

DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE ISIL KONFOR ÇALIŞMALARI

Abdulahap YİĞİT
İbrahim ATMACA

ÖZET

Isıl konfor; insanın bulunduğu ısı ortamından hissettiği rahatlık duygusu olarak tanımlanabilir. Isıl konforu etkileyen temelde beş parametre vardır. Bunlar: hava sıcaklığı, hava hızı, nem oranı, aktivite düzeyi (dolayısıyla metabolik enerji üretimi) ve giyilen giysi ısı ve kütle transferi dirençleridir.

Özellikle son yıllarda işyerlerinin büyük iş merkezlerine taşınması ve bu iş merkezlerinin ısıtma, havalandırma ve klima sistemlerinin seçimini ve çalışma rejimlerini çok önemli bir hale getirmiştir. Çünkü ısı konforun iş verimini de önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir.

Isıl konfor çalışmaları teorik, modelleme ve simülasyon çalışmaları ile, deneysel çalışmalar olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. İnsan vücudu üzerinde ısı ve kütle transferi, denetim mekanizmaları ve çevre şartlarının modellenmesi ve modellerin analitik ve sayısal çözümleri üzerinde çalışılmaktadır. Bilgisayar simülasyonları yapılmaktadır. Diğer taraftan ise şartlandırılmış deney odalarında denek veya mankenlerle deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların sonucu Avrupa, Japonya ve Amerika' da standartlar şeklinde de düzenlenerek uygulamacılara ulaşmaktadır.

Bu çalışmada dünyada ve Türkiye'de yapılan çalışmalar ve sonuçları üzerinde durulacaktır.

1. GİRİŞ

Isıl konfor; insanın bulunduğu ısı ortamından hissettiği rahatlık duygusu olarak tanımlanabilir. Konfor bir düşünce hali olduğu ve çalışılan ortamın ısı koşulları insan verimliliğini etkilediği için ısı konfor ergonominin bir konusu olarak da ele alınabilir ve incelenebilir. Çünkü konforlu olmayan bir ortamda çalışan insan üzerindeki pozitif veya negatif yöndeki ısı yük, dikkatin dağılmasına ve neticesinde performansın düşmesine sebep olabilir. Kişiye göre değişimler, yaş, ortama uyum sağlama, cinsiyet, hava akımı (cereyan) ve asimetrik ısı ışınım gibi detay noktalar dışında konfora etki eden en temel faktörler kişisel ve çevresel parametreler olarak iki grup altında toplanabilir. Kişisel parametreler;

- Kişinin aktivite düzeyi
- Kişinin giyinme durumu

çevresel parametreler ise;

- Ortam sıcaklığı
- Ortam bağıl nemi
- Ortamdaki hava hızı
- Ortamdaki çeşitli yüzeylerin sıcaklığına bağlı olarak ortalama ışınım sıcaklığı

olarak sıralanabilir.

Yine de belirli bir ortam şartlarında, tüm insanların kendilerini tamamen konforlu hissetmedikleri bilinen bir konudur. Konforu etkileyen çevresel parametrelerden sıcaklık belirli bir ortamda kolaylıkla ölçülebilir. Yine ortam bağımlı nemi ölçülerek veya ölçülebilen değişkenler yardımı ile psikometrik diyagramdan tespit edilebilir. Hava hızı ve ortalama ışınım sıcaklığı da yaygın olarak kullanılan anemometreler ve glob termometreleri vasıtasıyla elde edilebilir. Ortam sıcaklığı hem deriden hem de solunum ile olan duyulur ve gizli ısı transferini etkilemektedir. Giyimli bir insan için dinlenme veya hafif iş durumunda 23 °C ile 27 °C operatif sıcaklık (ışınım sıcaklığı ile çevre hava sıcaklığının karşılıklı ısı geçiş katsayılarına göre ağırlıklı ortalaması) aralığı konfor şartlarını sağlarken, çıplak insan için bu aralık 29 °C ile 31 °C dir. Bağımlı nem, ortam havanın nemi içine alabilmesinin bir ölçüsü olduğu ve böylece vücuttan buharlaşma ile atılan ısı miktarını etkilediği için ısı konfor üzerinde önemli derecede etkilidir. Arzu edilen bağımlı nem aralığı %30 ile %70 aralığındadır ve %50 en çok kabul edilen değerdir. Isıl konforu etkileyen diğer bir temel faktör de hava hareketleridir ki ortamdaki yüksek hava hızları istenmeyen yerel soğumalara ve dolayısıyla yerel konforsuzluklara sebebiyet verebilir. Arzu edilen hava hızı genellikle yaz ve kış şartlarına bağlı olarak 0.15 m/s ile 0.25 m/s arasında değişmektedir[1]. Bu ısı konfor aralıklarının en güncel ve detaylı hali ise ASHRAE Standart 55 – 2004[2] ve ISO 7730 [3] de grafik halde verilmektedir. Operatif sıcaklığı ve dolayısıyla vücuttan olan duyulur ısı kaybını etkileyen bir diğer parametre de ortalama ışınım sıcaklığıdır. Özellikle dış duvarları yüksek güneş ışınımına maruz kalan, yeterli yalıtıma sahip olmayan binalarda, duvar iç yüzey sıcaklıklarının yüksek sıcaklıklara ulaşmasından dolayı, iç ortamın sıcaklığının, neminin ve ortamdaki hava hızının kontrol edilmesi ve arzu edilen değerlerde tutulması, yüksek ortalama ışınım sıcaklığından dolayı, ortamda ikamet edenler için ısı konforu sağlamada yeterli olmayabilecektir. Ortamda bulunan sıcak veya soğuk duvarlar ve yüzeyler, iç ortam sıcaklığı konfor sınırları içinde olsa bile, ortamda ikamet eden insanlar için soğukluk veya sıcaklık hissi verebilecektir. Bu nedenle, ortamda sıcak veya soğuk yüzeyler mevcut ise konfor hesaplamalarında ışınım sıcaklığı da mutlaka dikkate alınmalıdır.

Kişinin aktivitesine göre, ikinci bir kişisel parametre olan, metabolizmanın ürettiği enerji de değişmektedir. Metabolik enerji üretimini ifade eden birim “met” olup, dinlenme halindeki bir insanın metabolik hızı olarak tanımlanmıştır (1 met=58.2 W/m²). Çeşitli aktiviteler için metabolik enerji üretimi değerleri çeşitli kaynaklarda mevcuttur[1]. Ortalama yetişkin bir insanın ısı transfer yüzey alanı (Dubois yüzey alanı) yaklaşık 1.8 m² dir ve yaklaşık 106 W enerji üretir. Ortamın konforlu hissedilmesi için bu 106 W çevreye ısı kaybı olarak atılmalıdır. Kişisel parametrelerden metabolik enerji üretiminin tespitinde kullanılan 3 temel metot ISO 8996 standardında belirtilmiştir. Bunlardan ilki aktivitenin veya işin şekline göre metabolik enerji üretimini veren tabloların kullanımınıdır. İkinci metotta kalbin atış sayısı ile üretilen metabolik ısı enerjisi arasındaki lineer ilişkiden yararlanılır. Üçüncü yöntem direkt ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılır. Direkt yöntemde üretilen ısı enerjisi kalorimetre ile ölçülürken, dolaylı yöntemde kişinin oksijen tüketimi oranından yararlanılır ki bu dolaylı kalorimetre olarak isimlendirilir[1-4].

