

MAKALE

FARKLI AMAÇLAR İÇİN İMAL EDİLMİŞ TEST ODALARININ ÇALIŞMA ŞARTLARI VE ENERJİ TÜKETİMLERİ*

OPERATING CONDITIONS AND ENERGY CONSUMPTION OF
TEST ROOMS PRODUCED FOR VARIOUS PURPOSES

BARBAROS BATUR, M. CEM ÇELİK, MUAMMER AKGÜN

**Bu makale, 17-20 Nisan 2019 tarihleri arasında gerçekleştirilen 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi'nde (TESKON 2019) sunulmuş ve bildiri kitabında yayınlanmıştır.*

HAKEMLER**

A. İbrahim ATILGAN, Yrd. Doç. Dr.
Abdülvahap YİĞİT, Prof. Dr.
Ahmet CAN, Prof. Dr.
Ali GÜNGÖR, Prof. Dr.
Arif HEPBAŞLI, Prof. Dr.
Aytunç EREK, Prof. Dr.
Bedri YÜKSEL, Prof. Dr.
Dilek KUMLUTAŞ, Prof. Dr.
Fikret PAZIR, Prof. Dr.
Hüsamettin BULUT, Prof. Dr.
İlhan Tekin ÖZTÜRK, Prof. Dr.
İsmail KARAÇALI, Prof. Dr.
M. Barış ÖZERDEM, Prof. Dr.
M. Turhan ÇOBAN, Doç. Dr.
Macit TOKSOY, Prof. Dr.

Mehmet KANOĞLU, Prof. Dr.
Moghtada MOBEDİ, Doç. Dr.
Muhsin KILIÇ, Prof. Dr.
Mustafa ACAR, Prof. Dr.
Olca KINCAI, Prof. Dr.
Orhan BÜYÜKALACA, Prof. Dr.
Ramazan KÖSE, Prof. Dr.
Rasim KARABACAK, Prof. Dr.
Recep YAMANKARADENİZ, Prof. Dr.
Selami KESLER, Yrd. Doç. Dr.
Serhan KÜÇÜKA, Prof. Dr.
Y. Onur DEVRES, Prof. Dr.
Tuncay YILMAZ, Prof. Dr.
Turan ERKAN
Yunus ÇERÇİ, Prof. Dr.

**Alfabetik olarak sıralanmıştır. Makale/Makaleler, kurulda yer alan ve değerlendirme yapmak üzere seçilen hakemler tarafından incelenmiştir.

ÖZET

Sıcaklık ve nem kontrolü yapılabilen test odaları ya da iklimik test odaları, termal çevre şartlarını simüle ederek, çok farklı amaçlarla kullanılabilir. Örneğin iklim şartlarının, üretilen malların ve malzemelerin, örneğin dış ortamda kullanılan elektronik malzemelerin üzerindeki uzun süreli etkilerini gözlemlemeye yarar. Ayrıca sıcaklık ve nem kontrolü yapılabilen test odalarıyla, buzdolabı, ısıtıcı, nemlendirici ve parçalarının performanslarının test edilmesine de yarar. Testleri yapılan farklı ürünler içinde; her çeşit fabrika üretim mamulleri, yiyecek prosesi, paketlenmiş mamullerin, basınç, sıcaklık, nem gibi çevre şartlarının, ani değişim, sürekli değişim karşısında dayanıklılığı, kalitesindeki değişim, ürün pazara ulaşmadan gözlenebilir.

Test odalarının enerji tüketimleri fazladır. Soğutma ünitelerinde, hızı kontrol edilebilen kompresörlerin farklı hızlarda çalıştırmasıyla, farklı çevre şartlarının oluşturularak, test odalarını sıcaklık ve nem değerlerinin kararlılığı ve bu sıradaki oluşan enerji tüketimi bilinmesi yararlı olur.

Bu bildiriye sıcaklık ve nem kontrolü yapılabilen farklı test odalarının basitçe kullanım amaçları ve yapılarının farkları anlatılmıştır. Ayrıca test odalarının kontrol sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Örnek bir test odasında farklı kompresör hızları, enerji tüketimi gibi değişkenlerle, test odası, buharlaştırıcı çıkışı ve elektrikli ısıtıcı boyunca değişen sıcaklık değişimleri arasındaki bağıntılar gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: klimatize test odaları, test odaları, test odalarının kontrolü

ABSTRACT

Environmental chambers with temperature and humidity control, in other words the climatic chambers, are used to observe the long-term effects of climatic conditions, manufactured goods and materials, for example on outdoor electronics, by simulating thermal environmental conditions. In addition, test rooms with temperature and humidity control, can also be used to test the performance of a refrigerator, heater, humidifier and their components. Tests are performed in different products such as all various factory production products, processed food, packaged products. Alterations in quality or reliability of products due to sudden or

continuous change of environmental conditions such as pressure, temperature and humidity can be observed even before reaching the market.

Environmental chambers have relatively high energy consumption. In refrigeration system, different environmental conditions can be generated by operating the compressors at various speeds. It is important to ensure the stability of temperature and humidity values of the climatic test rooms and to know the energy consumption that occurs during the operation period.

In this study, the structure of temperature and humidity controlled test chambers and the information about the energy consumption in different conditions are surveyed. In an exemplary test chamber, correlations between variables such as different compressor speeds, energy consumption, and temperature changes across the test chamber are investigated.

Keywords: climatic test chambers, test chambers, climatic test chambers control

1. GİRİŞ

2018-01 tarihli, IEC (International Electronic Commission) 60068-3-6, Çevresel Testler-Bölüm 3-6: Dokümantasyon ve rehberliğin desteklenmesi-Sıcaklık/nem odasının performansının doğrulanması Standartı çerçevesinde imal edilecek test odaları ile sıcaklık ve nem kontrolü yapılabilen iklimik test odaları ile termal çevre şartlarının simülasyonu yapılabilir. Böylece iklim şartlarının buzdolabı, ısıtıcı, nemlendirici ve parçalarının performansları ya da ürünler, paketlenmiş mamüller ve yiyecekler gibi ürünlerin farklı sıcaklık, nem veya basınç altındaki çevre şartlarında veya çevre şartlarının ani değişikliklerinde dayanıklılığı, uğradığı kalite değişiklikleri gözlemlenebilir.

