



**bu bir MMO  
yayıdır**

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **Isıl Konfor**

**MACİT TOKSOY**

D.E.Ü.  
FEN BİLİMLERİ ENS.  
BORNOVA-İZMİR

## I S I L K O N F O R

Prof.Dr.Macit TOKSOY  
Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Makina Mühendisliği Bölümü  
Bornova - İzmir

### ÖZET

Bu makale, 1.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresinde, ısı konfor konusundaki çağdaş tasarım bilgilerini aktarmayı amaçlayan bir çalışmanın sonucudur. Özellikle enerji tasarrufu çabaları arttıkça, ısı konforunda gündeme geldiği ve son yıllarda birçok araştırmanın yapıldığı gözlenmektedir. Ancak ısı konfor konusu ülkemiz teknik literatürüne ve uygulamalarına hiç girmemiştir. Ülkemizde kullanılan iç mahal sıcaklıkları ile ilgili bilgiler, Dünya literatürünün çok gerisindedir ve çağdaş uygulamalara bakıldığında, ısı konfor neredeyse hiç dikkate alınmamaktadır.

Bu bildiride iç tasarım sıcaklıklarının belirlenmesi için belli bir modeli önermek yerine, literatürde yer alan belli başlı modellerin, ilgili temel bilgilerle birlikte, bir yorum getirmeden sunulması tercih edilmiştir. Çünkü kanımızca, mevcut modellerin Ülkemizdeki tasarımlarda kullanılması için, pekçok araştırmanın yapılması gerekir.

.....yeni kentler kurarken sıcak rüzgarların kent sakinlerinin üzerine yayılabileceği bölgelerden sakınmalıyız. Çünkü tüm vücutlar sıcaklık, nem, toprak ve hava olmak üzere dört maddeden oluşurlar; ancak yeryüzündeki tüm canlıların farklı doğasını oluşturan ve yaratılışlarını belirleyen karışımlar vardır.

O nedenle, bu maddelerden birisi olan sıcaklık herhangi bir durumda başat duruma gelirse, şiddeti ile tüm diğer maddeleri eriterek yok eder. Bu kusur gökyüzünün bazı kesimlerinden gelen şiddetli sıcağın, söz konusu vücudun yaratılışına uygun olmayan bir miktarda açık gözeneklere dolmasından kaynaklanıyor olabilir. Aynı şekilde, vücudun kanallarına fazla nem girdiği zaman da oransızlık baş gösterir; nemle karışan diğer elementler bozulurlar ve karışımın özellikleri dağılır...

.. kentimizin yeri için iklimi çok ılımlı olan bir araziye seçmeye büyük özen göstermek zorundayız. Çünkü daha önce de belirttiğimiz gibi sağlıklı olmak birinci koşuldur.

— Vitruvius (M.Ö. 90 - 25), [1]. —

## 1. GİRİŞ

Yazısına, güneş enerjisinin pasif kullanımı ile ilgili bilgileri veren Sokrates ile başlayan SZOKOLAY'a[2] benzer olarak bu makaleye Vitruvius'la başlamayı uygun bulduk.

VITRUVIUS, sağlıklı yaşamak için en başta kentin yerinin iyi seçilmesini öngörmektedir: Günümüzde artık kentlerin yerini seçmede, Vitruvius'un sahip olduğu özgürlüğe sahip değiliz. Aksine, kentlerimizin gelişmesi sağlıklı yaşam koşulları yerine, gecekondulu teknolojisinin koşullarına bağlı.

Gecekondulu teknolojisinin sonucunda ulaştıkları bugünkü durumla İzmir ve İzmit Körfezleri, "...ırmak veya kanallarla çıkışı olmayan durgun bataklıklar, yalnız ağır ve sağlıksız kokular saçarak durdukça kokuşurlar" diyen ve bu çevrede yaşayanları, hastalıktan kurtulamayan "kentin çileli sakinleri" olarak niteleyen VITRUVIUS'un, Yirminci Yüzyılda kullanabileceği örnekler.

Dış koşulların belirleyici olduğu ve sağlıklı yaşamın temel öğelerinden biri olan iç konfor açısından yapılarımız içinde çok olumlu şeyler söylemek mümkün müdür? Makina mühendislerinin tasarım el kitabı olarak kullandıkları Makina Mühendisleri Odası 84 nolu yayını ile Yapı İşleri Genel Müdürlüğü'nün "Kalorifer Tesisatı" adlı yayınında ısı konforunun sadece "iç hacim dereceleri" adlı tablolarında yer alması sanırız ki bu sorunun cevabını vermektedir.