Isıl konfor ile ilgili çalışmaları iki ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar teorik modelleme, simülasyon çalışmaları ve deneysel çalışmalarıdır.

2. TEORİK MODELLEME VE SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Gagge ve ark. [5] tarafından, insan vücudu ile çevresi arasındaki ısı etkileşiminin, ısı mühendisleri, tıp doktorları ve fizyolojistler olmak üzere 3 meslek grubunun ilgi alanına girdiği vurgulanmaktadır. Bu nedenle çalışmalarında, insan ile çevresi arasındaki ısı etkileşimi için bu 3 meslek grubunun da kullanabileceği ortak bir birim sistemi tanımlamayı amaçlamışlardır. Gagge tarafından oluşturulan iki bölmeli anlık enerji dengesi modelinin detayları da Gagge ve ark. [6] verilmektedir. Bu model detaylı olarak ASHRAE tarafından sunulan el kitabında da mevcuttur[1] .

Tanabe ve ark. [7] , Stolwijk[8,9] ısı konfor modeline dayanan 65 noktalı ısı model geliştirmiştir. Bu model her biri kor, kas, yağ ve deriden oluşan, ısı manken yaklaşımına benzer 16 vücut parçasını ele almaktadır. Modeldeki 65. nokta merkezi kan bölmesini temsil etmektedir ve bu merkez ile diğer bütün noktalar arasında kan dolaşımını yoluyla taşınım ile ısı değişimi meydana gelmektedir.

Modelde taşınım ve ışınım ısı transfer katsayıları ile giysi yalıtımı değerleri ısıl manken deneylerinden elde edilen değerler olarak alınmıştır. Modelde kullanılan sabitler ve katsayılar çalışmada detaylı olarak sunulmuştur. Tanabe ve ark. çalışmalarında, ayrıntılı simülasyon metodunu tanıtmışlar ve bir uygulama örneği sunmuşlardır. Bahsedilen çalışmada, 16 vücut parçası için nötr kor ve deri sıcaklıkları ile yine 16 vücut parçasına ait DuBois yüzey alanları ve vücut parçası ağırlıkları verilmiştir.

Sorensen[10], bir ısıl manken için detaylı ışınım özelliklerini nümerik olarak bir CFD program ile tespit etmeye çalışmıştır. Bu nümerik çalışmanın amacı, vücut parçalarının birbirleri arasındaki ve her bir vücut parçası ile ortamdaki yüzeyler arasındaki görüş faktörlerini tespit edebilmektir. CFD programda hazırlanan modelde, ısıl manken 16 parçaya ayrılmış ve eni, boyu ve yüksekliği sırası ile 2.95 m, 2.95 m ve 2.4 m olan odanın tam ortasında merkezlenmiştir. Yapılan nümerik çözümlene neticesinde her bir vücut parçasının çevre yüzeyler ile ayrı ayrı görüş faktörleri ve vücut parçalarının birbirleri ile olan görüş faktörleri tablolar halinde sunulmuş, ayrıca vücut parçalarının birbirlerine olan ışınım ile ısı transferinin küçümsenmeyecek ölçüde olduğu hesaplanmıştır.

Huizenga ve ark.[11], Stolwijk ısıl denge modeline dayalı Berkeley konfor modelini oluşturmuştur. Oluşturulan model Stolwijk modeline dayanmakta fakat model üzerine çeşitli ve önemli gelişmeler eklemektedir. Kurulan yeni model Stolwijk modelinde 6 olan vücut parçası sayısını daha yukarıya çekebilmektedir. Modeldeki her bir vücut parçası yine kor, kas, yağ ve deri olmak üzere 4 tabaka ve bir giysi tabakası olarak ele alınmıştır. Vazodilasyon, vazokonstriksiyon, terleme ve metabolik ısı üretimi gibi fizyolojik mekanizmalar modelde net bir şekilde göz önünde bulundurulmuştur. Yine oluşturulan modelde vücudun herhangi bir parçasının araba koltuğu veya herhangi bir başka yüzeyle temasından dolayı olan iletimle ısı geçişi ile vücut ile çevresi arasında taşınım ve ışınım ile olan ısı transferleri de ayrı ayrı ele alınmıştır. Işınım hesapları yapılırken ortamda bulunan yüzeyler ile her bir vücut parçası arasındaki görüş faktörü de hesaplanmıştır. Sunulan model üniform olmayan, geçici rejim durumları için insanın ısıl çevreye vereceği cevapları tahmin etmeye yatkındır.

Yi ve ark. [12], deri üzerinde biriken ter miktarını da göz önünde bulunduracak şekilde Stolwijk çok noktalı modeli geliştirmiş ve modeli simüle ederek insan fizyolojik tepkilerini tahmin etmeye çalışmıştır. Modelde baş, gövde, kollar, eller, bacaklar ve ayaklar olmak üzere 6 vücut parçası kullanılmış ve yine her bir vücut parçasında, diğer Stolwijk modellerinde olduğu gibi, 4 ayrı tabaka kullanılmıştır. İnsan tepkilerini tahmin eden bu model giysi liflerinde su buharının adsorpsiyonunu da ele alan giysi malzemesinin nem ve ısı modeli ile birleştirilmiştir. Yani çok tabakalı giysi sistemi geliştirilmiş ve insan tepkilerini tahmin eden model ile birleştirilmiştir. Çalışmada, derideki ter birikimini de göz önüne alan bu yeni model için kullanılan matematiksel eşitlikler detaylı olarak sunulmuştur. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçları literatürde mevcut deneysel veriler ile karşılaştırmış ve uygun olduğunu göstermiştir ve modelden elde ettiği, çeşitli ortam koşulları için, deri sıcaklığının ve deriden olan buharlaşma ısı kaybının zaman ile değişimini, inceledikleri 6 vücut parçası için sunmuştur.

Hardy ve Stolwijk[13], ani sıcaklık değişimlerine vücudun verdiği tepkiyi deneysel olarak incelemiştir. Çalışmalarında, 3 denek kullanmışlar ve deneklerin 43 °C sıcaklık %30 bağıl nem durumunda bulunan bir ortamdaki, 17 °C sıcaklık %40 bağıl nemde bulunan başka bir ortama geçişi durumunda vücudun verdiği tepkileri tayin etmeye çalışmışlardır. Denekler bir odadan diğer odaya çok hızlı bir şekilde, 1 dakikanın altında bir sürede geçmiştir. Denekler yine sadece şort giymiş durumdadır. Bahsedilen çalışmada, belirtilen ortamlarda bulunan deneklerin 10 ayrı vücut parçasının ortalaması olarak, ortalama deri sıcaklığı ile kor sıcaklığı ve buharlaşma ısı kayıpları sunulmaktadır.

