

ISIL KONFOR İÇİN NESNELERİN İNTERNETİ KULLANIMI

Usage Of Internet Of Things For Thermal Comfort

M. Özgün KORUKÇU
Muhsin KILIÇ

ÖZET

Isıl konfor bireyin içerisinde bulunduğu ya da çalıştığı koşullardan memnun olma durumudur. Isıl konfor indeksi ise bireyin daha etkili ve verimli çalışması için bulunulan ortamdaki koşulların en uygun duruma getirilmesi için önemlidir. Isıl konfor indeksinin sürekli olarak izlenip ısıtma-havalandırma sisteminin en uygun değerlere ayarlanması nesnelere interneti ile mümkündür. Bu çalışmada WSN (Kablosuz Sensör Ağı), Android, WI-FI (Kablosuz Bağlantı) gibi değişik platformlar kullanılarak ısı konfor parametrelerinin Nesnelere İnterneti ile izlenmesi, kontrol edilmesi ve sonuç olarak ısı konfor indeksinin iyileştirilmesi üzerine yapılmış bazı çalışmalar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isıl Konfor, Nesnelere İnterneti, Isıl Konfor İndeksi

ABSTRACT

Thermal comfort is the state of being satisfied with the conditions in which the individual is working or occupying. The thermal comfort index is important for optimizing the conditions in the environment for the individual to work more effectively and efficiently. It is possible to monitor the thermal comfort index continuously and to adjust the heating-ventilation system to the most suitable values. In this study, some studies on the monitoring and controlling of thermal comfort parameters hence improvement of thermal comfort index with internet of things (IOT) by using different platforms like WSN, Android and WI-FI were investigated.

Key Words: Thermal Comfort, Internet of Things, Thermal Comfort Index

1. GİRİŞ

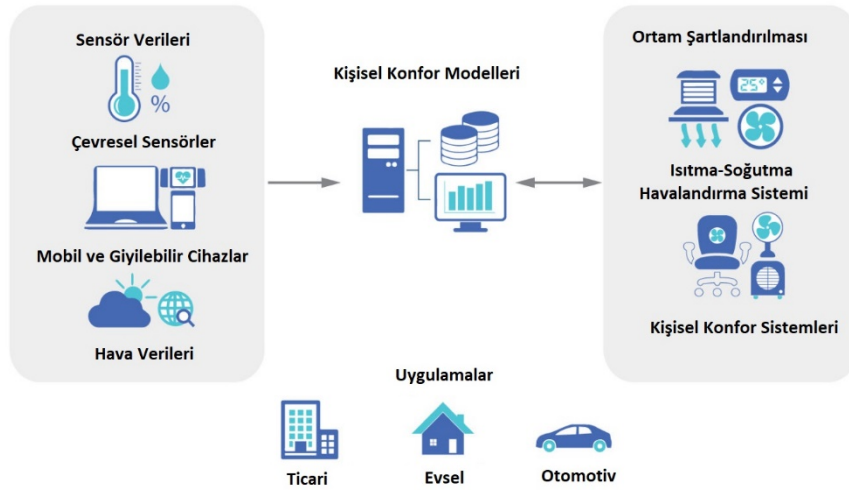
Gelişmiş ülkelerdeki insanların büyük bir çoğunluğu zamanlarının %90'ını iklimlendirilme yapılan kapalı ortamlarda geçirmektedir [1]. İnsanların sıklıkla kullandığı hemen hemen tüm hacimler yaz ve kış koşullarına bağlı olarak değişik sistemler ile iklimlendirilmektedir. Kapalı ortamlarda yetersiz iklimlendirme ve havalandırma kişilerin rahatsız olmasının yanı sıra üretkenliğini de etkilemektedir. Fanger, binaların ısıtılması ve soğutulması için kullanılan klima sistemlerinin, bazı durumlarda, ortamın konforlu olarak algılanmasına yeterli olmadığı ve var olan iklimlendirme anlayışının sorgulanması gerektiğini vurgulamaktadır [2]. İç ortam hava kalitesine ve havalandırma oranına bağlı olarak "hasta bina sendromları" çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır [3].

Isıl konfor kişisel tercihleri de içerisinde barındıran bir kavram olduğundan, literatürde birkaç değişik tanımı yapılmıştır. ASHRAE [4], ısı çevreden hoşnut olunan düşünce durumu; ASHRAE [5], iç vücut sıcaklığının düzenlenmesi için minimum fizyolojik çabaya gerek duyulması durumu; ISO [6], ısı çevreden tatmin olunan koşulları, ısı konfor olarak nitelendirmektedir. İnsanların zihinsel, fiziksel ve algısal performansları, ısı konforda buldukları durumda genelde en üst seviyededir.

