

NESNELERİN İNTERNETİ KAVRAMININ ÇEŞİTLİ ISIL KONFOR UYGULAMALARI İÇİN KULLANILABİLİRLİĞİ, ARAŞTIRMA VE UYGULAMA POTANSİYELİ

Availability, Research and Application Potential for the Concept of Internet of Things for Various Thermal Comfort Applications

Sezgi KOÇAK SOYLU
İbrahim ATMACA

ÖZET

Başarılı bir mekanik tesisat uygulamasının ayrılmaz bir parçası olan ısı konforu, birçok araştırmacının da hemfikir olduğu üzere bir binada ikamet eden veya çalışan insanların sağlığını ve çalışma verimlerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle akıllı binalar hatta şehirler ile beraber giderek daha da dijitalleşen dünyaya adapte olan mekanik tesisat uygulamalarına, ısı konforunun da dahil olmaması düşünülemez. Henüz birçok uygulama alanı için çok yeni bir süreç olan dijitalleşmenin, ısı konforu açısından hangi noktada olduğunun belirlenebilmesi amacıyla mevcut çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki çalışmalar arasından özellikle ısı konforu araştırmalarına nesnelerin interneti uygulamalarını dahil ederek yeni bir bakış açısı ile yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Bu araştırmalarda klasik çalışmalardan farklı olarak nesnelerin internetinin ısı konforu uygulamalarını hangi yönde geliştirebileceği sorusuna cevap aranmıştır. İlgili çalışmalar referans alınarak ayrıca, potansiyel araştırma konuları da derlenmeye çalışılmıştır. Mevcut derleme çalışmanın, bu alanda araştırma yapmayı düşünen akademisyenler ve aynı zamanda konu ile alakalı sektör çalışanları için bir başlangıç noktası oluşturması açısından faydalı bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı binalar, Dijitalleşme, Enerji verimliliği, Isı konforu, Nesnelerin interneti.

ABSTRACT

As many researchers agree, thermal comfort is an integral part of a successful mechanical installation that directly affects the health and work efficiencies of people residing or working in a building. Therefore, it is unthinkable that thermal comfort is not included in the mechanical installation applications that adapt to the increasingly digitized world with intelligent buildings even cities. The current study has been carried out in order to determine at what point digitization is in terms of thermal comfort which is a very new process for many application areas. Studies in the literature have been examined especially by including the ones with new perspective that included Internet of Things applications into thermal comfort research. Unlike conventional studies, it was sought to answer the question in which direction the Internet of Things could possibly develop thermal comfort applications. In addition, potential research topics are also being compiled by reference to related studies. The current compilation is thought to be a useful resource for academics who are interested in researching in this field and to create a starting point for the relevant sector employees.

Key Words: Digitalization, Energy efficiency, Internet of things, Smart buildings, Thermal comfort.

1. GİRİŞ

Binalarda uygun iç ortam şartlarının oluşturulması, bu binalarda yaşayan kişilerin memnuniyetini, sağlığını ve üretkenliğini doğrudan etkilediği için en temel fonksiyonlardan bir tanesidir [1]. Bu şartların oluşturulması esnasında özellikle ısı konfor önemli bir yer tutar. Bu durumun nedeni, ısı konforun ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerini kontrol ediyor olması ve bu sistemlerin ise gelişmiş ülkelerde binalarda enerji tüketiminin yaklaşık %50'lik kısmını oluşturmasıdır [2]. Bina tasarımı ve işletilmesi esnasında ısı konfor için kriterlerin tespitinde, standartlarda belirtilen modellere başvurulmaktadır. Isıl konfor için kabul edilebilir aralıklar ASHRAE Standart 55-2013 [3] ve ISO 7730: 2005 [4] gibi uluslararası standartlarda verilmektedir. Her 2 standart da ısı konfor değerlendirmesini tahmini ortalama oy (PMV – Predicted Mean Vote) indeksi ile yapmaktadır. PMV, geniş bir insan grubunun ısı ortama verdiği tepkiyi ortalama olarak tahmin edebilen 7 noktalı ölçeğe dayalı bir ısı duyumu indeksidir. Bu modelde konfora etki eden en temel faktörler kişisel (giyinme durumu ve aktivite düzeyi) ve çevresel (sıcaklık, bağıl nem, hava hızı, ışınım sıcaklığı) parametreler olarak iki grup altında toplanabilir. Ancak tahmini ortalama oy yaklaşımının önerdiği model ile yapılan tahminlerde modelin doğası gereği bazı sınırlamalar bulunmaktadır [5];

- i. Öncelikle bu model daha önce de bahsedildiği üzere geniş bir insan grubunun ortalama ısı konfor yaklaşımını değerlendirmek üzere tasarlanmış olduğundan, küçük gruplara veya bireysel davranışların belirlenmesi amacıyla uygulanmak istendiğinde düşük hassasiyette tahminlerin yapılmasına neden olmaktadır.
- ii. İkinci olarak, PMV modelin tamamıyla uygulanabilmesi için gerçek yaşam şartlarında elde edilmesi oldukça zor ve pahalı olan bazı giriş parametrelerine (örn; hava hızı, metabolik aktivite, giyinme durumu gibi) ihtiyaç duyulmaktadır ve bu nedenle genellikle bu parametrelerin bazı kabul görmüş değerlerinin kullanılması veya basitleştirilmesi yoluna gidilmektedir.
- iii. Modelde belirlenen giriş parametreleri dışında ısı konfor algısına etki edebilecek yaş, ortama uyum sağlama, cinsiyet ve hava akımı (cereyan) gibi kişisel faktörleri modele eklemek mümkün değildir.
- iv. Son olarak, model özellikleri (fonksiyonlar ve sabitler gibi) modelin laboratuvar ortamında oluşturulması sırasında elde edilen orijinal data setler ile sabitlenmiştir ve belirli bir ortamdaki kişilerin gerçek konfor koşullarını yansıtacak şekilde güncellenmeleri mümkün değildir.