Benzer deneyler Solwijk ve Hardy [14] tarafından bu sefer ortam sıcaklık artışı için yapılmıştır. Bu çalışmada da 3 denek kullanılmış ve deneklerin 20 °C sıcaklık %40 bağıl nem durumunda bir ortamdaki, 48 °C sıcaklık %30 bağıl nemde bulunan başka bir ortama geçişi durumunda vücudun vermiş olduğu tepkiler tayin edilmiştir. Denekler deney esnasında sadece şort giymişlerdir. Sıcaklık artışı durumu için de 10 ayrı vücut parçasının ortalaması olarak, ortalama deri sıcaklığı ile kor sıcaklığının ve vücudun toplam buharlaşma ısı kaybının zamanla değişimi bahsedilen çalışmada sunulmaktadır.

McCullough ve ark. [15], 22 tipik giysi takımı için, dış ortam taşınım direnci dahil ve hariç olarak ayrı ayrı ısı ve buharlaşma dirençleri ile buhar geçirgenlik verimlerini ısıl manken deneyleri ile tayin etmiştir. Bu parametreler, 39 ayrı kumaş türü için de ıslak sıcak plaka aparatı (sweating hot plate apparatus) ile ölçülmüştür. Çalışmada, herhangi bir giysi sistemi için ısı ve buharlaşma direnci ile buhar geçirgenlik verimini tahmin edebilen 2 boyutlu bir hesaplama modeli de geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde deneysel olarak elde edilen kumaş dirençlerinden, kumaş kalınlık verilerinden, farklı kumaş tabakalarının vücut yüzey alanını kaplama oranından ve kumaş tabakaları arasında kalan havanın kalınlığından yararlanılmıştır. Modelden elde edilen tahminler, ısıl manken deneylerinden elde edilen ölçümler ile karşılaştırılmış ve hatanın düşük olduğu görülmüştür.

Toftum ve ark. [16], deri nemliliğinin konforsuzluğa neden olabileceği hipotezini 5 ayrı deri nemliliği seviyesi için 40 insan üzerinde test etmiştir. Buna ek olarak, çalışma kapsamında, tek bir yüksek deri nemliliği seviyesinde kumaş malzemesinin, ortam sıcaklığının ve giysi yalıtımının konforsuzluk algısı üzerine etkisi de ele alınmıştır. Bütün deneysel şartlarda deri nemliliği, ortamın ısı şartları ve giysi takımının deneysel buhar geçirgenliğinin kombinasyonu ile kontrol edilmiştir. Isıl nötr durumda, denekler artan deri nemliliği ile kendi deri şartlarını daha az kabul edilebilir olarak algılamışlardır. Çalışmada, derideki bağıl nemliliğin fonksiyonu olarak derideki ıslaklık sebebiyle oluşan memnuniyetsizliğin oranını tahmin edebilen bir model geliştirmiştir. Bu model, deri nemliliğinin sebep olduğu konforsuzluktan kaçınmak için gerekli iç ortam hava nemini belirlemede kullanılmıştır. Sonuç olarak ısıl olarak nötr, sakin oturma konumunda insan için yüksek ortam bağıl neminin çok büyük konforsuzluklara yol açmadığı bu araştırmacılar tarafından vurgulanmaktadır. Toftum ve ark. [17], insanın soluduğu havanın sıcaklığı ve neminin kabul edilebilirliğini incelemiştir. Çalışmada, solunum ile olan ısı transferinin yetersizliği sebebiyle meydana gelen memnuniyetsizliğin yüzdesini tahmin eden bir model geliştirilmiştir.

Toftum ve Fanger [18], konfor bölgesi için üst nemlilik sınırlarını belirlemeyi amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda daha önce geliştirilen modeller kullanılmıştır. Bu modellerden biri deri nemliliği sebebiyle meydana gelen konforsuzluğun tahminini yapan model[16], diğeri ise, solunum ile olan soğumanın yetersizliği sebebiyle meydana gelen konforsuzluğun tahminini yapan modeldir[17]. Önerilen sınırlar ısıl ortam şartları için varolan standartlarda tanımlanan maksimum izin verilen nemlilik sınırları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, %100 bağıl nem değerine yakın değerlerde bağıl deri nemliliği 0.54 civarında tespit edilmiş ve bu da yaklaşık %20 lik bir memnuniyetsizliği göstermiştir. Ortam bağıl nemi tespit edilirken solunum dolayısıyla oluşan konforsuzluğa daha fazla dikkat edilmesi gerektiği bahsedilen çalışmada belirtilmektedir. ASHRAE 55a gibi standartlarda verilen değerler ile yapılan karşılaştırmalarda, standartlarda verilen maksimum nemliliklerin deri nemliliği bakımından çok bağlayıcı olmadığı, fakat solunum yoluyla olan konforsuzluğa sebep olmamak için bu üst sınırın bağlayıcı olduğu vurgulanmaktadır. Araştırmacılar çalışmalarında, 22 °C, 24 °C ve 26 °C ortam sıcaklıklarında ısıl ortam bağıl neminin izafi deri nemliliği üzerine etkisini de grafik olarak sunmuşlardır.

Stamou ve ark[19] yaptıkları çalışmada, çalışma ofisinde odaya verilen iklimlendirilmiş havanın hız ve sıcaklık dağılımını bulmak için farklı türbülans modelleri ile çözümler yapılmış ve bunların karşılaştırılması yapılmıştır.

Gennusa ve ark[20], güneş ışınımının ısıl konfor üzerinde etkilerinin incelendiği bu çalışmada pencerelerde yapılacak gölgelemenin ısıl konforu ne şekilde etkilediği bilgisayar simülasyonu ile araştırılmıştır.

Otomobil içinde ısıl konfor çalışmaları da yapılmaktadır. Mezrhab ve ark[21] bir otomobil içinde ısıl konfor araştırmasıdır. Otomobil içinde sıcaklık ve hız dağılımları sayısal çözümlene metotları kullanılarak bulunmuştur. Güneş ışınımı, camlar, otomobilin rengi gibi parametrelerin ısıl konfor üzerinde etkileri araştırılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Olesen ve ark.[22] yaptıkları deneylerde 16 erkek denek kullanmıştır. Deneylerde toplam ısı direnci 1.3 clo olmak üzere aynı olan 5 farklı elbise takımını ısı konfor açısından değerlendirmişlerdir. Elbiselerin toplam direnci aynı olmasına rağmen vücut üzerinde dağılımları asimetrik yani farklıdır. Yapılan deneylerde ortam sıcaklığı, denek ortalama deri sıcaklığı 33.3 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Sonuç olarak, denekler tarafından tercih edilen ortam sıcaklığının giysi yalıtım asimetrisinden çok fazla etkilenmediği belirtilmektedir. Bahsedilen çalışmada da insan vücudu 16 ayrı parçaya ayrılarak inceleme yapılmıştır.