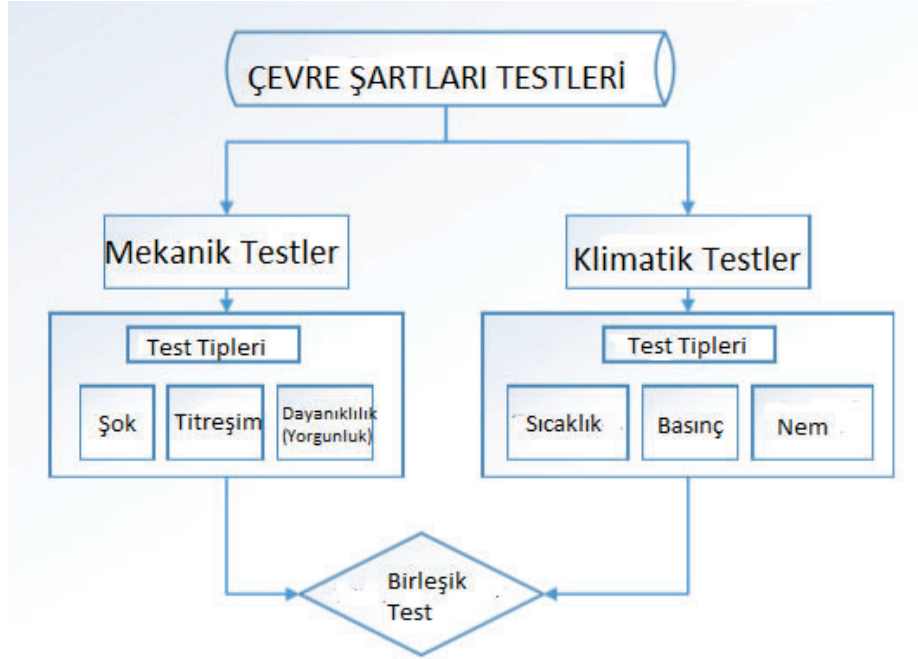
Bu bildiriye, son yıllarda çıkan yayınlar etrafında, imal edilmiş çeşitli test odalarının tasarım ve kontrol yöntemleri anlatılmaktadır.

Bir konvansiyonel sıcaklık ve nem test odasında, hava sirkülasyon fanları, soğutucu ünite, elektrikli ısıtıcı ve nemlendirici yer alır. Böylece termal çevre şartlarının simülasyonu yapılabilir [5, 7, 9, 3, 11, 10].

2. KLİMATİK TEST ODALARI

Şekil 1’de kullanım şartlarının simülasyonunu yapan testlerin çeşitli kategorilerini ve yapılan testlerin bazı örneklerini göstermektedir.

Klimatik test odaları, basınç, nem veya sıcaklığı ayarlanabilir oda olması yanında titreşim, termal şok ve stres testlerinin de yapıldığı ürünlerin performansını ölçmek için kullanılırlar.



Şekil 1. Çevre testleri için bir örnek test grubu [9].

Mevcut test odalar, estetik özelliklere sahiptir ve araştırmacıların ürünleri daha hızlı test etmelerini sağlayan daha kolay işletim imkanı sağlarlar. Çevre şartlarının simülasyonunu yapan test odalarındaki geliştirmenin en önemli noktası kontrol elektroniğinde olmuştur. Bu gelişme, operatörlerin test numunesinin koşullarını kolaylıkla gözlemlemesini ve programlamasını sağlar. Çalışma ortamı ve çevre koşullarının çeşitliliği ile enerji tüketimi açısından bu çevre odalarının performansları ve çevre test odaları hakkında bilgi çok az literatürde bulunur.

3. TEST ODALARINDA SICAKLIK VE NEM KARARLILIĞI

Bir iklimatik test odasında sabit koşulların elde edilmesi, test örneklerinin performansını ve durumunu izlemek için çok önemlidir. Üretilen ürünlerin ve test numunelerinin korunmasında sıcaklık ve nem kontrolü kritik öneme sahiptir. Bu da bize iklimatik test odalarının parametrelerinin sınırlarını belirlemede yardımcı olur. Örneğin sıcaklığın hızlı bir şekilde artması, bozulma reaksiyon oranını ve

erime konusunda ısıya duyarlı malzemelerin bozulma tehlikesini artırır. Göreceli olarak nem oranında olan değişiklik, higroskopik materyallerde (örneğin ahşap ve diğer organik materyallerde) boyutsal değişikliklere neden olmaktadır. Bu da duyarlı malzemelerde tabakaların ayrılmasıyla (delaminasyonla) sonuçlanır. En büyük zorluklardan biri de, üretim düzeyinde ürün testini gerçekleştirirken sıcaklık ve nem test odalarının sıcaklık ve kabul edilebilir sıcaklık aralıklarına ulaşmak olmuştur. Sadece aç-kapa (on-off) kontrol sistemleri, özel regülatörlerin kullanılması ve yalıtım amaçlı özel izoleli kaplamaların kullanılması gibi yöntemler, hem iç hem de dış ortamlardaki sıcaklık ve nemden dolayı bozulmaları her zaman önlemeye yeterli olmaz. Bu nedenle, sabit sıcaklıklı bir odada minimum bir sıcaklık sınırını sağlamak için, elektrikli ısıtıcı girişlerindeki periyodik ısıtma sıklığının bir limiti aşmaması gerekir [6]. IEC60068.2,3 ve ISO 17025.15 prosedürleri, çeşitli çevresel test odaları için kabul edilebilmektedir. Prosedürler, bir sıcaklık artışı sağlamak amacıyla çevresel test odaları için bir dizi kalibrasyon yöntemi ve kılavuzları sunar.