Tüm bu nedenler ile geleneksel yöntemler ile yapılan ısı konfor hesaplamalarının, bir ortamdaki kişilerin genel ortalama tercihleri konusunda tahmin yürütmemize yardımcı olsa dahi bireysel tercihlere cevap vermekten aslında oldukça uzakta olduğunu söylemek gerekmektedir. Gelişen teknolojiler ve artan ihtiyaçlar doğrultusunda her yönden akıllı binaların tasarlandığı günümüz dünyasında, kişilerin konfor tercihleri yerine getirilirken aynı zamanda enerji tüketimlerini de azaltmak bir zorunluluk haline gelmiştir. Bunun için hem konu ile ilgilenen araştırmacılar hem de uygulayıcılar yeni teknolojilerin arayışına girmişlerdir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere ısı konfor çalışmaları açısından bakıldığında, daha yüksek tutarlılıkta tahminler yapılabilmesi ve kişilerin ihtiyaçlarına daha iyi cevap veren ortam koşulları sağlanabilmesi için ısı konfor modellerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Burada asıl ihtiyacın ise ilk bakışta geniş örnek grupları için geçerli olan ortalama sonuçlardan, bireyler için geçerli olan sonuçlara yönelik değerler elde ederek tahminlerin hassasiyetini arttırmak olduğu görülmektedir. Bireylerin tercihlerinin belirlenebilmesi için ise veriye ihtiyaç vardır.

Veri toplamada tercih edilebilecek yöntemlerden bir tanesi, kişilerin ısı konfor hesaplamalarında ihtiyaç duyulan parametrelere dair fikirlerini çeşitli değişken ortamlar için soru – cevap yöntemi ile elde etme yoluna gitmektir. Ancak bu yöntemde verilerin sürekliliği ve güvenilirliği konularında önemli sorunlar bulunmaktadır. Bir diğer alternatif ise “Nesnelerin interneti” kavramını ısı konfor uygulamalarında verilerin toplanması, analizi gibi birçok aşamaya dahil etmenin mümkün olup olmadığı sorusudur ve mevcut çalışma, bu sorudan yola çıkılarak hazırlanmıştır.

2. BAZI TEMEL KAVRAMLAR

2.1. Nesnelerin İnterneti (Internet of Things – IoT) Nedir?

Son yirmi yılda hayatımıza giren bu kavram, en bilinen tanımı ile fiziksel nesnelerin birbirleriyle ya da daha büyük sistemler ile bağlantılı olduğu iletişim ağı anlamına gelmektedir. Tanım olarak ilk kez 1991 yılında Kevin Ashton tarafından yapılan bir sunumda kullanılmıştır. IoT, hızlı gelişim gösteren bir teknolojidir ve endüstri, kontrol sistemleri, ev otomasyonları gibi alanlardaki başarılı uygulamalarının yanında asıl önemli etkisi günlük yaşama ve potansiyel kullanıcılarının davranış şekillerine getirdiği yeniliklerdir [6].

Bir IoT mimarisinde temel olarak 3 katman bulunmaktadır; algı katmanı, şebeke (network) katmanı ve uygulama katmanı [7]. Algı katmanı; radyo frekanslı tanımlama (RFID – Radio Frequency Identification), kablosuz sensör ağları (WSN – Wireless Sensor Network), sensörler, okuyucular, IP kameralar ve Mikro Elektro-Mekanik Sistemler (MEMS) gibi elemanları içerir ve veri toplama ile nesne tanımlama işlemlerini gerçekleştiren en alt katmandır. Bu katman insan vücudundaki duyu organlarına benzetilebilir. Orta katman olan şebeke katmanı ise cihazlar arasında sinyal iletimini sağlayan veri bağlantılarının haberleşme sistemini oluşturur. Birçok IoT veri yönetim merkezinin (2G/3G, Wi-Fi, WiMAX gibi) birleşiminden oluşan bu yapı, daha fazla iletişim aralığına ulaşabilmek için diğer yerel ağlar ile de birleşerek gelişmiş bir servis sağlayıcı haline dönüşebilir. Son olarak isminden de anlaşıldığı üzere uygulama katmanı, en üst katman olup, pratik uygulamaların çeşitliliği üzerine yoğunlaşmıştır.

Uygulamalar genellikle çevre denetimi, otomasyon sistemleri, sağlık hizmetleri, ulaşım gibi alanlarda karşımıza çıkmaktadır. 2017 yılında IoT'nin en çok kullanıldığı alanın hangisi olduğuna dair yayınlanan bir rapor sonucuna göre akıllı binalar bu uygulamalar arasında en çok tercih edilen alan olmuştur [8]. İlgili sistemlerde popüler olarak kullanılan akıllı cihazlar; ortamın sıcaklık, nem ve aydınlatma gibi değerlerini, kişinin tercihlerine ve mevsimsel koşullara göre sezgisel olarak ayarlamaktadır. Bir başka çalışmaya göre ise 2020 yılına kadar neredeyse 50 milyar cihazın ağa bağlanması özellikle de internete bağlı olması ön görülmektedir [9].

2.2. Bulut Nedir?

Bulut kavramı zaman zaman bulut bilişim veya bulut bilgi işlem terimleri ile de tanımlanabilmektedir. Temel olarak internet tabanlı bilişim hizmetlerinin genel adıdır ve bu yönüyle bakıldığında bir ürün değildir. Bulut sisteminin amacı, bilgisayarlar ve diğer tüm akıllı cihazlar için kullanıcının ihtiyaç duyduğu anlarda temel kaynaktaki yazılım ve bilgilere uzaktan erişim sağlayabilmesidir. İlgili sistemler için 3 farklı çeşitte kullanım şekli mevcuttur; genel (public) bulut, özel (private) bulut ve melez (hybrid) bulut. Bunlardan ilki olan genel bulutta, depolama ve kaynak erişimi hizmeti belirli bir ücret karşılığında Microsoft, Google gibi çeşitli servis sağlayıcıları tarafından verilir. Özel bulut ise hassas ve önemli bilgilere sahip olan büyük şirketler, devlet kuruluşları gibi yapıların tercih ettiği bir sistemdir. Bu yapıda bilgiler kişisel olarak kurulan sistemlerde saklanır. Melez bulut sistemleri ise her iki sistemin birleşiminden ortaya çıkan bir yapıdır.