Havenith ve ark. [4], giysi özellikleri ve metabolik ısı üretimi gibi ısı konforu etkileyen kişisel faktörler üzerinde durmuştur. Çalışmada, ısı konforunun değerlendirilmesinde “Ortalama Tahmini Oy (PMV)” indisinin kullanımının çok yaygın olduğunu ve PMV indisinin en uygun tahmini için ise metabolik ısı üretimi ve giysi parametrelerinin en doğru şekilde bilinmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Çalışma temelde üç soruya cevap arama şeklinde yapılmıştır. Bunlardan birincisi vücudun hareketli olmasının veya hava hızının giysi ısı direnci üzerine etkisi olup olmadığı ve eğer var ise bu parametrelerin standartlar ile verilen konfor tahminlerini nasıl etkilediği üzerinedir. Diğerleri ise giysi buharlaşma direncinin konfor tahminleri üzerine etkisinin olup olmadığı ve eğer var ise buharlaşma direnci üzerine vücut hareketleri ve hava hızının etken olup olmadığı şeklindedir. Çalışmayı teşkil eden son soru, metabolik ısı üretimini tahmin metotlarının neler olduğu ve bunların doğruluk payı ile konfor değerlendirmelerinde ne kadar faydalı oldukları yönündedir. Sonuçlar şu şekilde sıralanabilir: Vücut hareketleri ve hava hızının giysi yalıtımı üzerine etkisi oldukça büyüktür ve tam doğru konfor tahminleri için bu parametreler mutlaka dikkate alınmalıdır. Yüksek buharlaşma direncine sahip giysiler yüksek deri ıslaklığına sebep olabilir ve bu da konforu sınırlar, bu nedenle konfor hesaplarında giysi buharlaşma direnci ihmal edilmemelidir. Yine vücut hareketleri ve hava hızı, giysi buharlaşma direnci ve dolayısıyla deri ıslaklığı üzerine önemli derecede etkindir ve ihmal edilmemesi gerekli parametrelerdir. Tam doğru konfor değerlendirmeleri için tam doğru metabolik ısı üretimi değerleri gereklidir. ISO 8996 da verilen metabolik ısı üretimi değerlerini geliştirmek için 2 met değerinin altındaki metabolik oranlara sahip aktiviteler için daha fazla ve detaylı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar kişisel parametrelerin ısı konforu nasıl etkilediğini sunması açısından oldukça önemlidir.

Isıl ortam bağıl neminin konfor üzerine etkisi Fountain ve ark. [23] tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada, daha çok yüksek nemin etkisi ele alınmış ve kontrollü odada yapılan deneyler sunulmuştur. Bahsedilen çalışmada, 3 saatlik deneyler sırasında toplam 411 denekin cevapları toplanmış ve seçilmiş 65 denekten de deri sıcaklığı ve ıslaklığı ölçümleri alınmıştır. İç ortam sıcaklığı 20 °C ile 26 °C, ortam bağıl nemi %60 ile %90 arasında değiştirilmiştir. 0.5 clo ve 0.9 clo olmak üzere iki farklı giyim durumu ele alınmış, 1.2 met, 1.6 met ve 4 met olmak üzere 3 farklı metabolik aktivite düzeyi göz önünde bulundurulmuştur. Yaklaşık 1.2 met metabolik aktivite seviyesine sahip sakin oturma esnasında nemin açık bir etkisi bulunamamış, 1.6 met ve 4 met metabolik aktivite seviyelerinde deneklerin cevaplarında farklılıklar oluşmaya başlamıştır. Fakat bu farklılıkların sebebinin direkt olarak nemle alakalı olup olmadığı ayırt edilememiş, bu farklılıklara ısı dengesinin ve sıcaklık denetim mekanizmalarının da sebep olabileceğinden bahsedilmiştir. Çalışmada ortaya çıkan diğer bir sonuç ise 1.6 met ve üzerindeki metabolik aktivite düzeyleri için, memnuniyetsizliği %25 değerinin altına çekebilecek hiçbir nemlilik sınırının olmadığıdır.

Nemin konfor üzerine etkisi Berglund[24] tarafından da araştırılmıştır. Çalışmada düşük ve yüksek nemin insan ısı dengesi üzerine etkisi ele alınmış, düşük ve yüksek nem seviyelerinin ısı denge dışında insana etkilerine de değinilmiştir. Çalışmada, buharlaşma ile su kaybı ve dolayısıyla ısı kaybının, vücut ile çevre havası arasındaki su buharı basıncı farkına bağlı olduğu belirtilerek, nemin insan ile çevresi arasındaki ısı dengesini nasıl etkilediği sayısal olarak şu şekilde izah edilmiştir: 0.6 clo dirence sahip elbiseler ile 24 °C ve %50 bağıl nemde dinlenme durumundaki insan, difüzyona bağlı olarak, 21 mL/s su kaybeder. Bu enerji cinsinden de yorumlanabilir. Dinlenme durumunda insan 1 met (105 W) ısı üretir ve ısı denge için bunu atmaya zorundadır. 21 mL/s su kaybı ile bu enerjinin %20' si yani 21 W' lık kısmı buharlaşma kaybı şeklinde atılabilmektedir. Kalan ısı da diğer mekanizmalar ile atılmaktadır.

Ortam sıcaklığı aynı kalmak üzere nem %50' den %20' ye düşürülürse atılması gereken 105 W' lık ısının %25' i yani 26 W buharlaşma ile atılmaktadır. Bu durumda atılması gereken duyulur ısı 84 W' lık ilk değerinden 79 W' a düşmekte ve deri sıcaklığı 0.3 °C azalmaktadır. Bu durumda kuru havada insan bir miktar soğuk hissine kapılabilir. %20 ile %50 bağıl nemde aynı konforun hissedilmesi için %20 nemde ortam sıcaklığı 1 °C artırılmalıdır. Daha yüksek sıcaklıklarda veya aktivite düzeyinin artmasında ısı dengesi sağlamak için aktif terleme gereklidir. Bu durumda nemin etkisi daha büyüktür. Yürüyen bir insan için metabolik aktivite 3 met (315 W)' dir ve ısı denge için bu enerjinin atılması gereklidir. Ortam sıcaklığına bağlı olan duyulur ısı kaybı çok az değişirken dinlenme durumunda ortaya çıkmayan fakat 3 met metabolik aktivite düzeyinde oluşan aktif terleme ile bu durumda atılan su 252 mL/s' ye çıkacak ve 161 W buharlaşma ile ısı kaybı olacaktır. Metabolik aktivitenin artmasında olduğu gibi yüksek sıcaklıktaki ortamda da yeterli duyulur ısı kaybı olmamasından dolayı buharlaşma kaybı önem kazanacaktır. Çalışmada verilen bu sayısal örnek, bu gibi durumlarda, ortam bağıl neminin yüksek olmasının yeterli buharlaşma kaybının sağlanamamasına sebep olacağını göstermektedir. Çalışmada ayrıca, düşük nemli ortamlarda insanlarda burun, boğaz, göz ve deri şikayetleri ortaya çıkabileceği, yüksek nemli ortamlarda ise bu havanın teneffüsünün konforsuzluk yaratabileceği belirtilmektedir.