Birçok araştırmacı ısı konfor parametrelerinin ölçülmesi, izlenmesi ve bireyin içerisinde bulunduğu ortamı ısı konfor açısından daha iyi duruma getirmek üzerine çalışmaktadır. Endüstri, bireylerin bulunduğu ortamlarda ısıtma ve soğutma sağlamak için gelişmiş analitik ve bulut tabanlı kontrollerden yararlanıyor. Uluslararası standartlara başarılı bir şekilde adapte olmalarına rağmen, her PMV ve adaptif modellerin binalarda konfor yönetimine uygulandığında çeşitli kısıtlamaları vardır. İlk olarak, PMV modelinin tam olarak uygulanması, binalarda elde edilmesi pahalı ve zor olan çok spesifik girdi değişkenleri gerektirmektedir. İkincisi, tüm girdi değişkenleri doğru bir şekilde elde edilmiş olsa bile, her iki model de bireylere uygulandığında zayıf tahmini performans gösterir. Üçüncüsü, her iki model de uyum sağlamaz veya yeniden öğrenmez.

Nesnelerin İnterneti'nin ortaya çıkmasıyla birlikte, çok ayrıntılı ve kişisel veriler üretmemiz ve bireylerin ısı konfor durumunu analiz etmek için kullanılmaya başlanmıştır.

Nesnelerin İnterneti fiziksel nesnelerin birbirleri ile ya da daha büyük sistemlerle bağlantılı olduğu iletişim ağı olarak tanımlanabilir. Nesnelerin ya da cihazların birbirleri ile sürekli haberleşerek alış veriş yaptıkları verileri akıllı bir ağa bağlanması olarak da adlandırılabilir. Bireyin bulunduğu ortam içerisindeki ısıtma-soğutma ve havalandırma koşullarını değiştirmesi ya da belirli zaman diliminde ısıtma-soğutma cihazını belirli bir ayar tutması veri olarak kaydedilerek daha sonra kullanılabilir. Bulunulan ortam içerisindeki hava sıcaklığı, bağıl nem, hava hızı, oksijen miktarı, kirletici madde konsantrasyonu (PM) izlenebilir ve aynı zamanda kontrol edilebilir. Nesnelerin interneti ile kişisel ısı konfor modelinin uygulanması şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kişisel ısı konfor çalışmalarında nesnelerin interneti kullanımı. [7]

2. ISIL KONFOR İÇİN NESNELERİN İNTERNETİ KULLANIMI

Kim ve ark. [7] 2016 yazında, Kaliforniya'da bir ofis binasında çalışan 37 kişinin sandalye kullanımını inceleyerek kişisel konfor sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmada 5 milyondan fazla veri noktası kullanılırken 4500 anket yapılmıştır. Isıtma-soğutma sistemi ve çevresel koşullar sürekli kaydedilmiştir. Veri analizine göre; bireylerin tek tek bulunduğu yerel sıcaklıkların, aynı ısı bölgede bile, binanın farklı bölümlerinde oldukça geniş ölçüde değiştiğini göstermektedir, aynı ısı koşullar altında bile bireylerin çoğu zaman farklı ısı tercihleri vardır, kişisel konfor sistemi kontrol davranışı, bireylerin ısı tercihlerini dinamik olarak tanımlayabilir, kişisel konfor sistemi sandalyeleri binalarda elde edilenden çok daha yüksek konfor memnuniyeti (% 96) sağlamıştır.

Ray [8] Nesnelerin İnterneti kullanan bulut tabanlı MISSENARD endeksinin ölçümü önerildi. MISSENARD endeksi, iç mekan sakinleri için termal konfor bulmada güçlü bir etkiye maruz kalan en uygun tekniklerden biridir [6]. Sistem Arduino tabanlı bir mikrodenetleyici, iç havanın sıcaklık ve bağıl

nemini ölçen bir algılayıcı, bir iletişim protokolü ve nesnelerin interneti için bulut etkileşimi kullanılmıştır. 24 saat süresince yapılan deney sonucunda kişinin MISSENARD indeksi incelenmiş ve kaydedilmiştir. Kullanılan cihaz avuç içi kadar olup bir cebe bile sığmaktadır, iç ortamlarda olduğu kadar dış ortamlarda da etkili bir şekilde kullanılabilir.