3. NESNELERİN İNTERNETİNİN ISIL KONFOR UYGULAMALARINDAKİ YERİ

Isıl konfor ısı çevreden memnun olunan düşünce hali olarak tanımlanmaktadır. İnsan bulunduğu çevre ile ısı denge sağlarken fiziksel denetim mekanizmalarını (terleme, titreme, vazomotor denetim gibi) ne kadar az kullanıyorsa o denli konforludur. Bu koşulları sağlayabilmek için bu alana ilgi duyan oldukça fazla sayıda araştırmacı, yıllar boyunca birçok hesaplama, uygulama ve araştırma gerçekleştirmişlerdir. Ancak hava sıcaklığı, hava dinamikleri, bağıl nem, kişilerin yaş, sağlık durumu, giyinme şekli (kalınlık, renk, ...) ve fiziksel aktivite durumlarına kadar birçok farklı parametre ile tanımlanan ısı konforu, tam hassasiyette modellemek her zaman mümkün olmamıştır. IoT gibi insan ihtiyaçlarına sürekli ve detaylı olarak hizmet edebilecek teknolojilerin geliştirilmesi sayesinde ısı konfor teknolojilerinde bu eksik kalan noktaların tamamlanması hedeflenmektedir. Bu bölümde nesnelerin internetinin ısı konfor uygulamalarına getirdiği yeni yaklaşımlar çeşitli kategoriler altında toplanarak tartışılmış, yeni uygulamalar ve araştırma potansiyeli ortaya konulmaya çalışılmıştır.

3.1. Bireysel Isıl Konfor Yaklaşımı

Isıl konfor modellerinde bireysel konfor yaklaşımı, geniş bir popülasyonun ortalama tepkilerini doğru olarak kabul etmek yerine, her bir bireyin tepkilerini tek tek modelleyen yeni bir yaklaşımdır. Isıl konfordaki bireysel farklılıklar, farklı kişilerin aynı ısı ortamında bulunmalarına karşın ortamı farklı algılamaları hadisesi ile açıklanmaktadır. Bu bireysel farklılıklar nedeni ile herkesi aynı anda memnun edecek bir ısı ortamı sağlamak oldukça zordur. Belirli bir grup için uygun olan koşullar bir başka grup için kabul edilemez durumda olabilir [10].

Bireysel ısı konfor yaklaşımında kişilere ait tercihler ve davranış biçimleri ya ilgili bireyler ile görüşülüp ihtiyaç duyulan verilere ulaşmayı sağlayan anketler yoluyla elde edilir ya da bu bölümün devamında incelenecek olan yeni ölçüm sistemlerinin yardımıyla çeşitli sensörler ile toplanan uzun süreli datalar ile belirlenebilir. Bu kısımda ısı konfor üzerine yaptıkları çalışmalarını, kişisel konfor yaklaşımını kullanarak gerçekleştiren araştırmacıların bazı çalışmaları derlenmeye çalışılmıştır.

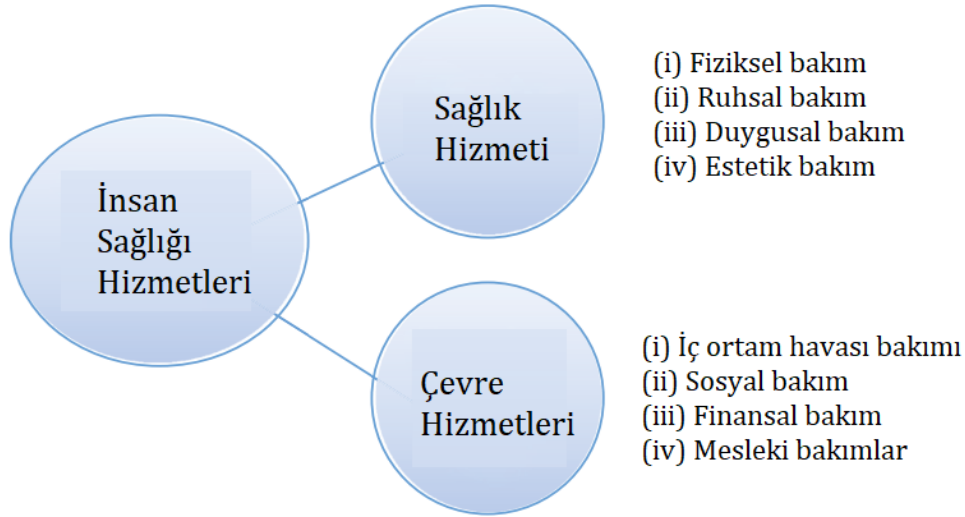
Bu çalışmalardan ilki Kim J. vd. [1] tarafından bir ofis binasında 38 adet katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. İlgili çalışmada yeni bir tip geri bildirim sistemi kullanılarak araştırılan bireylerin ısıtma ve soğutma davranışları, bireysel konfor modellerinin geliştirilmesi ve bireylerin ısı tercihlerinin tahmin edilmesi için kullanılmıştır. Geliştirilen model; ofis binasındaki 38 kişinin kontrol davranışı, çevresel koşulları ve mekanik sistem seçimlerine ait alan verilerini alıp bunları 6 adet yapay zekâ algoritmasında çalıştırmaktadır. Çalışmanın sonuçları, tüm alan verileri kullanılarak üretilen bireysel konfor modelinin tüm deneklere uygulanması ile ortalama 0.73 doğrulukta ısı konfor tahminleri elde edilebildiğini ortaya koymuştur. Bu değer geleneksel yöntemlerde (PMV, uyarlanabilir) ortalama 0.51 mertebelerinde kalmaktadır. Yani PMV ve uyarlanabilir modeller, incelenen alan araştırmasındaki bireysel konfor tercihlerini rastgele tahminden ancak çok az daha iyi şekilde belirleyebilmektedirler. Bunun yanında araştırmacılar, verilerin en iyi tahmin doğruluğuna ulaşması için her bir farklı kategori için elde edilen verilerin ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğini söylemektedirler.