Todde[24], hafif aktivite düzeyinde, global ısı konforundaki insanların yerel hava hareketlerine olan tepkisini deneysel olarak incelemiştir. Bahsedilen çalışmada cereyanın (draught) etkisi ele alınmış ve daha önceki çalışmalar ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Todde (2000)' de amaç global ısı konfor şartlarında insanın, arkasından boynuna doğru olan yatay türbülanslı hava hareketlerine algısını ve hissini incelemektir. Çalışmada, 6 bayan 6 erkek olmak üzere 12 denek üzerinde incelemeler standart test odasında yapılmış, denekler hafif aktivite düzeyinde bulunurken, 80 cm arkasındaki jet üfleyiciden tam boyun bölgesine doğru yatay olarak hava gönderilmiş ve çeşitli sorgulamalar ile boyun sıcaklığını tespit işlemine tabi tutulmuşlardır. Üflenen hava sıcaklığı 22.2 °C ile 22.7 °C arasında değişmektedir. 3 tip sorgulama yapılmıştır. Birincisi hava hızı yoğunluğu olup, hava hareketi yok ile çok yüksek hava hareketi tercihleri 0 ile 4 arasında 5 ölçekten oluşmaktadır. İkinci soru boyuna gelen havanın sıcaklığı ile ilgilidir ve bu da nötrden çok soğuk şikkına kadar 0 ile -4 arasında yine 5 ölçekten ibarettir. Üçüncü soru hava hareketi hissi ile ilgili olup, nötrden çok kötüye kadar 0 ile -3 arasında 4 ölçekten oluşmaktadır. Bu sorgulamanın yanı sıra başlangıçta deneklerin boyun sıcaklıkları tespit edilmiş ve bu sıcaklığa göre 2, 10 ve 20 dakika içerisinde farklı hava sıcaklıklarında boyun sıcaklıklarındaki düşüş tespit edilerek grafikler ile bahsedilen çalışmada sunulmuştur. Sonuç olarak, cereyanın özellikle yüksek hava hızlarında süreyle ilişkili olduğu, bayan ve erkek deneklerin cereyana olan tepkisinde farklılıklar olduğu ve bayanların erkeklere oranla daha çok etkilendiği, başlangıçta bayan ve erkek deneklerin deri sıcaklığındaki düşüş aynı iken zamanla bayanların deri sıcaklığındaki düşüşün daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Olesen ve Parsons[3], çoğunlukla yerel konforsuzluğa yol açan cereyan (draught), dikey hava sıcaklığı farkı, zemin sıcaklığı ve ışınım asimetrisi gibi konuları da içerecek şekilde ısı konforu ile ilgili varolan ISO standartlarını ve devam eden çalışmaları açıklamıştır. Çalışmada şu anda mevcut ısı konfor standardı olan EN ISO 7730' da yapılması gereken revizyonlar detaylı olarak sunulmuştur. Olesen ve Parsons[3], varolan standartlarda ısı konforu veya konforsuzluğun tüm vücut için değerlendirildiğini belirtmekte, standartlarda yerel konforsuzluğa yol açan sebeplerin de tartışılması gerektiğini vurgulamaktadır. Diğer yandan standartlarda ortam nemi ve hava hızı etkisinin güncellenmesi gerektiği de çalışmada belirtilmektedir.

Srinavin ve Mohamed[25], PMV indisi vasıtasıyla ısı konforu ile üretkenlik arasındaki etkileşimi incelemiş, daha önce bu yönde yapılmış çalışmaların sonuçlarını istatistiki olarak inceleyerek denklemler elde etmiş ve yaptıkları deneyler ile elde ettikleri istatistiki sonuçları karşılaştırmışlardır. ısı konfor parametreleri ile üretkenlik arasındaki ilişki sadece imalat işleri için araştırılmıştır. Bu işlerde ağır, orta ve hafif iş olmak üzere 3 ayrı aktivite düzeyi göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan deneyler sırasında ağır iş olarak 350 W/m² aktivite düzeyine haiz elle kazı çalışması, orta düzeyli iş olarak 190 W/m² aktivite düzeyinde tuğla dizimi ve hafif iş düzeyi için 120 W/m² metabolik seviyedeki boyama işi değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, deneyler neticesinde, oluşturdukları modelin hafif ve orta düzey işler için yeterli doğrulukta sonuçlar verdiğini, fakat ağır iş için model sonuçlarının deneyler ile iyi bir uyum sağlamadığını vurgulamıştır.

Ayrıca model sadece sıcak ortamlarda yapılan incelemelerden oluşmakta ve soğuk bölgeler için kullanılmaması gerektiği çalışma sonucunda belirtilmektedir.

Holz ve ark. [26], çalışmalarında, bina enerji performans simülasyon programlarının ısı konforu ihmal ettiğinden bahsetmiş, bu programların temel anlamda ortam sıcaklığını kontrol etmenin ısı konforu sağlama anlamına geleceğini varsaydığını vurgulamışlardır. Bu nedenle araştırmacılar, hava hızı, ortalama ışınım sıcaklığı gibi ısı konforuna etki eden diğer parametreleri de çalışmalarında dikkate almıştır. Çalışmada, iki farklı bölgedeki 31 katlı bir ofis binası incelemeye alınmıştır. Binanın enerji performansı DOE-2 isimli bir bina enerji performans simülasyon programı ile incelenmiştir. Daha sonra, DOE – 2 adlı programdan alınan ortam ile ilgili saatlik çıktı değerlerinin ısı konforu üzerine etkileri araştırılmıştır. Konfor araştırması, Fanger tarafından verilen tahmini ortalama oy (PMV) indisi ve buna bağlı olan ortamdaki memnun olmayanların yüzdesi (PPD) üzerinden ele alınmıştır. Sonuçta, ortam nemi ve hava hızının diğerleri ile karşılaştırıldığında konfor üzerine daha az etken olduğu gösterilmektedir. Fakat, nem ve hava hızının kalan 4 parametrenin etkisi incelenirken etken olduğu da çalışmada belirtilmektedir.

Binalarda enerji korunumu ve ısı konforu ile ilgili bir başka yaklaşımda Yang ve Su[27] tarafından yapılmıştır. Çalışmada, özellikle sıcak ve nemli bölgelerde, ışınım sıcaklığının önemli bir faktör olduğundan bahsedilmiş, yüksek ışınım sıcaklığı mevcut olan hallerde iç ortam sıcaklığı ve nemini kontrol etmenin ısı konforu sağlayamayabileceği üzerinde durulmuştur. Böyle durumlarda ortamdaki hava hızının soğutma yükünü azaltma ve böylece enerji korunumu sağlama yönünde önemli bir faktör olduğu söylenmektedir. Çalışmadaki amaç, yüksek ışınım sıcaklığı olan yerlerde ortam sıcaklığını düşürmek yerine ortamdaki hava hızını artırarak aynı konforu sağlamak ve böylece soğutma yükünü düşürerek enerji ekonomisi sağlamaktır. Araştırmacılar çalışmalarında, bu stratejiyi geçerli kılmak için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bahsedilen çalışmada ısı konforu incelemesi yine tahmini ortalama oy (PMV) indisi ile yapılmıştır. Çalışmada sonuç olarak, PMV indisinin, iç ortam hava hızını arttırmak ile enerji ekonomisi sağlamada ve daha iyi ısı konforu elde etmede yeni bir yol açtığı vurgulanmıştır. Yapılan deneyler, yüksek hava hızları ile aynı konfor seviyesinde yaklaşık %30 seviyesinde enerji ekonomisi sağlandığını göstermiştir. Bunun yanı sıra minimum ekstra fan gücü ile daha yüksek iç ortam havası sağlamak koşuluyla daha iyi konfor şartlarının sağlandığı vurgulanmıştır. Özetle çalışmada, PMV değerini nötr tutmak ve enerji ekonomisi sağlamak için iç ortam hava hızını otomatik olarak ayarlayacak bir akıllı kontrol ünitesinin geliştirildiğinden bahsedilmektedir.