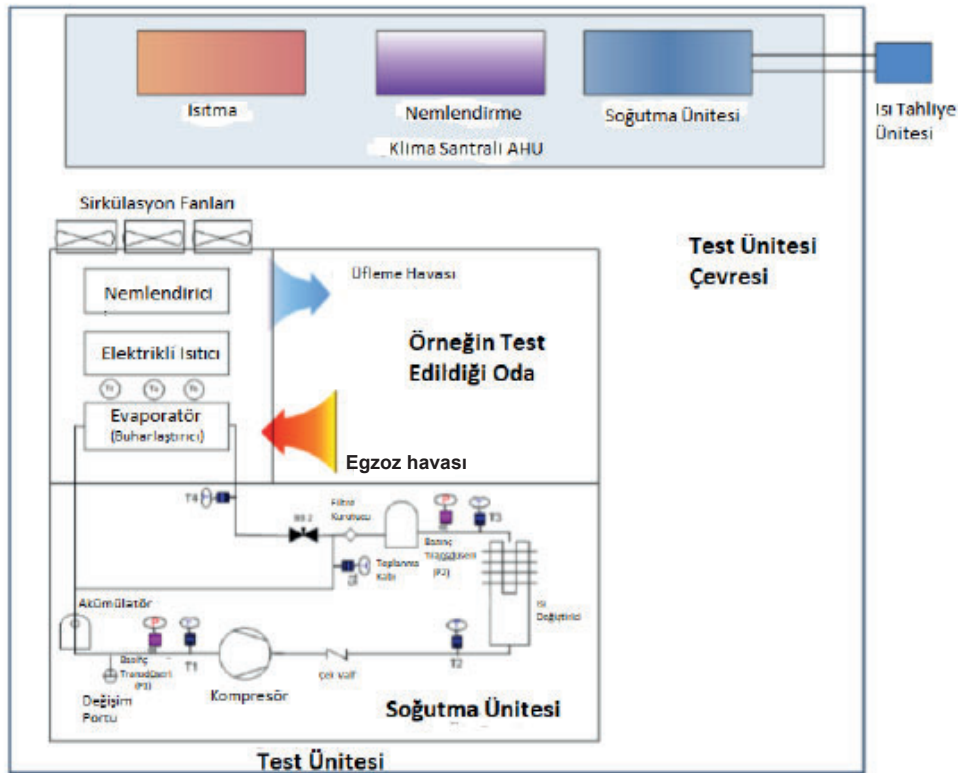


4. KLİMATİZE TEST ODALARINDA SICAKLIK VE NEM KONTROLÜ İÇİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Genel olarak, sıcaklık ve nem odaları gibi iklimatik odalarda, çalışma odası, test edilecek ürünün yerleştirildiği alandaki boşluğu ifade eder. Şekil 2'de gösterildiği gibi, hava sirkülasyon fanları kullanılarak çalışma odasındaki hava sürekli olarak çevrilir. Sirkülasyon havası, birbirinin ardına, soğutucunun buharlaştırıcısı, elektrikli ısıtıcı ve nemlendiricinin içinden geçer. Soğutma ve nem alma işlemi, soğutma sisteminin buharlaştırıcısı (evaporatör) kullanılarak sağlanmıştır. Sıcaklık ayarı için elektrikli ısıtıcı kullanılır. Test odasındaki nem, odadaki dolaşan havaya nemlendirici tarafından su buharı eklenerek ayarlanır [9].

Şekil 2' de bir test ünitesi için şematik diyagram gösterilmiştir [9]. Test ünitesi, test koşullarını sağlamak amacıyla, elektrikli bir ısıtıcı, nemlendirici ve soğutma ünitesi bulundurur. Test örneğindeki çalışma odasının büyüklüğü 0,82 m., 0,7 m., 0,7 m. olarak alınmıştır [9]. Soğutma sistemi odanın alt bölümüne monte edilirken, test odası sistemin üst bölümünde yer almıştır. Çeşitli kompresör hızlarında test yapmak için invertör kontrollü bir kompresör

kullanılmıştır. Bir sıcaklık ve nem test odasının prosedürü için genel olarak kabul edilmiş bir standart bulunmadığından, seçilen örnekte test odasında güç ve enerji tüketimi açısından deneyler, -20°C ile 45°C arasında değişen sıcaklık aralığında yapılmıştır. Bu koşullarda bağıl nem % 25 ile % 55 aralığında değişmiştir. Test odasında yukarıda belirtilen çalışma koşullarını sağlamak için kompresör hızı 25 ile 60 Hz arasında değiştirilmiştir (60 Hz elektrik olan ülkeler için). Test odasını çevreleyen ortamın, test odası şartlarını değiştirmesini engellemek için, çevredeki kuru termometre sıcaklığı 27°C , yağ termometre sıcaklığı 19°C 'ye sabitlenmiştir. Sistem ve çevresi sabit bir duruma geldikten sonra, deney verileri 2 dakika aralıklarla 30 dakika boyunca sürekli olarak kaydedilmiş ve daha sonra test süresi boyunca ortalama değerler alınmıştır. Oda içindeki koşullar, kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nem sensörüyle sırasıyla, $0,1^{\circ}\text{C}$ ve %0,5 doğrulukla ölçülmüştür. Şekil 2'de gösterilen deney düzeneğindeki seçilen yerlerdeki soğutucu akışkan sıcaklıkları ve basınçları, termokupullar ve basınç transdüserleri kullanılarak ölçülmüştür. Elektrikli ısıtıcı girişindeki havanın sıcaklığını izlemek için ısılıçiftler kullanılmıştır. Bu durumda istenilen sıcaklık $\pm 1^{\circ}\text{C}$ hata ile, istenilen bağıl nem ise $\pm 2\%$ hata ile sağlanabilmiştir.



Şekil 2. Örnek olarak imal edilen bir 400 l'ik test odasındaki ayarlar

365\$'a mal olan 19,6m³ (2,1×2,6×3,6 m.) bir test odası da ilginç bir diğer örnektir [2]. Bu ucuza imal edilmiş odada, 100°C'ye ayarlanan test odası sıcaklığını, araştırmacılar 102,3°C ile 99,2°C sıcaklıklar arasında tutmayı başarmışlardır. Test odası, 30°C, 55°C ve 85°C sıcaklıklarda da denenmiştir. İlk yarım saatlik bir geçici rejimden sonra bu sıcaklıklarda da en fazla ±0,5°C hata ile test odasını kararlı sıcaklıklarda tutabilmişlerdir.