Bir başka çalışmada Lan ve Tan [11], nesnelerin internetinden yararlanarak bina yönetim sistemlerinin iyileştirilmesi üzerine çalışmış ve kişiselleştirilmiş bir enerji izleme sistemi geliştirmişlerdir. Kablosuz sensör şebekesi (wireless sensor network – WSN) ile bir bina enerji simülasyon yazılımı olan EnergyPlus modeli birleştirilmiştir. Çalışmada önerilen enerji izleme sisteminde, hem bina içerisindeki bir bireyin belirli bir alandaki enerji tüketimini hesaplamak ve tahmin etmek mümkün iken hem de binadaki havalandırma ve aydınlatma gibi çeşitli servislerin değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Düşük maliyetli WSN sistemler bina içerisine geniş bir alanda yerleştirilerek ilgili servisler için ihtiyaç duyulan parametrelerin (sıcaklık, bağıl nem, hava basıncı, aydınlatma miktarı gibi) ölçülmesi ve geliştirilen EnergyPlus modelinde kullanılması sağlanmıştır. Araştırmacılar bu sayede binadaki her bir bağımsız alan için enerji tüketimlerine dair daha doğru bir değerlendirme ve hesaplama yapabilme imkanına sahip olmuşlardır. Sensörlerden gelen bilgiler ayrıca bina yöneticilerine ve kullanıcılarına binanın iç hava kalitesi ve ısı konfor durumu hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlamaktadır. Çalışmada izlenen temel yöntem; WSN sisteminden gelen verilerin bina enerji izleme sistemine aktarılması, EnergyPlus modeli ve ISO ısı konfor kriterlerinden oluşan ilgili sistem bu verileri işleyerek enerji tüketimi ve insanların ısı konfor seviyeleri hakkında çıkış bilgisi üretmesi şeklindedir. Elde edilen sonuçlara göre, bu yöntem ile enerji tüketimlerini azaltmanın mümkün olduğu ve daha yeşil binaların tasarlanabileceği öne sürülmüştür.

Laftchiev ve Nikovski [12], ofis binalarındaki ısı konforun çalışanların verimliliğini arttıran faktörler arasında önem kazanan bir değişken olduğu düşüncesinden yola çıkarak, nesnelerin internetini temel alan kişiselleştirilmiş bir ısı konfor modeli önermişlerdir. Sistem bu modeli oluşturabilmek için, IoT şebekesine bağlı sensörlerden ve kullanıcı girişlerinden uzaktan erişimle bilgi toplamaktadır. Bu toplanan veriler yapay zekâ algoritmalarına girdi olarak sağlanarak bireyselleştirilmiş ısı konfor modelinin kullanıcı için sürekli olarak güncellemesi ve kalibrasyonu yapılmaktadır. Çalışmada modellerin bireyselliğine daha fazla katkı sağlayabilmek için bir aktivite izleyici / akıllı saatten alınan biyometrik veriler ve kullanıcı tercihleri ile çevresel ölçümlerden (sıcaklık, nem ve hava hızı) yararlanılmıştır. Araştırmacılar geniş bir grup sınıflandırma ve regresyon algoritmasını değerlendirmeye almıştır. DeneySEL sonuçlar, çalışmada geliştirilen IoT tabanlı sistem kullanarak yapılan ısı tahminlerin standart Fanger metodu ile yapılan tahminlere kıyasla yaklaşık %50 daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmanın önemi hem nesnelerin interneti hem de giyilebilir

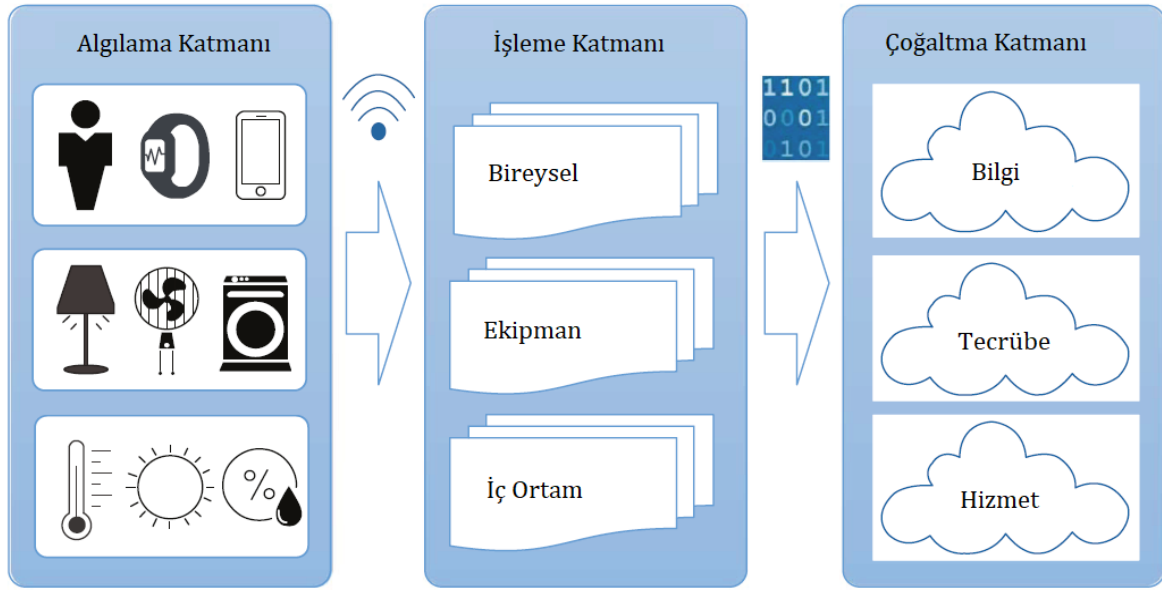
teknolojiler gibi 5 yıl öncesine kadar henüz mevcut dahi olmayan uygulamaların, yapay zekâ modellerini bireyselleştirmede kullanılabilir hale gelmiş olmasına dikkat çekmesidir. Ayrıca diğer çalışmalara ek olarak bu çalışmada kalp atışı, deri sıcaklığı gibi biyometrik verilere de yer verilmiş ve bu veriler yine başka çalışmalarda kullanılmayan bazı zaman parametreleri (gün uzunluğu, yılın hangi günü olduğu, günün hangi saati olduğu gibi) ile beraber değerlendirilmiştir. Araştırmacılar bu özgün parametreler sayesinde daha detaylı modeller oluşturma imkânı elde ettiklerini söylemektedirler.