Hanging ve ark. [28] yaptıkları çalışmada zaman ağırlıklı ısı konforu indeksi tanımlanmış ve bu indeksin diğer indekslerle karşılaştırılması yapılmıştır. CFD çözümleri yapılarak dinamik ısı konforu çalışmalarında bu indeksin kullanılmasının doğru olacağı ortaya konulmuştur.

Butera [29], vücut ile çevre arasındaki ısı transferi mekanizmalarını açıklamış ve hesaplamalar için gerekli denklemleri sunmuştur. Bahsedilen çalışmada, çeşitli aktivite düzeyleri için metabolik ısı üretimi değerleri, PMV ve PPD gibi önemli konfor indislerinin hesabı, insan vücudu ile çevre ortamdaki yüzeyler arasındaki görüş faktörünün hesap yöntemi detaylı olarak verilmektedir. Sonuç olarak ise, 58 W/m², 81 W/m², 116 W/m² ve 174 W/m² metabolik aktivite düzeyleri için 0 clo, 0.25 clo, 0.50 clo, 0.75 clo, 1 clo ve 1.5 clo giysi yalıtım durumlarında ve muhtelif hava hızlarında operatif sıcaklığa bağlı olarak PMV indisinin değişimi grafikler ile verilmektedir.

Fanger[30], çalışmasında, mevcut standart ve yönetmeliklere uyulmasına rağmen SBS semptomlarından rahatsız olanların mevcut olduğunu ve pek çok binada da iklimlendirmeden memnun olmayan insan sayısının oldukça fazla olduğunu belirtmektedir. Fanger çalışmada, mükemmel seviyede iç ortam koşullarının oluşması için beş adet ilke ileri sürmektedir. Bunlar; daha iyi iç hava kalitesi verimliliği artırır ve SBS semptomlarına rastlama sıklığını azaltır; gereksiz iç hava kirlilik kaynaklarından kaçınılmalıdır; havanın ortamdakilere serin ve kuru olarak verilmesi gerekir; düşük miktarlarda serin hava nazik şekilde bir bireyin soluma bölgesine yakın olarak verilmelidir; ısı ortamin bireysel bazda kontrolü sağlanmalıdır, şeklinde sıralanmaktadır.

Huizenga ve ark.[31], binalarda ve otomobillerde sıkça karşılaşılan, üniform olmayan geçici rejim ısı şartlarında insanların fizyolojik ve sübjektif cevaplarını tayin edebilmek için, kontrollü bir çevrede insanları parçalı ve tüm vücut olarak ısıtma ve soğutma işlemine maruz bırakmışlardır. Çalışmada 109 denek kullanılmış, 19 yerel vücut parçası ve tüm vücut için deri sıcaklıkları, kor sıcaklıkları, ısı duyumu ve konfor cevapları toplanmıştır. Kor sıcaklığının derinin soğumasına karşılık yükseldiği ve derinin ısınması ile ise düştüğü görülmüştür. Vücut nötr ısı şartlarına yakın olduğunda, el ve parmak sıcaklıklarında önemli dalgalanmalar tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, soğuk çevrede bilgisayar kullanımı durumunda, bilgisayarda kullanılan elin deri sıcaklığının boş elin deri sıcaklığına göre 2 – 3 °C daha düşük olduğu, sıcak veya nötr şartlarda ise önemli değişikliklerin olmadığı çalışmada elde edilen bir başka sonuçtur.

Arens ve ark[32], üniform ısı şartlarına maruz bıraktığı deneklerin, tüm vücut ve yerel vücut parçaları bazında ısı duyumlarını ve konfor algılarını sorgulamıştır. Çalışmada, yerel vücut parçaları için ısı duyumu ve konforun büyük değişiklikler gösterdiği belirtilmektedir. Soğuk şartlarda, ellerin ve ayakların diğer vücut parçalarına göre daha soğuk hissedildiği, baş vücut parçasının ise soğuğa duyarsız fakat ılığa duyarlı olduğu ve ılık şartlarda vücudun geri kalan kısmına göre baş vücut parçasının daha ılık hissedildiği ifade edilmektedir. Kişilerin tüm vücut için ısı duyumu ve konfor algılarının ise, ılık şartlarda en ılık hissedilen baş vücut parçası algısı ve soğuk şartlarda ise en soğuk hissedilen el ve ayakların algısı ile paralellik gösterdiği bahsedilen çalışmada belirtilmektedir. Bunların yanı sıra, deneklerin nötr şartları çok konforlu değil konforlu olarak değerlendirdikleri de elde edilen sonuçlardan biridir.

Kaynaklı ve ark. [33], çalışmalarında, otomobil içerisinde, insan ile çevresi arasındaki ısı etkileşimini inceleyen bir model sunmuşlardır. Model vasıtasıyla, ısıtma ve soğutma sürecinde zamana bağlı olarak ısı konfor durumunu ele almışlar, elde ettikleri teorik sonuçları yaptıkları deneyler ve literatür verileri ile karşılaştırmışlardır.

Yiğit[34], 16 bağımsız vücut parçası yaklaşımı çerçevesinde Fanger ve Gagge modellerini birleştirmiş ve yeni bir model oluşturmuştur. Bu model vasıtasıyla 16 ayrı vücut parçası için ısı ve buharlaşma dirençlerini hesaplamış, 5 ayrı giysi takımı için toplam ısı ve buharlaşma dirençlerini tayin etmiş ve bu değerleri literatürdeki deneysel veriler ile karşılaştırmıştır. Yiğit[35] ise bir önceki çalışmasında belirtilen model vasıtasıyla, belirli ortam şartlarında, 16 ayrı vücut parçasından olan duyulur ve gizli ısı transferi miktarlarını hesaplamış ve sonuçları literatürde mevcut deneysel sonuçlar ile karşılaştırmıştır.