Shetty ve ark. [9] ağaç tabanlı yöntemler kullanarak ortak ofislerde kişiselleştirilmiş ısı konfor için çalışma masası fanı kullanım tercihlerini öğrenme üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, masa vantilatörü kullanım tercihleri, iç ve dış ortam çevre koşullarının kullanıcı varlığı bilgilerinin yanı sıra iki paylaşımlı ofiste bir kablosuz sensör ve aktüatör ağı (WSAN) kullanılarak toplanmıştır. Masaüstü fan kullanımının kişisel tercihlerini tahmin etmek için, fan durumu bir sınıflandırma problemi olarak modellenmiş ve fan hızı, sadece fan durumunun açık olduğu durumları göz önüne alarak bir regresyon problemi olarak modellenmiştir. Veri setindeki altı kullanıcının fan durumunu tahmin etmede ortalama % 97.73 test doğruluğu ile en iyi performansı elde etmek için rastgele ormanlar yöntemi bulunmuştur. Ayrıca, kullanıcının bulunduğu durumlarda % 95,42 ortalama test doğruluğu elde etmiş ve fan hızı, fan ayarının 15,83'lük ortalama kök-ortalama kare hatası (RMSE) ile tahmin edilmiştir.

Chaudhuri ve ark. [10] giyilebilir algılama teknolojisi kullanılarak cinsiyete özgü fizyolojik parametrelerden rastgele orman temelli ısı konfor tahmini üzerine çalışmışlardır. Cinsiyet farkı ısı konfor algısı ile geniş çapta bağlantılı olduğundan, dört aşamalı bir amaç benimsenmiştir: birincisi, öznel ısı algıdaki cinsiyet farklılıklarını araştırmak, ikincisi, farklı termal durumlar altındaki fizyolojik tepkilerde cinsiyet farklılıklarının araştırılması, üçüncüsü, ısı durumu tahmin etme potansiyeline sahip olan fizyolojik özellikleri belirleme ve dördüncü olarak veri odaklı bir ısı durum tahmin modeli oluşturulmuştur. Deneklerden el cilt sıcaklığı, el iletkenliği, nabız hızı, kan oksijen doyumu ve kan basıncı değerleri ölçülürken, ısı konfor, ısı tercih, nem duyumu ve hava hızı duyumu içeren anket yapılmıştır. Sonuçlar, çeşitli öznel ve fizyolojik yanıtlarda anlamlı bir cinsiyet farkı olduğunu göstermiştir. Erkek ve kadınların ısı durumlarının sırasıyla % 92,86 ve % 94,29'unu doğru bir şekilde tahmin edebildiği gözlenmiştir.

Garin ve ark. [11] bir binanın yenilenmesi için Açık Kaynak Platformuna ve Nesnelerin İnterneti'ne dayalı çevresel izleme sistemi geliştirmişlerdir. Çevresel verileri toplamak için ekli sensörlere sahip bir kablosuz mikrodenetleyici kullanılmıştır. Sensörlerden elde edilen bilgiler bir flash bellek kartında toplanıp, saklanırken aynı anda Wi-Fi yoluyla buluta gönderilmiştir. Bu veriler, gerçek zamanlı olarak bilgiye erişilmesini sağlayan çevrimiçi bir elektronik tabloda saklanmıştır. Sıcaklık ve CO₂ sensörlerinin pencere sensörüyle birlikte kullanılmasıyla, iç hava kalitesinin apartman sakinleri tarafından pencere kullanımı konusundaki davranışları ile doğrudan etkisini göstermiştir.

Ramli ve ark. [12] okul sınıflarındaki ısı konfor parametrelerinin nesnelerin interneti ile incelenmesi üzerine çalışmışlardır. Giysi ve metabolik aktivitenin yanı sıra kuru termometre sıcaklığı, ortalama ışınım sıcaklığı, nem ve hava hızı değerlerini kullanarak öğrencilerin ısı konfor düzeyleri ölçülmüştür. Giysi ve metabolik aktivite parametreleri bir Android cihaz ile ölçülürken diğer parametreler sınıf içerisinde yerleştirilmiş statik sensörler ile izlenmiştir. Öğrencilerin içinde buldukları ortam iklimlendirme sistemine aktarılmış ve Tahmini Ortalama Oy (PMV) 0 olacak şekilde ısıtma-soğutma yapılarak ısı konfor koşulları ayarlanmıştır.