Yine bireysel ısı konfor yaklaşımını inceleyen bir başka çalışmada [13] bu kez insan sağlığı konusunda hizmet veren bir binada nesnelerin internetinin sağlayacağı faydalar araştırılmıştır. İlgili çalışmada insan sağlığı hizmeti kapsamında kastedilen uygulamalar, araştırmacıların örneklediği şekliyle Şekil 1'de sunulmuştur. Şekilde de ifade edildiği üzere insan sağlığı için tasarlanan hizmetlerin yalnızca medikal amaçlar için değil aynı zamanda çevresel bakım ve ihtiyaçlar için de kullanmak mümkündür. Kişilerin bireysel sağlık profillerini akıllı binalardaki yapay zekâ uygulamalarına entegre ederek kişiler için daha sağlıklı çevresel koşullar yaratmanın mümkün olabileceği önerilmektedir. Bu amaçla bir akıllı bina kurulabilecek temel IoT mimarisi ise Şekil 2'de verilmiştir [13]. Araştırmacılar çalışmalarında binadaki kişilerin ısı konforunu sağlamak için dinamik bir ısı model önermişlerdir. Bu model, insan vücudunun ısı denge denklemi ve kişilerin ısı karakteristiklerine bağlı oluşturulmuştur. İlgili model MATLAB/Simulink® yardımıyla ısıtıcıların sıcaklık ve ısı konfor indeksi tarafından kontrol edildiği bir akıllı bina modeline uygulanmıştır. Simülasyon sonuçları, ısı konfor temelli kontrolün kişilerin memnuniyetini sağlamakta çok daha başarılı olduğunu ve bu sebeple IoT platformlarının insan sağlığı hizmetlerinde kullanılmasının tavsiye edilebileceğini göstermiştir.



Şekil 1. İnsan sağlığı hizmetleri [13]

Bireysel konfor yaklaşımı kategorisindeki son çalışma biraz daha farklı bir konsepti de içerisinde barındıran Marche vd. [14]'ne ait bir çalışmadır. Çalışmada kullanıcı merkezli bir yaklaşım uygulanmış, nesnelerin internetinden küçük bir farkla bu kez nesnelerin sosyal interneti olarak Türkçeye çevrilebilecek SloT tercih edilmiştir. Bu paradigma, gerçek hayattaki objeleri sanal dünyada benzerleri ile çoğaltarak onlara sosyal bir bilinç kazandırmak ve böylece başka objeler ile iletişime geçmelerini sağlamak anlamına gelmektedir. Bir başka deyişle nesnelerin kendi kendine iletişime geçerek birbirleri arasında sosyal iletişim kurmalarına olanak tanımadır. Bu doğrultuda bir binanın ısı profili, HVAC sisteminin çalışması için en uygun saatleri seçebilecek şekilde karakterize edilebilmektedir. Çalışmanın deneysel sonuçları, uygulanan sistemin kişilerin tercihlerine göre adapte olabildiğini ve kabul edilebilir konfor seviyelerini sağladığını, aynı zamanda da statik veya geleneksel senaryolara kıyasla enerji tüketimlerini oldukça azalttığını göstermiştir.



Şekil 2. Bir akıllı binadaki temel IoT mimarisi [13]

3.2. Yeni Ölçüm Yöntemleri

Bu bölümde, araştırmacıların bireysel ısı konfor yaklaşımının uygulamalarını gerçekleştirirken faydalandıkları yeni ölçüm yöntemlerinden ve bu ölçüm yöntemlerinde kullanılan bazı cihazlardan bahsedilecektir. Bireysel ısı konfor yaklaşımı fikrinin ortaya çıkmasını ve geliştirilmesini sağlaması açısından bu konunun önemli olduğu düşünülmektedir. Mevcut konu bir önceki bölüme benzer şekilde literatürdeki çalışmalardan faydalanılarak açıklanmaya çalışılacaktır.

Ghahramani vd. [15], insan yüzünün kızılötesi termografisi (ısı görüntüleme) ile termoregülasyon (ısı düzenleme) performansını gözlemlemiş ve bireysel ısı konfor durumunu değerlendirmeye çalışmışlardır. Çalışmada önerilen özgün yöntemde, kişilerin ısı konfor seviyeleri insan yüzünün çeşitli noktalarından deri sıcaklığının ölçümü yoluyla tespit edilmiştir. İnsan yüzü oldukça fazla kan damarına sahiptir ve genellikle giysiler ile örtülmemiş durumdadır. Araştırmacılar, diğer metotlardan farklı olarak kendi yöntemlerinde sürekli bir kullanıcı girişi veya etkileşimine ihtiyaç olmadığını belirtmişlerdir. Sonuçlara göre yüz üzerinde gözlemlenen noktalar sıcak ve soğuk uygulamalar altında farklı davranışlar göstermektedir. Araştırmacılar bu durumu incelenen noktalar altında bulunan damarsal alanlar ile açıklamaktadır. İncelenen davranışlar doğrultusunda ısı – tarafsız bir bölge tanımlanmış ve bireyler için %95 güvenilirlikle ısı konfor temini sağlanmıştır. Çalışmada kadınlar ve erkekler arasında termoregülasyon performansında kayda değer farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Kadınların termoregülasyon sistemine vermiş olduğu tepkiler sıcak ortam şartlarında daha az hassastır. Buna karşın rahatsız edici derecede soğuk ortamlarda her iki cinsiyetteki bireyler de benzer davranışlar göstermiştir.