Atmaca ve ark.[36], tez çalışması kapsamında oluşturulan modelden farklı olarak, sürekli rejim enerji dengesi modeli ile çeşitli metabolik aktivite düzeyinde çalışan insanlar için ısı konfor durumunu ve üretkenliğin değişimini ele almışlardır. Yiğit ve Atmaca [37] ise, ısı ortam bağımlı neminin ısı konfor etkisini 26 °C den 36 °C' ye kadar 4 °C aralıkla her bir operatif sıcaklık için, yine 16 ayrı vücut parçası üzerinden incelemişler, ısı konforu ya da konforsuzluğu deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerinden yorumlamışlardır. Bu yayında da tez çalışması kapsamında oluşturulan modelden faydalanılmıştır. Fakat yine model gelişme aşamasında olduğu için bir takım farklılıklar mevcuttur. Bahsedilen çalışmada ele alınan modelde, yine sıcaklık denetim sinyalleri her bir vücut parçası için ayrı ayrı alınmıştır. Bunun yanı sıra vücut parçalarına ait olan nötr kor ve deri sıcaklıkları da yine tez çalışması kapsamında verilen modelden farklı olarak deri için 33.7 °C, kor için 36.8 °C de sabit alınmıştır. Atmaca ve Yiğit[38], geçici rejim enerji dengesi modeli ile aktivite düzeyi, ortalama ışınım sıcaklığı ve bağımlı nemin vücuttan olan ısı kayıpları, deri sıcaklığı ve ıslaklığı ile konfor algıları üzerine etkisini incelemiştir. Bahsedilen çalışmada kullanılan model tez çalışmasında oluşturulan modelden farklıdır. Bahsedilen yayın çalışmasında oluşturulan model, vücudu parçalara ayırmadan bir bütün halinde incelemektedir.

Atmaca ve Yiğit[39], tez çalışması kapsamında oluşturulan 2 bölmeli 16 parçalı Gagge modeli vasıtasıyla hazırlanan simülasyon ile ısı ortam bağımlı neminin deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerine etkisini teorik olarak incelemiştir. Bahsedilen çalışmada oluşturulan model, tez çalışmasında oluşturulan modele benzerdir. Tez çalışmasında oluşturulan modelden farklı olarak, sıcaklık denetim sinyalleri tüm vücut yerine her bir vücut parçası için ayrı ayrı alınmıştır. Bu modelden elde edilen teorik sonuçlar, yapılan deneyler ve literatürde mevcut benzer sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmalarda en büyük sıkıntı belli bir aktivite seviyesinde bisiklet egzersizi yapan kişinin metabolik enerji üretiminin tahmini kısmında olmuştur. Bahsedilen yayında, bisiklet egzersizi için metabolik aktivite seviyesi, 1.2 m/s hızla düz yüzeyde yürüme durumu için 150 W/m^2 (2.6 met) olarak alınmıştır. Bu tamamen bir kabul değeridir. Mevcut tez çalışmasında ise, daha doğru karşılaştırmalar için, bisiklet egzersizinde metabolik aktivite seviyesi, simülasyonda en yüksek denek deri sıcaklığı elde edilecek şekilde tayin edilmiş, karşılaştırmalar dışındaki simülasyon sonuçları için ise 1.8 m/s hızla düz yüzeyde yürüme durumu için literatürde verilen değer olan 220 W/m^2 değeri kabul edilmiştir. Yine yayın çalışmasında sıcaklık denetim sinyalleri her bir vücut parçası için ayrı ayrı alındığı için, giysilerin toplam ısı ve buharlaşma direnç sonuçları tez çalışmasında ve yayın çalışmasında bir miktar farklılık arz etmektedir. Bahsedilen çalışmada, $26 \text{ }^\circ\text{C}$, $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $34 \text{ }^\circ\text{C}$ operatif sıcaklıklarda %30, %50, %70 ve %90 nem seviyelerinde vücut parçalarının sıcaklığı ve ıslaklığının değişimi incelenmiştir.

Corgnati ve ark[40] yaptıkları çalışmada, İtalya'nın Torino kentinde 4 farklı okulda 13 sınıfta yapılan bir ısı konfor çalışmasıdır. Bir saha çalışması olarak PPD ve PMV indekslerinin değişim incelenmiştir.

Karjalainen ve ark[41] Oda termostati ve termostatik vanalarla sıcaklık kontrolü yapılan ofislerde çalışanların ısı konforu üzerinde yapılan bir saha çalışmasıdır. 13 binada 27 çalışanla anket yapılarak yapılan bir çalışmadır. Bu çalışmada lokal sıcaklık kontrolünün ısı konfor için kullanılmadığı görülmüştür.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Yukarda verilen ısı konfor çalışmaları incelendiğinde, çalışmaların birçok farklı yönde ve biçimde devam ettiği görülmektedir. Mesken ve işyeri gibi yaşanan mekanlarda yapılan çalışmaların yanında otomobil içinde ısı konfor çalışmaları da yapılmaktadır. Isı konfor çalışmalarında kullanılmak üzere giysilerin ısı ve buharlaşma dirençleri ve bunların ölçülmesi ile ilgili çalışmalar da devam etmektedir. Çalışmaların önemli bir kısmı ise, yaşanan iç hacimlerin ısı konfor açısından daha konforlu hale getirilmesi yönündedir. Çeşitli ısı konfor parametrelerinin ısı konfor üzerinde etkileri, deneysel ve simülasyon çalışmaları şeklinde sürdürülmektedir. Bunun yanı sıra işyerlerinde iş verimine etkisi de ayrı bir araştırma konusudur. Eğitim binalarında, ısı konfor çalışmaları da konunun bir diğer uygulama alanı olarak görülmektedir.

Gelişen ölçme teknikleri ile ısı konfor konusunda önümüzdeki zaman içerisinde de deneysel çalışmaların devam edeceği görülmektedir. Sağlıklı, rahat ve konforlu hacimler, konfor rahat ve iş verimliliğinin önem kazandığı günümüzde, tesisat mühendisi ve araştırmacıların önemli bir konusudur.

KAYNAKLAR

- [1] ANONİM ASHRAE, handbook – Fundamentals, chapter 8. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, 1993.
- [2] ANONİM, Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI / ASHRAE Standard 55 – 2004.
- [3] ANONİM. 1994. ISO 7730, Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. International Organization for Standardization, Switzerland.
- [4] HAVENITH, G., I. HOLMER, K. PARSONS, Personal Factors in Thermal Comfort Assessment: Clothing Properties and Metabolic Heat Production. Energy and Buildings, 34: 581 – 594, 2002.
- [5] GAGGE, A.P., A.C. BURTON, H.C. BAZETT, A practical system of units for the description of the heat exchange of man with his environment. Science, New series, 94 (2445): 428 – 430, 1941.

