışmıştır. 2000 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Basınç Laboratuvarı'nda başladığı görevi 2001 yılından bugüne Basınç ve Vakum Laboratuvarları'nın sorumlusu olarak sürdürmektedir. Basınç Metrolojisi alanında İtalya (INRIM) ve Fransa (LNE) Metroloji Enstitüleri'nde laboratuvar eğitimlerine ve ABD de gelişmiş basınç ölçer sistemlerinin kullanımı eğitimlerine katılmıştır. Halen BIPM CCM "high pressure working group" üyesi ve IMEKO üyesi olarak ülkemizi basınç metrolojisi alanında temsil etmektedir. TÜRKAK sektör komitesi üyesi olan İlknur Koçaş TÜRKAK tarafından gerçekleştirilen denetimlerde denetçi olarak görev almaktadır.