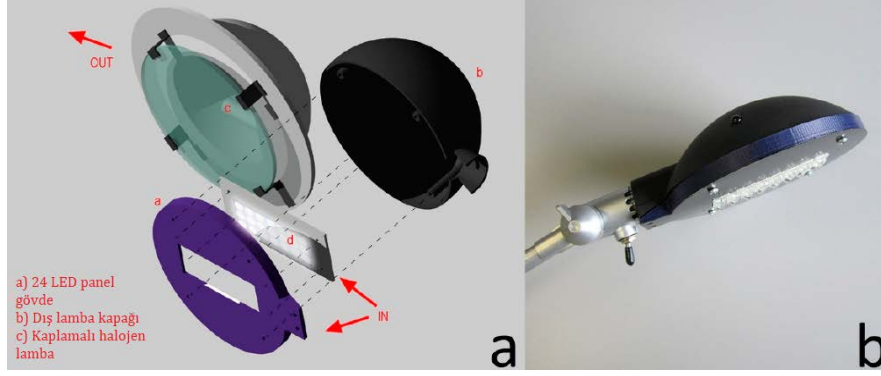
Bir başka çalışmada Coleman vd. [16], ortalama ışıma sıcaklığı ve iç hava kalitesi için özgün algılama teknikleri geliştirmiş, iç ortam kalitesi için bütünsel bir yaklaşım oluşturmaya çalışmışlardır. Bu özgün sensörlerden biri olan tarayıcı ortalama ışıma sıcaklığı sensörü, bir ortamdaki tüm yüzeylerden ışıma ile ısı transferi için mekânsal olarak çözümlenmiş bir tanımlama sağlar. Düşük maliyetli iç hava kalitesi sensörleri ise; CO₂, VOC, CO, NO_x, Formaldehit, sıcaklık ve nem ölçebilmektedir. Araştırmacılar bu sensörler sayesinde kirlilik kaynaklarını tespit etmenin, böylelikle hava kalitesini ve sistem performansını artırmanın ve enerji verimliliğini yükseltmenin mümkün olduğunu söylemektedir. Araştırmacılar çalışmalarının amacını, binalardaki sistemlerin ısı ve kimyasal etkilerini tespit etmeye yarayacak araçların geliştirilmesi olarak ifade etmektedirler.

Bu bölüm için verilecek olan son örnekte araştırmacılar, yeni nesil ısı konfor çalışmaları için veri toplama yöntemi olarak yeni bir yaklaşım önermişlerdir. İlgili çalışmada Zhang vd. [17], küçük ve orta büyüklükteki ticari binaların çatılarında bulunan paket klima cihazlarının (rooftop) kontrolü için kendi kendine öğrenebilen bir algoritma geliştirmişlerdir. Bireysel kullanıma yönelik binalarda akıllı şebekelerin gelişmesi ve talep katılımı (demand response) sisteminin birçok elektrik kontrol alanına entegre edilmesiyle maksimum talep anlarında şebeke üzerindeki stresi azaltmaya yönelik uygulamalar yaygınlaşmaktadır. Ancak çalışmada seçilen küçük ve orta ölçekli ticari binalarda genellikle bina enerji yönetim sistemleri yüksek maliyetleri nedeniyle tercih edilmemektedir. Dolayısıyla araştırmacılar, bu tip bir sistemin eksikliğini talep katılımı anlarında genellikle manuel kontrol yoluyla çözüldüğünü ve çözüm olarak da binadaki başlıca yük kaynaklarını (örn; iklimlendirme sistemi) tamamen kapatmak yoluna gidildiğini söylemektedirler. Ancak bu tip bir uygulamada binadaki kişilerin konforu tamamen göz ardı edilmektedir. IoT teknolojilerinin gelişmesi ile beraber bina enerji yönetim sistemleri için de daha uygun maliyetli alternatifler ortaya çıkmaya başlamıştır. İlgili çalışmada da araştırmacılar IoT tabanlı bir bina yönetim sistemi ile paket klima cihazlarını kontrol edecek kendi kendine öğrenebilen bir algoritma geliştirmiş, bu sayede talep katılımı anında ısı konfor koşullarını koruyarak belirtilen güç limiti (kW) kadar tüketimin karşılanmasını sağlamışlardır. Çalışmada veri toplamak için diğer ölçüm yöntemlerinden farklı olarak komplice sensör şebekelerinden yararlanmak yerine hali hazırda iç ortam sıcaklığını ölçen termostat verileri kullanılmıştır. Önerilen algoritma binanın ısı özelliklerini ilgili termostat verilerini kullanarak öğrenmek üzere tasarlanmıştır. Pik yükün bu yolla azaltılma önerisi, deneysel olarak gerçek bir ofis binasında test edilmiştir. Araştırmanın sonuçları, ihtiyaç duyulan güç azaltımına ulaşılabildiğini ve algoritmanın çalışması için yaklaşık 5 dakikalık bir işlem süresine ihtiyaç olduğunu göstermiştir.

3.3. Gerçek Uygulama Örnekleri

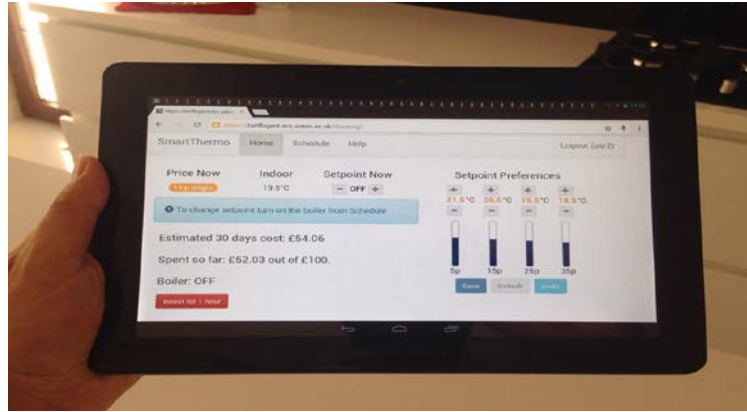
Mevcut çalışmanın son bölümünde, bu kısma kadar anlatılan yeni teknolojileri çeşitli uygulamalarda kullanarak geliştirdikleri ürünler ile hayata geçiren araştırmacıların çalışmalarından örnekler verilecektir. İlk araştırma, birçok farklı uygulama içeren ve kablosuz sensör ağı teknolojisinin uygulama örneklerini nesnelerin interneti için kullanımını gösteren bir çalışmadır [7]. İlgili çalışmada IoT teknolojilerinden yola çıkılarak birkaç adet ZigBee (düşük hızlı kablosuz kişisel ağ haberleşme teknolojisi) tabanlı izleme sistemi kurulmuştur. Algılama katmanında bulunan sensörler içerisinde sıcaklık ve nem sensörleri, ışık sensörleri ve 3 eksenli ivme ölçerler bulunmaktadır. Burada kullanılan ivme ölçer cihazlar giyilebilir bir teknoloji içerisinde yer almaktadır. Algılanan ve bir izleme merkezine kablosuz olarak iletilen tüm veriler, bir insan bilgisayar ara yüzü tarafından derlenir. Daha sonra IoT'nin işleme katmanına gelen bu veriler ilgili uygulamalara aktararak gerekli yerlerde kullanılır. Bahsi geçen çalışmada; ışık sensörlerinden gelen veriler bir basketbol sahasının otomatik aydınlatma sisteminde, 3 eksenli ivme ölçerlerden gelen veriler bebeklerin uyku esnasındaki yatış pozisyonunun belirlenmesinde ve yaşlıların kazayla düşmesinin tespitinde, son olarak sıcaklık ve nem sensörlerinden gelen bilgiler ise ısı konfor testlerinde kullanılmıştır. Araştırmacılar gerçekleştirmiş oldukları çalışmanın; güç tüketimlerinin azaltılması, sağlık hizmetlerinin kalitesinin artırılması ve daha yüksek bir konfor seviyesinin sağlanması yolunda efektif bir yol olduğunu söylemektedirler. Isı konfor konusunda gerçekleştirilmiş olan uygulamada, iç ortam sıcaklık ve nem değerlerinin uzun süreli tespiti problemine çözüm üretilmeye çalışılmıştır. Toplanan verinin oldukça fazla olması nedeniyle ısı konfor optimizasyonunda yaşanan problemlere yeni bir algoritma geliştirilerek çözüm getirmek hedeflenmiştir.