Ülkemizde giderek çok katlı ve çok büyük hacimli yapıların yapılmaya başladığını, hizmete sokulduğunu görüyoruz. 50 katlı yapılar, 3000-5000 kişilik diskotekler, çok lüks konutlar. Bu makalenin yazarı, deneyilemediği için umuyor ki, bu yapıların görkemli üç boyutu yanında, insana hizmet edecek hava kalitesi, hava hızları, sıcaklık dağılımları gibi özellikleri içeren konforun da yeterince dikkate alınmış olmasıdır. Gördüğü için biliyor ki, diğer yapılar da olduğu gibi, yüzlerce öğrencinin öğrenim gördüğü sınıflarda, yemek yediği kafeteryalarda, bunlar hiç dikkate alınmamaktadır. Bu durumun en önemli nedeni ülkemizde ilgili standartların geliştirilmemiş ve uygulamaya sokulmamış olmasıdır. Bir başka neden ise sanırız, dilimize ithal edilmiş konfor kelimesinin çoğunlukla, yine ithal "lüks" kelimesi anlamında algılanmasıdır.

İçinde bulunduğu halden ( kısa veya uzun bir zaman diliminde ) rahatsız olmama - etkilenmeme olarak tanımlanabilecek konfor hissi insanı, aksine etkilere karşı tedbirler almaya yöneltir. Bu tanım politikadan, güncel yaşamın en küçük somut aktivitesine kadar geçerlidir. Klasik davranışların ve sistematik olmayan gelişmelerin dışında, bugün insanları konfor şartlarını daha titizlikle oluşturmaya ve bu konuda daha detaylı araştırma yapmaya yönelten dört ana neden saymak mümkündür. Bunlar konfordan vazgeçmeden enerji tasarrufunu gerçekleştirmek, daha sağlıklı yaşamak, özel aktivitelerde insan yaşamını sürdürmek ve otomatik kontrol elemanlarının / sistemlerinin uygun tasarımını yapabilmektir.

## Enerji gereksinimlerinin karşılanması.

Enerji tasarrufu için söz konusu olan iki farklı yöntem için sırasıyla "delik tıkama" ve "kemer sıkma" terimleri kullanılmaktadır [2].

Kemer sıkma yöntemi, termostat ayarınının 20°C yerine 18°C'a getirilmesi gibi, çevre standartlarının düşürülmesi ile mümkündür. Delik tıkama ise, ısı izolasyonunun iyileştirilmesi, daha iyi sistem verimine ulaşılması, kayıpların azaltılması gibi önlemlerin alınmasıdır.

Mühendisler çok uzun bir zamandır yapıların ısıtılması ve soğutulması için tasarım yapmakta ve bu tasarımlara göre konfor sistemlerini oluşturmaktadırlar. Ancak bu sistemler genellikle, belli bir sıcaklığı sağlamak üzere aşırı büyük yapılmışlardır.

Son yirmi yıllık zaman dilimi içerisinde enerji maliyetlerinin giderek artması, delik tıkama yaklaşımı doğrultusunda enerji tasarrufu yapmak amacıyla tasarımcıları konfor şartları üzerinde daha hassas durmaya yöneltmiştir. Bu yönelim konfor üzerindeki araştırmaları da hızlandırmıştır.

Konforu tanımlayan alan yeterince bilindiği takdirde, konforu sağlayan sistem parametrelerinin değiştirilmesi ile enerji tasarrufu yapmak mümkündür. Int-Hout'un yaptığı çalışma bu konudaki örneklerden [3,4] biri olarak verilebilir. Int-Hout iklimlendirme sistemlerinde düşük sıcaklıktaki havanın kullanılmasıyla, konfor şartlarının ve istenilen iç hava kalitesinin sağlandığını, ayrıca hem işletme hem de yatırım maliyetlerinin düştüğünü göstermiştir [3].

Enerji tasarrufuna yönelik ısıl konfor çalışmaları sadece yapılara özgü değildir. Enerji tasarrufu amacıyla taşıtlarda motorların küçültülmesi, yolcu kabini ısıl konforu için gerekli ısı enerjisi-nide küçültülmektedir. Bu durumun doğurduğu ısıl konforsuzluğun giderilmesi amacıyla hem teorik hemde deneysel çalışmaların yapıldığı görülmektedir [5,6].