İlginç başka bir uygulamada, sıcaklığın tavşanlar üzerinde etkilerini izlemek için kurulmuş olan bir iklimik test odasıdır [4]. Tavşan üretimi için kısıtlayıcı faktörlerden en önemlilerinden biri, üreme ve büyüme performansını olumsuz yönde etkileyen yüksek sıcaklıktır. Bu çalışmada, tavşanların üreme performansı arttırmak için, sıcaklığın etkileri üzerinde çalışılmıştır. Çalışmada, 42 tavşanı barındıracak şekilde yapılmış bir test odasının (13 × 4.7 × 3.1 m) tasarım ve çalışma özellikleri açıklanmıştır. Test odası sistemi, Entegre Geliştirme Ortamı (IDE) yazılımı tarafından programlanan bir Arduino platformu tarafından kontrol edilmekte ve her dakika yeni bir karar verebilmektedir. Sıcaklık, programlanan ayar değerinden (set değeri) düşükse ısıtıcı çalıştırmakta, sıcaklık programlanan ayarın üzerine çıkarsa egzoz fanlarını devreye girmektedir. İç mekan havasını yenilemek için, her 5 dakikada bir sistem ısıtmayı kapatmakta ve egzoz fanlarını 15 saniye boyunca çalıştırmaktadır. Test odasında sıcaklık kontrolünü test etmek için, hayvanlı ve hayvansız olarak iki farklı koşulda kontrol yapılmıştır. İlk olarak, hayvanlar olmadan, iki farklı test yapılmış: (i) iklimsel oda sıcaklığının kontrol evi sıcaklığına artı 10°C'ye ve (ii) günlük minimum (32°C) ve maksimum (37°C) sıcaklıklara göre ayarlanmıştır. İkincisi, hayvanlarla (i) günlük minimum (32°C) ve maksimum (37°C) arasında 48 saat ve (ii) günlük minimum (25°C) ve maksimum (35°C) arasında tutulmuştur. 105 gün boyunca her iki testte bulunan sıcaklık aralığında ölüm oranları kaydedilmiştir [4].

5. KLİMATİK TEST ODALARININ KONTROLÜ

Bilimsel araştırma ve üretim uygulamalarının pek çok alanında, sıcaklık ölçülmesi ve kontrol edilmesi gereken önemli bir fiziksel niceliktir. Neredeyse tüm fiziksel ve kimyasal işlemlerle yakından ilgilidir ve endüstriyel üretim süreci ve kalitesi üzerinde büyük etkisi vardır. Özellikle metalurji, kimya, biyoloji, makine, hassas aletler alanlarında, sıcaklığı doğru ve etkili bir şekilde ölçen alanlarda yüksek kalite, yüksek

verim, düşük tüketim ve güvenlik gibi önemli sonuçları vardır. Farklı çevre koşulları ve üretim süreçleri için hangi sıcaklık kontrol yapısının kullanılacağına karar verilir. Ölçüm sıcaklığının zamanında ve doğru bir şekilde elde edilmesi ve etkin bir şekilde kontrol edilmesi, üretim uygulamalarında ve bilimsel araştırmalarında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir noktadır. Örnekleme, aktarma ve ölçülen sıcaklık alanını doğru bir şekilde kontrol edebilmek için, sıcaklığın gerçek zamanlı olarak nasıl hızlı bir şekilde sağlanacağı, çözülmesi gereken temel bir problemdir. Son yıllarda, hızla gelişen bulanık kontrol, sinir ağı, genetik algoritma ve öngörücü kontrol algoritması gibi akıllı kontrol yöntemleri sıcaklık kontrol sisteminde uygulanmakta ve iyi sonuçlar alınmaktadır. Bulanık kontrol teknolojisi, sıcaklık kontrolü için önemli akıllı kontrol teknolojilerinden biri olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Geleneksel PID'nin doğrusal olmaması nedeniyle geleneksel lineer GP ve CPI metodlarına karşı avantaj sağlar [1].

Bulanık teori, Profesör Lotfi A. Zahed tarafından matematiksel bulanık küme teorisinden hareketle geliştirildi. 1965 yılında Amerika'da Berkeley Üniversitesi'nde elektrik mühendisliği bölümünde bulunan L.A. Zadeh, "Bulanık Küme" başlıklı bir makale yayınladı. Makalede, Geleneksel PID denetleyicisinin temelinde, bulanık PID denetleyicisi, bulanık sapma teorisini, kontrol sapma ve sapma yokluğuna göre kullanıldığını ifade etti. Sistemlerin sıcaklık kontrolü için, orantılı, integral ve diferansiyel kontrol olan PID kontrol algoritmasının kullanılabilirliğini ifade etmiştir [4]. Günümüzde endüstriyel işlem kontrolünde bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

Test odası sıcaklık kontrol sistemi temel olarak mikroişlemci, klavye ekran devresi, sensör sinyal ölçüm devresi, veri toplama sistemi, alternatif kontrol devresi ve direnç fırın ısıtma devresinden oluşur. Sistem, fırının rezistans sıcaklığını ve fırının mevcut sıcaklığını ölçen platin direnç sıcaklık sensörünü kullanır ve devredeki değerleri ölçerek sıcaklık değerini yükselttikten sonra devreyi tekrar tekrar ölçmeye devam eder. Daha sonra gerçek zamanlı örnekleme verileri elde eder ve veriler işleme için mikrobilgisayara gönderilir. Mikrobilgisayar, fırındaki mevcut sıcaklığa ve önceden ayarlanan sıcaklığa dayalı verileri karşılaştırır. Kontrol algoritmasına göre, sıcaklık, ısıtma için kullanılan direnç teli üzerinden kontrol devresi yoluyla arttırılabilir. Böylece belirli bir sıcaklık aralığı değişmeden sabit tutulmuş olur [8].



Kontrol algoritması geçmişteki bir veri setinin çalışma koşullarına dayalı yapılıdır [12]. Bununla birlikte kontrol hacmini belirlemek için mevcut durum ve gelecekteki olası çalışma şartlarını belirlemek gerekir. Sıcaklık kontrol süreci için doğru matematiksel bir model oluşturmak zor ve karmaşıktır. Öncelikle kontrol algoritması taslağı oluşturulur. Bu algoritmaya dayanan test odası sıcaklığı, hassas kontrol modelini oluşturarak, izin verilen aralığa içinde kalan sapmalara olanak sağlar.

Araştırma sonuçları, sadece üretim prosesi hassas sıcaklık kontrolü teorisini geliştirmenin dışında, bilimsel araştırma, öğretim faaliyetleri, güvenilirlik testleri, okul deneyi öğretimi vb. için de kullanılabilir. Uygulama büyük gelişmelere açıktır [8].

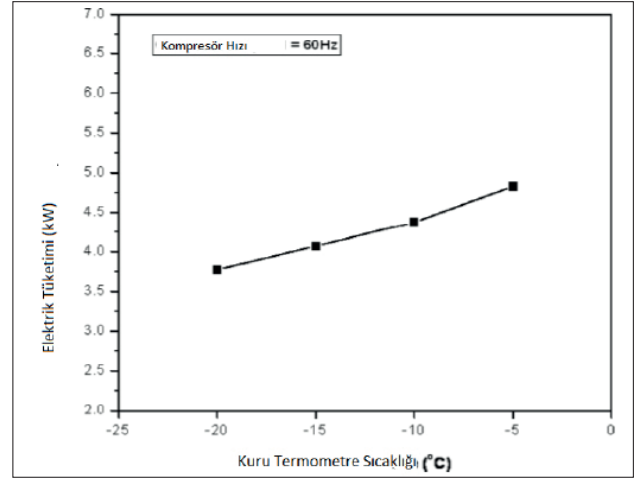
Yukarıda bahsedilen tavşanların yaşadığı iklimik test odasının kontrolü için; kontrol sistemi tasarımında açık kaynaklı, esnek bir mikro denetleyici ve programlanması daha kolay olması nedeniyle Arduino kontrol sistemi kullanılmıştır. Bu ortam Java dilinde yazılmıştır. Bu örnekteki test odasında sistem her bir dakika bir karar almaktadır.