Bir başka uygulamada Salamone vd. [18], bir işyerindeki iki önemli problem olan çalışanların konforu ve binadaki enerji tüketimi konularının optimizasyonuna “Akıllı Lamba” adını verdikleri bir uygulama ile çözüm getirmeye çalışmışlardır. Bu akıllı lamba; bir mikro denetleyici, bütünleşik sıcaklık ve bağıl nem sensörü, bazı diğer modüller ve 3 boyutlu yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Üretilen cihaz, ofislerde masa üzerlerinde genellikle bulunan lambalara benzemekte (Şekil 3) ancak kullanıcının iç ortam konforunu doğrudan klima sistemi ile iletişime geçmesini sağlayarak ayarlamasına olanak tanımaktadır. İmalatı tamamlanan akıllı lamba, araştırmacılar tarafından 4 kişinin kullandığı bir ofis ortamında yaz ortam şartlarında ısı konfor koşullarının değerlendirilmesi için denenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre uygulama ısı konfor optimizasyonu sağlayarak enerji tüketimini azaltmıştır. Araştırmacılar aynı zamanda çalışmada bir “kendin yap” (do it yourself – DIY) yaklaşımı ve düşük maliyetli sensörler kullanılmış olmasının, bu tip uygulamaların herkes tarafından kullanılabilir olmasını sağladığını söylemektedirler. Bu tip bir kontrol sistemi kullanıcı için oldukça esnek çözümler sunmaktadır.



Şekil 3. Akıllı lamba: (a) lamba gövdesinin montaj diyagramı (b) birleştirilmiş hali [18]

Son olarak bahsedilmek istenen çalışma bir akıllı termostat uygulamasıdır [19]. İlgili çalışmada üç farklı akıllı termostat, kullanıcıların ısıtma tercihlerine ve gerçek zamanlı fiyat değişimlerine bağlı olarak ısıtma otomasyonunu gerçekleştirmektedir. Araştırmacılar tasarımlarını Birleşik Krallıkta 30 farklı evde 1 aydan fazla süreyle denemişlerdir. Konu ile ilgili yapılan analiz sonuçları katılımcıların akıllı termostatlar ile ilgili farklı anlayış ve beklentileri olduğunu ve ısı konforlarını koruyup fiyat değişimlerine de efektif olarak tepki verirken farklı yollar kullandıklarını ortaya çıkarmıştır. Örneğin çalışmada kullanılan sistem katılımcıların farklı fiyatlandırma aralıklarındaki sıcaklık tercihlerini öğrenip buna göre otomatik olarak ev ısıtmasını ayarlayabilmektedir. Ancak katılımcılar ile yapılan görüşmelerde fiyatlandırmanın evlerini ısıtırken tek belirleyici faktör olmadığı, buna karşın dış ortam sıcaklığı, evdeki kişi miktarı ve ev içerisindeki günlük aktiviteler gibi unsurların da oldukça önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre birçok tasarım ve araştırma önerisi sunulmuş, özellikle gelecekte tasarlanacak olan akıllı termostatlar ile ilgili önemli veriler elde edilmiştir.



Şekil 4. Akıllı termostat tasarımının tablet üzerinde kullanımı [19]

SONUÇ

Isıtma, soğutma ve havalandırma uygulamalarında genellikle tüm kullanıcıların aynı ve sabit konfor ihtiyaçlarına sahip oldukları kabulü ile sistem tasarımları yapıldığı bilinmektedir. Buna karşın, birebir aynı ısı ortamında bulunan kişilerin bu ortamı farklı şekillerde algılayabildikleri de bir gerçektir. Bu bireysel farklılıklardan dolayı da ortamdaki tüm kişileri memnun edecek ısı şartları oluşturmak oldukça zordur. Isıl konfor ayrıca iklim koşullarında ve gün içerisindeki değişimlere de bağlı değişken dinamik bir süreçtir. Bu nedenle ısı konforu etkileyen parametreler sürekli olarak gözlenmeli ve ortam şartları da buna göre düzenlenmelidir. Ancak önerilen bu ideal durumun pratikte uygulanması oldukça zordur. Bu soruna çözüm getirebilmek adına birçok araştırmacı yaklaşık son 20 yıldır kullanmakta olduğumuz nesnelerin interneti ve bununla bağlı teknolojilerden faydalanmıştır.