Ülkemizde otobüs ve tren ile sık sık seyahat edenlerin bu taşıtlardaki ısıl konforu iyi bildikleri kolayca tahmin edilebilir. Yazın otobüslerde soğutma sisteminin aşırı yükü, çoğu zaman sürücüyü sistemi durdurmaya yöneltmekte, bazan da krank kesilmesine varan mekanik hasarlara sebep olmaktadır. Trenlerimizdeki ısıl konfor sistemleri ise sanırım ilk demiryolu vagonlarının ısıtma prensiplerini hala korumaktadır.

Konforsuzluktan doğan hastalıkların belirlenmesi ve bu hastalıklar nedeniyle yasal işlemlerin başlaması.

İnsanlar çevresel etkilerden korunmak amacıyla, içinde yaşadıkları yapıları yaratırken, kendilerini rahatsız hatta hasta edecek ortamları da oluşturmaktadırlar. Son onbeş yıl içinde belirlenen ve yapay havalandırmanın olduğu yapılarda ortaya çıkan "hasta bina

sindromu (sick building syndrome)" ve "Lejyoner hastalığı (legionaire's disease)" bu olgunun örneklerinden ikisidir[25].

Yetersiz havalandırma, zayıf işletme ve bakım, iç kirlilik kaynakları gibi nedenlerle doğan iç hava kalitesizliğinden gelen, şiddeti ve medikal geçerliliği doktorlarla bilim adamları arasındaki alanda kalan konfor şikayetleri, artık gelişmiş ülkelerde mahkemelerin konusu olmaya başlamıştır [7].

Bu yüzden binalarda yapay olarak yaratılan mikroklimaların oluşturduğu konfor şartları planlama, tasarım, işletme ve bakım esnasında önemle üzerinde durulması gereken bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır.

**Çok özel şartlarda (uzay çalışmaları gibi) konforlu ortamların yaratılması gereksinimi.**

Uzay çalışmaları, derin denizlerde yaşama, biosfer gibi uygulamalar, insanların konfor şartlarının tüm limitleri ile bilinmesini zorunlu kılmaktadır. Geleceğin dünyasının temel tasarım parametreleri bu çalışmalarda ortaya çıkarılmaktadır.

#### **Isıl konfor ve otomatik kontrol**

İnsan konforunu belirleyen parametrelerin aralıkları ve bu parametrelerin belirlediği alanlar üzerinde yapılan araştırmalar, bugünkü modern otomatik kontrolün temel giriş değerlerini oluşturmaktadır. MADSEN'in hem enerji tasarrufu yapmak hemde ısı konforu yükseltmek için önerdiği yeni termostat bu çalışmalardan biridir [8].

Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme tesislerindeki otomatik kontrolün kısa bir tarihçesini veren NELSON'un [9] belirttiği gibi, "kimin kime hizmet ettiği bilinmeyen" ilk soba-insan ilişkisinden çok sonra, basit yaylı termostat ve baca damperi Albert Butz tarafından icat edilmiştir. Sobanın ısıttığı hacimdeki sıcaklığı istenilen seviyede tuttuğu gibi, üşümesin diye sobanın yanışını sürekli takip insana da sobaya karşı biraz daha ilgisiz kalabilme imkanı tanıyarak ısı konforun dışındaki bir konforu da kendisine vermektedir. Günümüzde ise, insan konforunu sağlamak üzere 400 mikroişlemcinin kullanıldığı deneme evleri yapılmakta [10], ve bu çalışmaların getirdiği yeniliklerin de kısa bir zaman sonra yaşamımıza gireceği gözlenmektedir.

Basit yaylı termostatın da, 400 mikroşlemcili sistemin de istenilen konforu sağlayabilmesi için bilinmesi gereken şey, konfor alanlarının tanımlarıdır.

Konfor şartlarının belirlenmesi ve uygulamada ortaya çıkan konfor alanlarının değerlendirilmesi, konforun içerdiği irrational öğelerden dolayı çok zordur. Bu alandaki günümüz araştırmaları hem laboratuvar çalışmalarını [11,12,13,15,18] hemde alan çalışmalarını içermektedir [14,16,17]. Laboratuvar düzeyinde yapılan konfor araş-

tırmalarında yaratılan yapay ortamlarda, gerçek çalışma ve yaşam koşullarındaki insan aktivitelerinin ve evre koşullarının tam olarak gerçekleştirilememesi, araştırma sonuçlarını etkilemektedir. Bu yüzden teorik ve deneysel çalışmalardan çıkan modellerin gerçek alan denemeleri sınanması zorunlu hale gelmektedir [17].