Program, gerçek değeri okur, sıcaklık programlanan ayardan düşüğe ısıtmayı çalıştırır, sıcaklık programlanan seviyenin $0,5^{\circ}\text{C}$ üzerinde ise havalandırmayı açar. Elektrikli dirençler, ısıtma sistemi çalışırken dakikada sadece 20 sn boyunca devreye girer. Bu durum rezistansların bozulmasını önler ve ortamdaki havanın eşit sıcaklık dağılımını sağlamak için havayı hareket ettirir. İç havayı değiştirmek için de, sistem her 5 dakikada bir ısıtmayı kapatır ve temiz hava sağlamak için 15 saniye boyunca havalandırmayı açar [4].

6. ÖRNEK BİR KLİMATİK TEST ODASININ PERFORMANSI

-20°C ve 45°C kuru termometre sıcaklık aralığında çalıştırılan ve 0°C nin üzerindeki sıcaklıklarda %40 bağıl nemde kabul edilen şartlarda, 60Hz'lik sabit kompresör hızına sahip bir konvansiyonel klasik iklimik test odaları incelenmiştir [9].

Şekil 3, kuru termometre sıcaklığının değişmesine bağlı olarak güç tüketimindeki değişimi göstermektedir. Kuru termometre sıcaklığı -20°C ila -5°C arasında değişir.



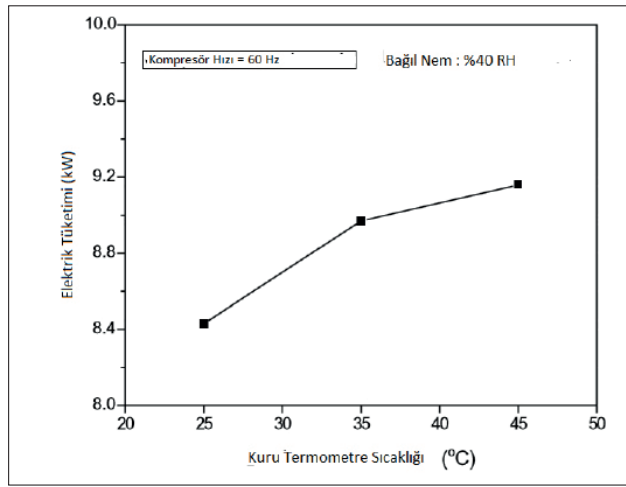
Şekil 3. Test ünitesi elektrik tüketiminin kuru termometre sıcaklığı ile değişimi

Şekil 4 ise test odasının elektrik enerjisi tüketimi ile test odasının kuru termometre sıcaklığı bağıntısını göstermektedir.

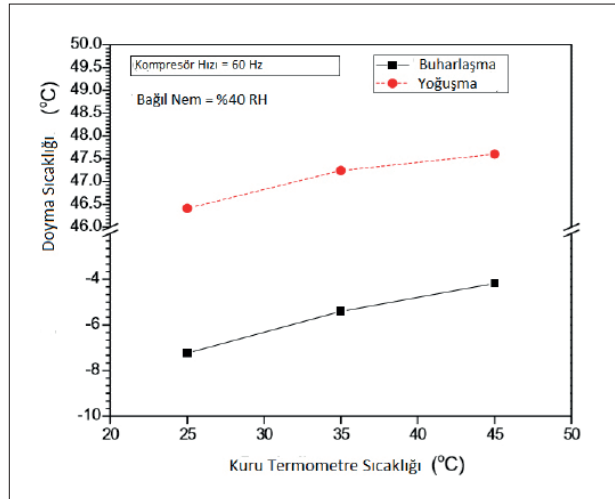
Düşük sıcaklık koşullarında (negatif sıcaklıklar) test odasının bağıl neminin sıfır olduğu varsayılır. Bağıl nemin sıfır olduğu varsayıldığından, nemlendirici otomatik olarak kapatılır. Test yüksüz şartlarda yapılmalıdır. Yüksüz şart, sıcaklık ve nem odasına hiçbir test numunesinin yerleştirilmediği koşulu ifade eder. Sabit bir kompresör hızı için, kuru termometre sıcaklığının artırılmasının test ünitesinin güç tüketiminde bir artışa yol açtığı gözlenmektedir. Genel olarak, buhar sıkıştırımlı soğutma ünitesinin soğutma kapasitesi, buharlaştırıcı giriş hava sıcaklığının artmasından dolayı artar. Bu işlem sırasında güç tüketimi kompresörün basınç oranının düşmesinden dolayı azalır. Test odasının toplam enerji tüketimi, soğutma ünitesinin enerji tüketimi azalmasına rağmen artmaktadır. Bunun nedeni, elektrikli ısıtıcının verdiği enerjinin artmasının, buzdolabının enerji tüketimindeki düşüşten daha yüksek olmasıdır. Elektrikli ısıtıcının verdiği ısı, buzdolabı kapasitesinin artmasından dolayı artar. Şekil 5'te ayrıca, ayarlanmış kuru termometre sıcaklığı 25°C ila 45°C arasında değiştiğinde ve %40 sabit bağıl nemde olduğunda, test ünitesi güç tüketimindeki bir artışı göstermektedir.

Kuru termometre sıcaklığındaki bir artış, soğutma ünitesinin yoğunlaşma ve buharlaşma sıcaklıklarında bir artışa neden olur. Bununla birlikte, buharlaşma sıcaklığındaki artış oranı, Şekil 6'da gösterilen çalışma koşulu için yoğunlaşma sıcaklığındaki artış hızından daha yüksektir. Geleneksel test ünitelerinde, →

soğutma ünitesinin soğutma kapasitesi, sıcaklık ve nem test odaları için beklenen en düşük sıcaklık şartlarında seçilir. Bununla birlikte, değişen kuru termometre çalışma sıcaklığının bir sonucu olarak, soğutma ünitesinin değişen buharlaşma sıcaklığının, soğutma ünitesinin değişen bir soğutma kapasitesine yol açacağı belirtilebilir. Bu nedenle, sistemin odalarının soğutma kapasitesinin performansı için, değişken çalışma koşullarına göre sıcaklık ve nemin ayarlanması zorunludur.