Mevcut çalışma kapsamında nesnelerin interneti kavramının çeşitli ısı konfor uygulamaları için kullanılabilirliği, araştırma ve uygulama potansiyeli incelenmiştir. Bu kapsamda araştırılan çalışmalardan; bireylerin ısıtma ve soğutma davranışlarına göre şekillenen bireysel ısı konfor modellerini, aynı bireylerin ısı tercihlerini tahmin etmek ve bu verilerden ısı konfor yönetiminde yararlanarak, kişilerin bulundukları ortamdan memnun olma hallerini iyileştirmek için kullanmanın mümkün olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, bu akıllı uygulamalar ve optimize edilmiş sistemler sayesinde binalardaki enerji tüketimlerinin de azaltılabildiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] J. Kim, Y. Zhou, S. Schiavon, P. Raftery, ve G. Brager, "Personal comfort models : Predicting individuals ' thermal preference using occupant heating and cooling behavior and machine learning", *Build. Environ.*, c. 129, sayı October 2017, ss. 96–106, 2018.
- [2] L. Perez- Lombard, J. Ortiz, ve C. Pout, "A review on buildings energy consumption information", *Energy Build.*, c. 40, ss. 394–398, 2008.
- [3] ASHRAE, "Standard 55 - Thermal environmental conditions for human occupancy", 2013.
- [4] ISO, "ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment – analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria", 2005.
- [5] J. Kim, S. Schiavon, ve G. Brager, "Personal comfort models – A new paradigm in thermal comfort for occupant- centric environmental control", *Build. Environ.*, c. 132, sayı 2017, ss. 114–124, 2018.
- [6] M. Kerndl ve P. Šteffan, "Intelligent Radiant Floor Heating Regulation System With Wireless Sensors", *IEEE*, ss. 56–59, 2017.
- [7] W. Sung, J. Chen, ve M. Tsai, "Applications of Wireless Sensor Network for Monitoring System Based on IOT", içinde *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2016, ss. 613–617.
- [8] L. Hang ve D. Kim, "Enhanced Model-Based Predictive Control System Based on Fuzzy Logic for Maintaining Thermal Comfort in IoT Smart Space", *Appl. Sci.*, c. 8, ss. 1–20, 2018.
- [9] P. P. Ray, "Internet of Things cloud enabled MISSENARD index measurement for indoor occupants", *Measurement*, c. 92, ss. 157–165, 2016.
- [10] Z. Wang, R. De Dear, M. Luo, B. Lin, Y. He, ve A. Ghahramani, "Individual difference in thermal comfort : A literature review", *Build. Environ.*, c. 138, sayı February, ss. 181–193, 2018.
- [11] L. Lan ve Y. K. Tan, "Advanced Building Energy Monitoring Using Wireless Sensor Integrated EnergyPlus Platform for Personal Climate Control", *IEEE PEDS*, ss. 567–574, 2015.
- [12] E. Laftchiev ve D. Nikovski, "An IoT System to Estimate Personal Thermal Comfort", *IEEE*, ss. 672–677, 2016.
- [13] H. Park ve S.-B. Rhee, "IoT-Based Smart Building Environment Service for Occupants ", *J. Sensors*, c. 2018, 2018.
- [14] C. Marche, M. Nitti, ve V. Pilloni, "Energy efficiency in smart building: a comfort aware approach based on Social Internet of Things", *IEEE*, 2017.
- [15] A. Ghahramani, G. Castro, B. Becerik-gerber, ve X. Yu, "Infrared thermography of human face for monitoring thermoregulation performance and estimating personal thermal comfort", *Build. Environ.*, c. 109, ss. 1–11, 2016.
- [16] J. Coleman, E. Teitelbaum, H. Guo, J. Read, ve F. Meggers, "Examining Architectural Air and Temperature with Novel Sensing Techniques", *Energy Procedia*, c. 122, ss. 1135–1140, 2017.
- [17] X. Zhang, M. Pipattanasomporn, ve S. Rahman, "A self-learning algorithm for coordinated control of rooftop units in small- and medium-sized commercial buildings", *Appl. Energy*, c. 205, sayı March, ss. 1034–1049, 2017.
- [18] F. Salamone, L. Belussi, L. Danza, M. Ghellere, ve I. Meroni, "An Open Source 'Smart Lamp' for the Optimization of Plant Systems and Thermal Comfort of Offices", *Sensors*, c. 16, ss. 1–12, 2016.
- [19] A. T. Alan, M. Shann, E. Costanza, S. D. Ramchurn, ve S. Seuken, "It is too Hot : An In-Situ Study of Three Designs for Heating", içinde *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2016, ss. 5262–5273.

ÖZGEÇMİŞ

Sezgi KOÇAK SOYLU

Dr. Sezgi Koçak Soylu 1985 yılında Ankara'da doğmuştur. 2009 yılında Akdeniz Üniversitesi'nden Makine Mühendisi olarak mezun olduktan sonra bir yıl özel sektörde mekanik tesisat projelendirme alanında çalışmıştır. Daha sonra yüksek öğrenimine devam etmek üzere Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamış ve 2010 – 2018 yılları arasında buradaki görevini sürdürmüştür. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalından 2012 yılında Yüksek Lisans, 2018 yılında ise Doktora derecelerini almıştır. Araştırmaları özellikle nanoakışkanların ısı transfer uygulamaları, ısı pompaları, güneş enerjisi ve ısı konfor üzerine odaklanmıştır.

İbrahim ATMACA

1979 yılı Antalya doğumludur. 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans, 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalından yüksek lisans ve 2006 yılında aynı Enstitüden Doktora derecelerini aldı. 2007 yılında Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim dalına Yardımcı Doçent olarak atandı, 2014 yılında Doçent oldu. Güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sistemleri, güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemleri, iklimlendirilen ortamlarda ısı konfor ve iç hava kalitesi, nanoakışkanların çeşitli ısı uygulama alanları, binalarda ısı yalıtımı ve enerji verimliliği, termoelektrik soğutuculu damıtma sistemleri, evaporatif soğutma ile iklimlendirme sistem verimlerinin iyileştirilmesi konularında çalışmalarını sürdürmektedir. Halen Akdeniz Üniversitesinde Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı olarak görevini sürdürmektedir. MMO Antalya Şube Başkan vekilliği görevini yürüten İbrahim Atmaca, evli ve bir çocuk babasıdır.