Isıl konfor konusunda 1985 yılına kadar yapılan çalışmaların geniş bir zeti ve değerlendirilmesi SZOKOLAY tarafından verilmiştir [21]. Bu alanda yapılan bilimsel araştırmalar diğer dallarda olduğu gibi hiç şüphesiz devam edecektir. Ancak günümüze kadar olan gelişmelerin işığında geliştirilmiş algoritmalara dayalı bilgisayar programları ve standartlar artık çok geniş olarak kullanılmaktadır.

Bu makalede amacımız ısal konfor konusunda, metabolizma ve vücut ısal dengesi hakkında temel bilgileri aktardıktan sonra, tasarım için gerekli standard yöntemleri vermektir. Ancak konu incelen- dikçe varılan sonuç, bu konuda daha geniş bir çalışmanın yapılması gerektiğidir.

## 2. İNSAN VÜCUDUNDA ENERJİ ÜRETİMİ - METABOLİZMA

İnsan vücudundaki hücrelerin toplam ısı üretimi metabolizma hızı olarak adlandırılır ve bu ısı besinlerin oksidasyonu ile açığa çıkan enerjinin %75-80'i kadardır. Besinlerin oksidasyonu ile açığa çıkan enerjinin geriye kalan %20-25'i (maksimum) fonksiyonel sistemlerce kullanılır ve sonuçta bu enerjide ısıya dönüşür. Bu genellemenin tek istisnası kasların vücut dışında bir iş yapmak üzere kullanılmasıdır.

İnsan vücudunun sürekli olarak, bilinçdışı ürettiği ısı enerjisi bazal metabolizma ( $M_b$ ) olarak adlandırılır. Kaslarda bir iş yapılması esnasında üretilen enerji ise kas metabolizması ( $M_k$ ) olarak isimlendirilir.

Görüldüğü üzere metabolizma hızı insanın içinde bulunduğu aktiviteye bağlıdır. Ayrıca metabolizma hızının yaşa, cinsiyete, iklime de bağlı olduğu belirtilmektedir [21].

Isı üretimi ve kaybı insandan insana değişir. Bu değişkenliği azaltmak üzere, birim alana bağlı değişkenler kullanılır. Metabolizma hızının mekanik enerjiye-işe dönüşen kısmı iş verimi olarak tanımlanır. Ev ve bürolardaki aktivitelerde iş verimi sıfırdır. Çeşitli aktivitelerle ait iş verimleri EK 1'de-ki tablolarda verilmiştir.

Farklı kaynaklardan alınmış ve tipik aktiviteler için değişik metabolizma hızlarını içeren iki tablo aşağıda verilmiştir. Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'deki metabolizma hızları birim insan vücut yüzeyine indirgenmiş değerlerdir. Tablo 2.1'deki değerler iki farklı birimde ifade edilmişlerdir ( $W/m^2$  veya  $met=58 W/m^2$ ). Tablo 2.2'deki değerler ise kcal/saat birimiyle verilmiştir.

Tablo 2.1 : Metabolizma hızları [19,20]		
Aktivite	Metabolizma hızı	
	( $W/m^2$ )	(met)
Yatma	46	0.8
Oturma	58	1.0
Ayakta durma	70	1.2
Hafif aktiviteler (Büro, okul, laboratuvar)	70	1.2
Ayakta aktiviteler (Alışveriş, hafif endüstri)	93	1.6
Ayakta aktiviteler (Ev işleri, makinada çalışma)	116	2.0
Orta aktiviteler (Ağır makina işleri, araba tamiri)	165	2.8
1 km/saat hızla koşma	464	8.0

Tablo 2.2 : 70 kilo ağırlığındaki bir insanda, çeşitli faaliyetler sırasında, bir saatteki enerji tüketimi [21].

Aktivite	Kcal/saat
Uykuda	65
Yatakta uyanık	77
Oturarak dinlenme	100
Ayakta sakin	105
Giyinip, soyunma	118
Dikiş dikme	135
Makina ile hızlı yazı yazma	140
Hafif egzersiz	170
Yavaş yürüme (4.16 km/saat)	200
Marangozluk, metal işçiliği, endüstriyel boyama	240
Aktif egzersiz	290
Ağır egzersiz	450
Ağaç kesme	480
Yüzme	500
Koşma (8.48 km/saat)	570
Çok ağır egzersiz	600
Çok hızlı yürüme (8.48 km/saat)	650
Merdiven çıkma	1100

Yaklaşık olarak bir insanın vücut yüzeyini hesaplamak üzere

$$A_D = 0.202 W^{0.425} H^{0.725} \quad (2.1)$$

korelasyonu kullanılmakta ve  $A_D$ , Du Bois alanı olarak anılmaktadır. Bu ifadeye  $W$  kg olarak ağırlık,  $H$  metre olarak boydur. Standard alan erkekler için 1.8 m<sup>2</sup>, kadınlar için 1.6 m<sup>2</sup> olarak tanımlanmıştır.