Şekil 4. Test ünitesi elektrik enerjisi tüketiminin kuru termometre sıcaklığı ile değişimi

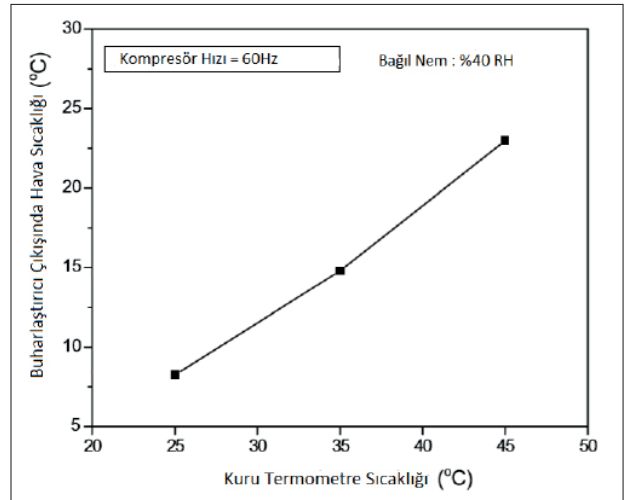


Şekil 5. Soğutma ünitesi doyma sıcaklığının test ünitesi kuru termometre sıcaklığıyla değişimi.

Şekil 6, kuru termometre sıcaklığı ile buharlaştırıcı çıkış sıcaklığındaki değişimini göstermektedir. Kuru termometre sıcaklığının arttırıldığında buharlaştırıcı çıkış havası sıcaklığını da arttığı ve odanın kuru termometre sıcaklığının artma oranının buharlaştırıcı çıkış havası sıcaklığından

daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni, soğutma sıcaklığının artmasına bağlı olarak buzdolabının soğutma kapasitesinin artmasıdır. Buharlaştırıcı, ısıtıcı ve nemlendirici, Şekil 2'de gösterildiği gibi ard arda konumlandırılır.

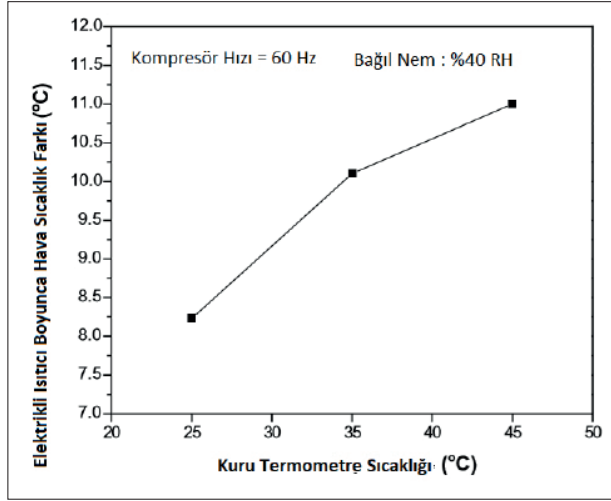
Buharlaştırıcının çıkış havası sıcaklığındaki kuru termometre sıcaklığında daha küçük bir artış hızı, giriş boyunca hava sıcaklığı belirgin bir artışa neden olur ve Şekil 7' de gösterildiği gibi kompresör hızı ve bağıl nem için elektrikli ısıtıcının çıkış sıcaklık farklarında bulunan bu değişkenlik, belirli çalışma koşulları için test ünitesi dengesini etkileyebilir. Bu nedenle, elektrikli ısıtıcı ve nemlendiricideki sıcaklık değişiminin en aza indirilmesi ve test örneğinin performansının etkin bir şekilde izlenmesi için çok önemlidir.



Şekil 6. En yüksek kompresör hızında kuru termometre sıcaklığı ile buharlaştırıcı çıkış havası sıcaklık değişimi

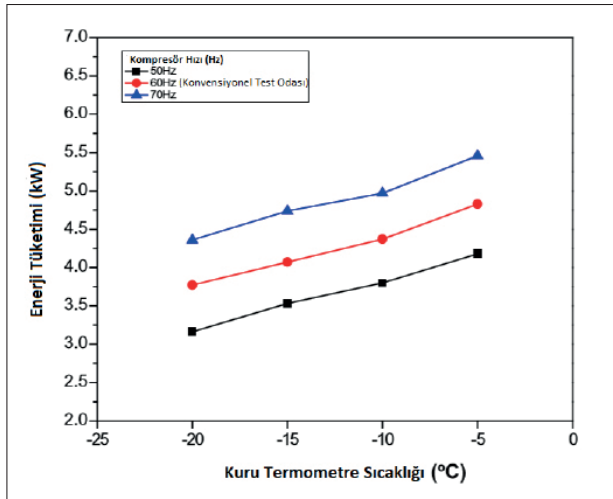
Belirtilen analiz ve gözlemlerden de faydalanarak, sistem performansını artırmak ve enerji tasarrufu sağlamak için test ünitesinin soğutma kapasitesinin ve test ünitesindeki sistem dalgalanmasının çalışma koşullarına göre ayarlanması ve optimize edilmesi önerilmektedir. Test birimlerinin soğutma ünitesinin çalışma durumuna göre ayarlanması ve soğutma ünitesinin çalışmasının en aza indirgenmesi ile konvansiyonel enerji tüketimini azaltılması hedeflenir. Bunun için test ünitesinin sıcaklığını en aza indirmek ve sistem dengesini artırmak için soğutma ünitesine adapte edilmiş değişken hızlı kompresör teknolojisini kullanma potansiyeli araştırılmaktadır.