- [6] GAGGE, A.P., J.A.J. STOLWIJK, Y. NISHI, An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Transactions*, 77 (1): 247 – 257, 1971.
- [7] TANABE, S., K. KOBAYASHI, J. NAKANO, Y. OZEKI, M. KONISHI, Evaluation of Thermal Comfort Using Combined Multi – node Thermoregulation (65 MN) and Radiation Models and Computational Fluid Dynamics (CFD). *Energy and Buildings*, 34: 637 – 646, 2002.
- [8] STOLWIJK J.A.J., Mathematical model of thermoregulation, physiological and behavioural regulation. Charles C. Thomas Publication, p. 703 – 721, 1970.
- [9] STOLWIJK J.A.J., A mathematical model of physiological temperature regulation in man. NASA, CR – 1855, 1971.
- [10] SORENSEN, D.N., Radiation between segments of the seated human body. 8th International Conference on Air Distribution in Rooms 2002, Copenhagen, Denmark, 2002.
- [11] HUIZENGA, C., Z. HUI, E. ARENS., A Model of Human Physiology and Comfort for Assessing Complex Thermal Environments. *Building and Environment*, 36: 691 – 699, 2001.
- [12] YI, L., L. FENGZHI, L. YINGXI, L. ZHONGXUAN., An Integrated Model for Simulating Interactive Thermal Processes Human – Clothing System. *Journal of Thermal Biology*, 29: 567 – 575, 2004.
- [13] HARDY, J.D., J.A.J. STOLWIJK., Partitional calorimetric studies of man during exposures to thermal transients. *Journal of Applied Physiology*, 21(6): 1799 – 1806, 1966.
- [14] STOLWIJK J.A.J., J.D. HARDY., Partitional calorimetric studies of responses of man to thermal transients. *Journal of Applied Physiology*, 21 (3): 967 – 977, 1966.
- [15] McCULLOUGH, E.A., B.W. JONES, T. TAMURA., A Database for Determining the Evaporative Resistance of Clothing. *ASHRAE Transactions*, 95(2): 316 – 328, 1989.
- [16] TOFTUM J., A.S. JORGENSEN, P.O. FANGER., Upper limits for indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin, *Energy and Buildings*, 28: 1 – 13, 1998 (a).
- [17] TOFTUM J., A.S. JORGENSEN, P.O. FANGER., Upper limits for air humidity to preventing warm respiratory discomfort, *Energy and Buildings*, 28: 15 – 23, 1998 (b).
- [18] TOFTUM J., P.O. FANGER., Air humidity requirements for human comfort. *ASHRAE Transactions*, 99: 641-647, 1999.
- [19] STAMOU, A., KATSİRİS, I. Verification of a CFD model for indoor airflow and heat transfer, *Building and Environment* 41, 1171–1181, 2006.
- [20] GENNUSA, M., NUCARA, A., PIETRAFESA, M, RIZZO G., A model for managing and evaluating solar radiation for indoor thermal comfort, *Solar Energy* 81, 594–606, 2007.
- [21] MEZRHAB, A., BOUZIDI, M. Computation of thermal comfort inside a passenger car compartment, *Applied Thermal Engineering* 26, 1697–1704, 2006.
- [22] OLESEN, B.W., Y. HASEBE, R.J. de DEAR., Clothing insulation asymmetry and thermal comfort. *ASHRAE Transactions*, 94(1): 32 – 51, 1988.
- [23] FOUNTAIN M.C., E. ARENS, T. XU, F.S. BAUMAN, M. OGURU., An Investigation of thermal comfort at high humidities. *ASHRAE Transactions*, 94: 94-103, 1999.
- [24] TODDE, V., Perception and Sensitivity to Horizontal Turbulent Air Flows at the Head Region. *Indoor Air*, 10: 297 – 3005, 2000.
- [25] SRINAVIN, K., S. MOHAMED., Thermal Environment and Construction Workers' Productivity: Some Evidence from Thailand. *Building and Environment*, 38: 339 – 345, 2003.
- [26] HOLZ, R., A. HOURIGAN, R. SLOOP, P. MONKMAN, M. KRARTI., Effects of standard energy conserving measures on thermal comfort. *Building and Environment*, 32(1): 31 –43, 1997.
- [27] YANG, K.H., C.H. SU., An approach to building energy savings using the PMV index. *Building and Environment*, 32(1): 25 – 30, 1997.
- [28] HANGING, W., CHUNHUA, H., ZHIQIANG, L., GUANGFA, L.Y., ZHIYONG, W. Dynamic evaluation of thermal comfort environment of air-conditioned buildings, *Building and Environment* 41, 1522–1529, 2006.
- [29] BUTERA, F.M., Chapter 3 – Principles of Thermal Comfort. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2:39 – 66, 1998.
- [30] FANGER, P.O., Human requirements in future air – conditioning environments. *International Journal of Refrigeration*, 24: 148 – 153, 2001.
- [31] HUIZENGA, C., H. ZHANG, E. ARENS, D. WANG., Skin and core temperature response to partial and whole – body heating and cooling. *Journal of Thermal Biology*, 29: 549 – 558, 2004.

- [32] ARENS, E., H. ZHANG, C. HUIZENGA., Partial and whole – body thermal sensation and comfort – part I: uniform environmental conditions. *Journal of Thermal Biology*, 31: 53 – 59, 2006.
- [33] KAYNAKLI, O., M. KILIÇ., Investigation of indoor thermal comfort under transient conditions. *Building and Environment*, 40: 165 – 174, 2005.
- [34] YİĞİT, A., Combining Thermal Comfort Models. *ASHRAE Transactions*, 105(1): 149 – 156, 1999.
- [35] YİĞİT, A., The Computer – Based Human Thermal Model. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 25(7): 969 – 977, 1998.
- [36] ATMACA, İ., Ö. KAYNAKLI, A. YİĞİT., Çeşitli Metabolik Aktivite Düzeyleri için Isıl Konfor ve Üretkenliğin Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli ile Değerlendirilmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 25 (1): 9 – 16, 2005.
- [37] YİĞİT, A., İ. ATMACA., The Investigation of Relative Humidity Effect on Thermal Comfort. *Turkish Society of HVAC – Sanitary Engineers Journal*, 2: 37 – 41, 2005.
- [38] ATMACA, İ., A. YİĞİT., İklimlendirilen Ortamlar için Isıl Konforun Geçici Rejim Enerji Dengesi Modeli ile Değerlendirilmesi. *Makine Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 88: 61 – 71, 2005.
- [39] ATMACA, İ., A. YİĞİT, K. SİVRİOĞLU., İklimlendirme Parametrelerinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi. *TTMD VII. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu*, 8 – 10 Mayıs 2006, İstanbul, 2006.
- [40] CORGNATI, S.P., FILIPPI, M., VIAZZO, S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort, *Building and Environment* 42, 951–959, 2007.
- [41] KARJALAINEN, S., KOISTINEN, O. User problems with individual temperature control in offices, *Building and Environment* 42, 2880–2887, 2007

ÖZGEÇMİŞLER

Abdulvahap YİĞİT

1961 Tunceli doğumludur. 1982 yılında İTÜ Makine Fakültesinden lisans, 1984 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünden Yüksek Lisans ve 1990 yılında doktora diplomasını aldı. 1983 yılında Uludağ Üniversitesi MMF Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma görevlisi, 1990 yılında yardımcı doçent, 1993 yılında doçent ve 2000 yılında profesör olarak göreve atanmış ve halen MMF Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında görevine devam etmektedir. Güneş Enerjisi, Absorpsiyonlu Soğutma ve ısı konfor konularında çalışmaları devam etmektedir.

İbrahim ATMACA

1999 yılında, Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 2002 yılı Şubat ayında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünden yüksek lisans derecesini aldı ve aynı yıl içinde Doktora öğrenimine başladı. Doktora derecesini 2006 yılında aynı enstitüden aldı. 2000 yılı Haziran ayında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2007 yılında Akdeniz Üniversitesi MMF Makine Mühendisliği Bölümünde yardımcı doçent olarak göreve başladı ve halen bu göreve devam etmektedir. Absorpsiyonlu soğutma, ısı konfor konularında çalışmalarını sürdürmektedir.