Laftchiev ve Nikovski [13] kişiselleştirilmiş bir ısı konfor modeli yaratan yeni bir nesnelerin interneti tabanlı sistem geliştirmişlerdir. Sistem Nİ sensör ağı ve kullanıcı girişi üzerinden telemetriyi topladıktan sonra, kullanıcı için kişiselleştirilmiş bir ısı konfor modelini sürekli olarak kalibre eden ve güncelleyen makine öğrenme algoritmalarına girer. Isı konfor tahmininde Tahmini Memnun Olmayanların Yüzdesi (PPD) değerlerinin hataların ortalama kare kökü değerlerini birçok karşılaştırmışlar ve ısı konfor tahmininin doğruluğunu yaklaşık %50 oranında artırmayı sağlayan bir Nİ yöntemi bulmuşlardır.

Jia [14] nesnelerin internetini kullanarak ev ortamı izleme sistemi tasarlamıştır. Sistem, izleme sisteminin daha kapsamlı, ağa bağlı ve uzaktan olmasını sağlayarak ev yaşamının güvenliğini, rahatlığını ve sağlığını güvence altına alan, uzaktan görüntüleme ve uzaktan alarmları olan Nesnelerin İnterneti'ne dayanmaktadır. Ana tasarım metan, su akışı, sıcaklık, nem, hava basıncı, toz ve formaldehit gibi parametrelerin izlemektedir. Test sonuçları, tasarlanan internet tabanlı ev ortamı izleme sisteminin çeşitli çevresel parametrelerin izlenmesini gerçekleştirebileceğini ve temel olarak tasarım endeksi gereksinimlerini karşıladığını göstermektedir.

Kumar ve ark. [15] ticari binalarda gerçek zamanlı algılama yardımıyla iç hava kalitesi ve enerji yönetimi üzerine çalışmışlardır. Binaya sıcaklık, nem, aydınlatma, enerji tüketimi, insan hareketliliği, hava kalitesi ve gürültü seviyesi sensörleri yerleştirmişler ve gerçek zamanda izleyerek ticari binaların içerisindeki konfor seviyesini ölçmüşlerdir. Sensör maliyetlerinin gelişen teknoloji ile birlikte düşmesini de öngörerek gelecekte bir evin enerji yönetimi için 1000 £'dan daha az bir maliyet gerekeceğini vurgulamışlardır.

Zhang ve ark. [16] küçük ve orta ölçekli ticari binalar için güvenilir, uygun maliyetli ve çok yönlü bir enerji yönetim sistemi oluşturmak için Nesnelerin İnterneti (IoT) kullanma çalışmalarını incelemişlerdir. Düşük maliyetli tek kartlı bir bilgisayarda dağıtımı mümkün kılmak üzere gömülü sistemlerin ve yazılım optimizasyonunun seçimi ve değerlendirilmesi ile ilgili akıllı sorunları ve akıllı binanın çalışmasını sağlamak için IoT cihazlarını entegre etme deneyimini ele almışlardır.

Ciabattone ve ark. [17] gürültü, koku, görsel ve ısı konfor düzeylerini izleyebilen düşük maliyetli nesnelerin interneti tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Farklı ortam sensörleri, bilgi işlem ve bağlantı özellikleri ile donatılmış bir sistem kullanmışlardır. Cihazın akıllı bir saat ile entegrasyonu sayesinde kişisel konfor parametrelerini analiz edebilmişlerdir.

Happle ve ark. [18] Singapur'da klima kullanım modellerinin, taşınabilir sensörlerle belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Singapur Ulusal Bilim Deneyi, ülke çapında 43000'den fazla öğrencinin küçük taşınabilir bir sensör aracılığıyla alınan sıcaklık, nem ve basınç verilerini analiz ederek öğrencilerin gün içinde maruz kaldıkları iklimlendirme koşullarını belirlemişlerdir. Elde edilen verilerin, ısı konfor ve enerji tüketimi davranışlarının belirlenmesi ve kontrolü konularında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Lachab ve ark. [19] nesnelerin interneti ve büyük veri teknolojileri kullanarak havalandırma sistemleri kontrolü için akıllı bir yaklaşımda bulunmuşlardır. Laboratuvar ortamında yaptıkları deneylerde iç ortamdaki karbondioksit konsantrasyonu, sıcaklık, bağıl nem ile hava değişim oranı, fanların devri ve enerji tüketimi verilerini izlemişlerdir. Aç-kapa, PID ve durum geribildirim denetleme sistemlerini karşılaştırmışlardır. Önerdikleri sistem ile kişisel konforu sağlamanın yanı sıra enerji tüketiminde %30.25 oranında azalma sağlamışlardır.