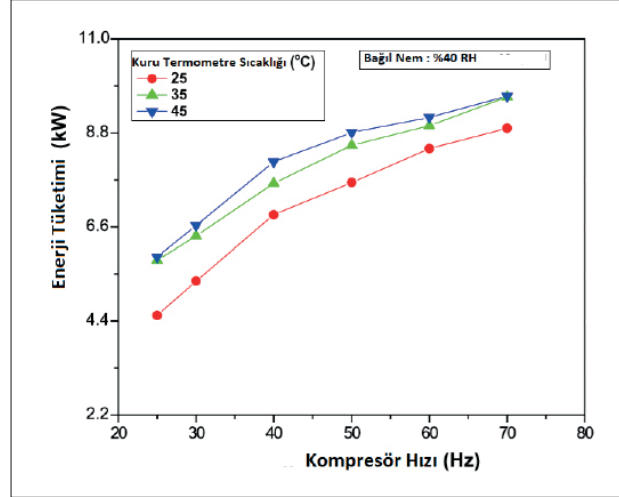
Şekil 7. Isıtıcı genelinde kuru termometre sıcaklığı ile hava sıcaklığı değişimi

Şekil 8' de görülebileceği gibi, 20°C sıcaklık değişiminde, kompresörün 50, 60 ve 70Hz frekansında çalıştırılmasında aynı ayar şartlarında enerji tüketim eğrilerinin korunduğu görülmektedir. Ancak, 60Hz'de (konvansiyonel test odalarını simüle eder), güç tüketimi 3.77kW iken, 50Hz'de güç tüketimi 3.16kW olarak ölçülmüştür. Bu, kompresörü minimum 50Hz hızında çalıştırmanın, sıcaklık ve nem test odalarının enerji tüketimini en aza indirmenin yolu olduğu anlamına gelir. Kuru termometre sıcaklığı -20°C ile -5°C arasında değiştiğinde de benzer bir eğilim görülebilir.



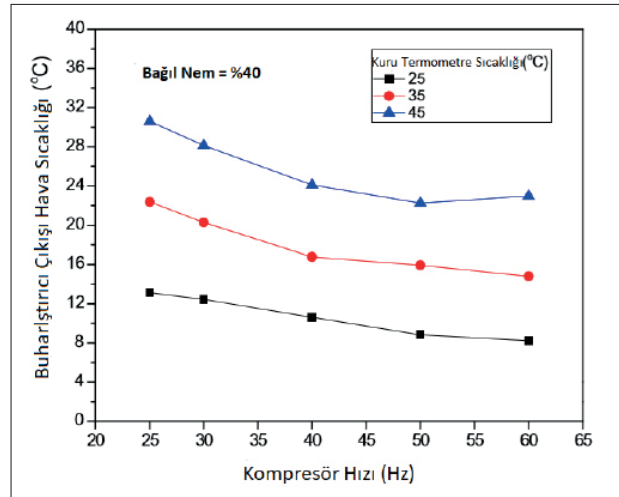
Şekil 8. Enerji tüketiminin odanın kuru termometre sıcaklığına ve kompresör hızına göre değişmesi

Şekil 9'da, sabit %40 bir bağıl nemde, 25°C, 35°C ve 45°C kuru termometre sıcaklıkları için kompresör hızlarının değişmesine bağlı olarak güç tüketimindeki değişimi gösterilmektedir.



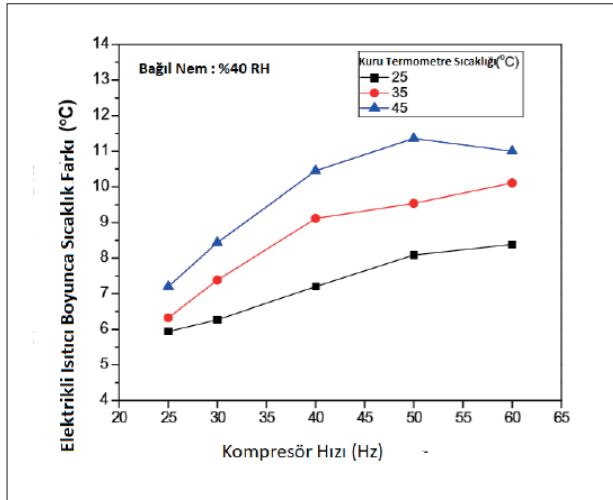
Şekil 9. Çeşitli kuru termometre sıcaklıkları için kompresör hızına göre güç tüketimi değişimi

Test ünitesinin 45°C kuru termometre sıcaklığı çalışma koşulları korunurken, kompresör hızını 25 ila 70 Hz değiştirmenin mümkün olduğu görülmektedir. 25 Hz'lik bir kompresör hızında enerji tüketimi 5.9 kW iken, 70 Hz'de 9.66 kW'lık bir enerji kaydedilmiştir. Bu durum Şekil 9' da görüldüğü gibi, güç tüketimini azaltmak için 60 Hz (geleneksel test ünitesinde olduğu gibi) veya 70 Hz yerine, test ünitesini minimum kompresör hızında (25 Hz) çalıştırmanın daha iyi sonuç vereceği anlamına gelir.

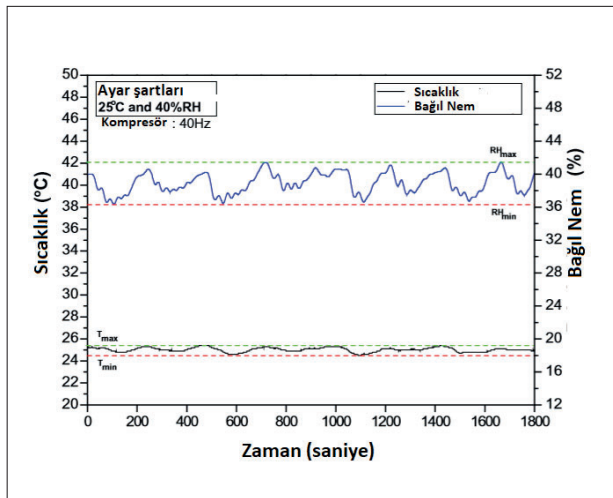


Şekil 10. Kompresör hızı ile birlikte buharlaştırıcı çıkış havası sıcaklık değişimi

Şekil 10, buharlaştırıcı çıkış havası sıcaklığının kompresör hızı ile değişimini göstermektedir. Kompresör hızı düştükçe, nemsiz kuru havada, buharlaştırıcı çıkış havası sıcaklığının için arttığı gözlenir. Sabit kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nem için buharlaştırıcı çıkış havası sıcaklığındaki artış, ısıtıcıdaki hava sıcaklığındaki belirgin bir azalmaya neden olur. Şekil 11, elektrikli ısıtıcı boyunca farklı kuru hazne sıcaklıkları için kompresör hızına sahip hava sıcaklığı farkının değişmesini göstermektedir. Elektrikli ısıtıcıdaki hava sıcaklığının farklılıklarını en aza indirmek için, ısıtıcı çıkışını küçültülerek, belirli bir çalışma koşulu için test ünitesinin güç tüketiminde bir düşüş sağlanabilir.