Carrera ve ark. [20] konfor ve enerji kullanım optimizasyonu için oylamanın etkinliği üzerine simülasyon temelli bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bireylerin grup tercihlerini izleyen, onlardan öğrenen ve ısıtma-soğutma ve iklimlendirme cihazlarını otomatik olarak yöneten bir sistem önermişlerdir. Önerdikleri sistem konfor düzeyini en üste çekerken enerji tüketimini de en aza indirmeyi amaçlamıştır. Geliştirdikleri prototipi simülasyon ile doğrulamışlar ve sonuç olarak makine öğrenme tekniği ile bir ortam içerisinde kabul edilebilir konfor koşullarının sağlanabileceğini ve aynı zamanda enerji tüketiminin de düşürülebileceğini göstermişlerdir.

Lillis ve ark. [21] yeni nesil akıllı binalara doğru geçiş tasarımı için bir öneri ile mevcut otomasyon ve gelecekteki nesnelerin interneti tabanlı sistemlerin değerlendirmesini yapmışlardır. Öncelikle akıllı bina tanımı ve potansiyellerinin ardından mevcut teknolojinin durumu belirtilmiştir. Daha sonra akıllı şehirlerdeki eski otomasyon sistemlerinin eksikliği vurgulanmış, gelecekte bina yönetimi teknolojilerini tanıtmışlardır. Birlikte çalışabilen bir hibrit yazılım-donanım çerçevesi önermişlerdir. Eski ve gelecekteki sistemlerin entegrasyonu için önerilen çerçevenin değerlendirilmesinin ardından son olarak akıllı binanın daha hızlı gelişmesi için azaltılmış yatırım maliyetleri ve riskleri incelemişlerdir.

SONUÇ

Bu çalışmada nesnelerin interneti kullanılarak iç ortam koşullarında sıcaklık, hava hızı, bağıl nem, ortalama ışınım sıcaklığı, giyim, metabolik aktivite, aydınlatma, iç hava kalitesi, karbondioksit sensörü ve enerji tüketimi parametrelerinin izlenmesi ve kontrolüne ilişkin çalışmalar derlenmiştir.

Gelişen teknoloji ile birlikte hayatımızın her alanına giren internet gelecekte ev, işyeri ve araba gibi değişik yerlerdeki iç ortam koşullarını izleme, denetleme ve en uygun değerlere getirmek için kullanılacaktır. Şu andaki sensör maliyetleri gittikçe düşecek, öncelikle belirli bir alan daha sonra ev, işyerlerinin tüm alanları için gerçek zamanlı izleme tabanına dayalı kontrol sistemleri kullanılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] HOPPE, P., Martinac, I., "Indoor climate and air quality", *Int. Journal of Biometeorol*, 42: 1-7, 1998.
- [2] FANGER, P.O., "Human requirements in future air-conditioning environments", *International Journal of Refrigeration*, 24: 148-153, 2001.
- [3] HAGHIGHAT, F., DONNINI, G., "Impact of Psyc – social Factors on Perception of the Indoor Air Environment Studies in 12 Office Buildings", *Building and Environment*, 34: 479 – 503, 1999.
- [4] "ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 8", Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 29p, 1993.
- [5] "ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 37", Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 1993.
- [6] "ISO 7730, Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort", International Organization for Standardization, Geneva, 1995.
- [7] KIM, JOYCE, STEFANO SCHIAVON, AND GAIL BRAGER. "Personal comfort models–A new paradigm in thermal comfort for occupant-centric environmental control." *Building and Environment* 132 (2018): 114-124.
- [8] RAY, PARTHA PRATIM. "Internet of things cloud enabled MISSENARD index measurement for indoor occupants." *Measurement* 92 (2016): 157-165.
- [9] SHETTY, SINDHU S."Learning desk fan usage preferences for personalised thermal comfort in shared offices using tree-based methods." *Building and Environment* (2018).
- [10] CHAUDHURI, TANAYA, "Random forest based thermal comfort prediction from gender-specific physiological parameters using wearable sensing technology." *Energy and Buildings* 166 (2018): 391-406.
- [11] MARTÍN-GARÍN, A., "Environmental monitoring system based on an Open Source Platform and the Internet of Things for a building energy retrofit." *Automation in Construction* 87 (2018): 201-214.
- [12] RAMLI,"Investigating Thermal Comfort for the Classroom Environment using IoT." *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* 9.1 (2018): 157-163.
- [13] LAFTCHIEV, EMIL, DANIEL NIKOVSKI. "An IoT system to estimate personal thermal comfort." *Internet of Things (WF-IoT), 2016 IEEE 3rd World Forum on. IEEE*, 2016.
- [14] JIA, FEIPENG. "Home Network Monitoring System Based on Internet of Things." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 452. No. 4. IOP Publishing, 2018.
- [15] KUMAR, P., MARTANI, C., MORAWSKA, L., NORFORD, L., CHOUDHARY, R., BELL, M., & LEACH, M. "Indoor air quality and energy management through real-time sensing in commercial buildings." *Energy and Buildings* 111 (2016): 145-153.
- [16] ZHANG, X., ADHIKARI, R., PIPATTANASOMPORN, M., KUZLU, M., & RAHMAN, S. "Deploying IoT devices to make buildings smart: Performance evaluation and deployment experience. In *Internet of Things (WF-IoT), 2016 IEEE 3rd World Forum on* (pp. 530-535). IEEE. (2016, December)
- [17] CIABATTONI, L., FERRACUTI, F., IPPOLITI, G., LONGHI, S., & TURRI, G." IoT based indoor personal comfort levels monitoring". In *Consumer Electronics (ICCE), 2016 IEEE International Conference on* (pp. 125-126). IEEE, (2016, January).
- [18] HAPPLE, G., WILHELM, E., FONSECA, J. A., & SCHLUETER, A. Determining air-conditioning usage patterns in Singapore from distributed, portable sensors. *Energy Procedia*, 122, 313-318. (2017).
- [19] LACHHAB, F., BAKHOUYA, M., OULADSINE, R., & ESSAAIDI, M. Towards an Intelligent Approach for Ventilation Systems Control using IoT and Big Data Technologies. *Procedia computer science*, 130, 926-931, (2018).
- [20] CARREIRA, P., COSTA, A. A., MANSU, V., & ARSÉNIO, A. "Can HVAC really learn from users? A simulation-based study on the effectiveness of voting for comfort and energy use optimisation". *Sustainable Cities and Society*. (2018).
- [21] LILIS, G., CONUS, G., ASADI, N., & KAYAL, M. "Towards the next generation of intelligent building: An assessment study of current automation and future IoT based systems with a proposal for transitional design". *Sustainable cities and society*, 28, 473-481. (2017).



ÖZGEÇMİŞ

M. Özgün KORUKÇU

1979 yılında Ankara'da doğdu. 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2004 yılında aynı bölüme araştırma görevlisi olarak görevine başlamıştır. 2005 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden yüksek lisans ve 2010 yılında ise doktor ünvanlarını almıştır. 2011-2012 yılları arasında YÖK bursu ile Danimarka Teknik Üniversitesi Rüzgar Enerjisi Bölümü'nde doktora sonrası çalışmalarını tamamlamıştır. 2014 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yardımcı kadrosuna atanmıştır. Korukçu, 2018 senesinde Doçent ünvanı almış ve halen aynı kurumda görevine devam etmektedir. Isı ve kütle transferi, Termodinamik, Güç Santralleri, Isıl Konfor, Rüzgar Enerjisi ve CFD (Hesaplamalı Akışkan Dinamiği) konularında çalışmaktadır.

Muhsin KILIÇ

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Makine Mühendisi olarak 1986 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans derecesini 1989 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nden, Doktora derecesini 1993 yılında İngiltere'de Bath Üniversitesi'nden almıştır. 1994 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Yardımcı Doçent kadrosuna atanmıştır. Aynı bölümde 1996 yılında Doçent ve 2002 yılında Profesör ünvanlarını alarak atanmıştır. Halen aynı yerde Enerji Anabilim Dalında öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. CFD (Hesaplamalı Akışkan Dinamiği), Isı ve kütle transferi, Termik Turbo Makineler, Enerji, Isıl konfor, Otomotiv ve Yangın Güvenliği konularında çalışmaktadır. Çalışma konularında uluslar arası ve ulusal dergilerde yayınlanmış ve konferanslarda sunulmuş çok sayıda bilimsel makalesi bulunmaktadır.