Şekil 11. Elektrikli ısıtıcı boyunca kuru termometre sıcaklığı ile hava sıcaklığı değişimi



Şekil 12. Kompresör 40Hz'de çalışırken odanın sıcaklığı ve bağıl nemin değişimi

Şekil 12' de test odası 25°C kuru termometre sıcaklığı ve % 40 bağıl nem şartlarına ayarlanmış 40 Hz kompresör hızı için sıcaklık ve nem değişimi test edilmiştir. Sonuçta, test odalarının çalışma koşullarının dengesini artırmak için test ünitelerinin minimum hızlarda çalıştırılması önerilmiştir.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bildiri, üretimi yapılan malların ve malzemelerin, örneğin dış ortamda kullanılan elektronik malzemeleri, buzdolabı, ısıtıcı, nemlendirici ve parçalarının, paketlenmiş mamullerin, basınç, sıcaklık, nem gibi çevre şartlarındaki ani değişim veya sürekli değişim karşısında dayanıklılığını ölçmek için kullanılan klimatik test odalarının yapıları ve ısıtma, soğutma, nemlendirme sistemlerinin kontrol yöntemleri konusunda farklı yaklaşımları görmektedir. Farklı hassasiyette ve farklı çalışma hedefleri için yapılmış test odalarının yapı ve kontrol sistemlerindeki farklar araştırılmıştır.

İncelenen sistemlerin genelinde kuru termometre sıcaklığındaki artışının test ünitesinin güç tüketiminde bir artışa yol açtığı gözlenmektedir. Enerji tüketimindeki artışın, farklı kompresör hızları ve sıfırın altındaki değerlerde de benzer şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bekleneceği üzere, yüksek kompresör hızlarında enerji tüketimi daha fazla olmaktadır. Ayrıca, kompresör hız değerleri arttıkça buharlaştırıcı çıkış sıcaklıklarının da düştüğü gözlemlenmiştir. ■

KAYNAKLAR

- [1]ENJING Z., HUIJUAN Y., JIAN F., XUE J., DANDAN H.; The design of temperature control system of test chamber based on predictive control algorithm; Fourth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control, 2014
- [2]EJIZEKE S. C. , ALABI A. B., OSSAI A. N. AND AINA A. O., A Low-Cost Temperature-Controlled Chamber Fabricated for Materials Testing, MDPI Designs (ISSN 2411-9660), Published: 22 July 2018
- [3]FENG J., LI R.-J., K.-C. FAN, ZHOU H. AND ZHANG H., Development of a low-cost and vibration-free constant-temperature chamber for precision measurement, Sens. Mater. 27 (2015) 329–340.
- [4]GARCIA-DIEGO F.J., PASCUAL J.J., MARCO-JIMÉNEZ F.; Technical Note: Design of a Large Variable Temperature Chamber for Heat Stress Studies in



- Rabbits; World Rabbit Sci. 2011, 19: 225 - 231
- [5] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC), Environmental Testing Conformation of the Performance of Temperature and Humidity Chambers, 2018
- [6]KAZANSKAYA T.L., Effect of periodical air temperature uctuations on thermal stability of constanttemperature chambers, Meas. Tech. 16 (1973) 387– 389.
- [7]LESKINEN A., YLI-PIRILA, KUUSPALO K., SIPPULA O., JALAVA P., HIRVONEN M.-R., JOKINIEMI J., VIRTANEN A., KOMPPULA M. AND LEHTINEN K. E. J., Characterization and testing of a new environmental chamber, Atmos. Meas. Tech. 8 (2015) 2267–2278.
- [8]LIN W., ENPING L., TONGQING H., ETC. The wireless temperature and humidity control system based on PID algorithm [J]. Chinese journal of science instrument, 2008(z1):pp.619-620.
- [9]MENSAH K., CHOI J.M., Energy Consumption and Stability Investigation of Constant Temperature and Humidity Test Chamber, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Vol.25, No.1 (2017) 1750010
- [10]PADIİELD T., A climate chamber for simulating a temperature and humidity gradient across a wall or roof, Department of Building and Energy. Technical University of Denmark Conservation Department, The National Museum of Denmark (2000).
- [11]VAN GEEL J. L. W. A., BOSMA R., VAN WENSVEEN J. AND PERUZZI A., Thermistors used in climatic chamber at high temperature and humidity, Int. J. Thermophys. 36 (2015) 569–576. 9.
- [12]Navale R.L., and Nelson R.M., Use of genetic algorithms to develop an adaptive fuzzy logic controller for a cooling coil, Energy and Buildings, May 2010, Page 708-716

ÖZGEÇMİŞLER

Barbaros BATUR

1966 İstanbul doğumludur. 1990 yılında İTÜ Makina Fakültesini Makina Mühendisi olarak bitirmiştir. 1995 yılında Marmara Üniversitesinden Endüstri Yüksek Mühendisi olarak mezun olmuştur. 2002 yılında YTÜ' de Makina Mühendisliği, Isı Proses Dalında doktorasını tamamlamıştır. 2005 yılından beri YTÜ, Makina Bölümünde Öğretim Görevlisi Dr. olarak ders vermektedir. Proses, enerji, ısıtma-havalandırma tesisat konularında çalışmaktadır.

Mustafa Cem ÇELİK

1973 yılı Edirne doğumludur. 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 1999 yılında Marmara Üniversitesi Makina Mühendisliği Yüksek Lisans derecesi alarak yüksek mühendis olmuştur. 2014 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden Doktor ünvanını almıştır. 1999 Yılından bu güne Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi/Öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yenilenebilir enerji, hidroelektrik santraller, iç hava kalitesi, karbon ayak izi hesaplamaları konularında çalışmaktadır.

Muammer AKGÜN

1990 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesinden, 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina-Enerji Anabilim Dalından mezun olmuştur. 1992-1998 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Araştırma Görevlisi olarak, 1998-2013 yılları arasında kazan ve basınçlı kap sektöründe AR-GE, tasarım, üretim ve şantiye montaj alanlarında çeşitli projelerde çalışmıştır. 2013 yılından beri, BACADER Genel Koordinatörü olarak görev yapmaktadır. Sektörel dergilerde yayınlanmış pek çok makalesi, teknik yazısı bulunmaktadır. Ayrıca yaklaşık 4 yıldır bir sektörel dergide köşe yazısı yazmaktadır.