Değişik aktiviteler için metabolizma hızlarını, aktivitenin iş verimini ve durgun havadaki izafi hızları içeren geniş bir tablo FANGER tarafından verilen [23: Table 1] geniş bir tablo EK 1'de sunulmuştur.

#### ÖRNEK 2.1

50 kişilik bir sınıftaki öğrencilerin boy ortalaması 1.68, ağırlık ortalaması 76 kg'dır. Sınıfın metabolizma yoluyla olan ısı kazancının tahmini.

Tablo 2.1'den sınıftaki öğrencilerin oturma aktivitesi için metabolizma hızı 1.0 met (58 W/m<sup>2</sup>) seçilebilir. Ortalama boy ve ağırlığa göre ortalama vücut yüzeyi, (2.1) eşitliğiyle tahmin edilebilir:  $A_D = 0.202 (76)^{0.425} (1.68)^{0.725} = 1.854 \text{ m}^2$ . Bu değerlerle sınıfın öğrencilerden olan ısı kazancı,  $Q_{1,0} = 50 (\text{öğrenci}) 58 (\text{W/m}^2) 1.854 (\text{m}^2/\text{öğrenci}) = 5376.6 \text{ W}$  olarak bulunur.



### 3. İNSAN VÜCUDUNUN SICAKLIĞI VE ÇEVRE İLE VÜCUT ARASINDA ISI TRANSFERİ

Hareketsiz bir konumdaki ve termal dengedeki insanın iç sıcaklığı 36.8°C, deri sıcaklığı 33.7°C olarak verilmektedir[26]. İnsan vücudu bu sıcaklıkları sabit tutmak için bir kontrol mekanizmasına sahiptir. Bedenen yapılan ağır işlerde ortalama vücut sıcaklığı 38 hatta 39°C'a kadar çıkabilir. Tekrar hareketsiz bir duruma gelindikten sonra kontrol mekanizması sıcaklığı normal değerlere düşürür.

Vücut sıcaklığı, vücut ile çevre arasındaki ısı transferi (pasif sistem) ve derideki kan akımının, terlemenin sinirsel olarak kontrolü (aktif kontrol sistemi) ile sabit tutulmaya çalışılır. Bu kontroller uzun ve kısa süreli olmak üzere iki çeşittir. Uzun süreli kontroller( 6 aydan fazla), coğrafi konum değiştirme durumunda vücudun yeni iklimde enerji dengesini kurmaya yöneliktir. Sıcak yörede yaşayan insanın kan dolaşımı hızının, soğuk bölgedekine göre %20 daha fazla olması bu kontrol sayesinde gerçekleştirilir. Kısa süreli (20 - 30 dakika) kontroller ise deri altına gönderilen kan miktarında yapılan değişiklikler, terleme hızının ayarlanması ve kalp atışlarının değiştirilmesidir.

Bu kontroller çevre ile vücut arasındaki enerji dengesini sağlamadığı takdirde vücut sıcaklığı yükselir veya azalır, nihayet 42°C üst ve 25°C alt sıcaklıklarında ölüm gerçekleşir. Bu kontrol mekanizmaları konusunda okuyucunun SZOKOLAY'a [2] başvurması önerilir.

Vücut içi sıcaklığının ölçümünün değişik yöntemleri söz konusudur. Bunlar;

- Oral sıcaklık ( $T_{or}=T_{cr}$ ) ölçümü
- Rectal sıcaklık ölçümü ( $T_{re}$ )
- Esophagel sıcaklık( $T_{es}$ ) ölçümü  
(Kalp içi kan sıcaklığı)
- Tympanic membrane sıcaklığı( $T_{ty}$ )
- Deri sıcaklığı( $T_{sk}$ ) ölçümü

Bu sıcaklıklara bağlı olarak vücut içi ortalama sıcaklığını ( $T_b$ ) belirleyecek hassas bir yöntem mevcut değildir. Bu sıcaklıklardan rectal sıcaklık ile vücut içi (core) sıcaklığı, ortalama deri sıcaklığı ile de vücut dış yüzeyi sıcaklığı temsil edilir. Ortalama deri sıcaklığı vücudun değişik yüzeylerinde eşit alanlarda ölçülen sıcaklıkların ortalaması olarak hesaplanır. Bu iki sıcaklığın aşağıda verilen ortalamasının, ortalama vücut sıcaklığının belirlenmesinde en uygun bağıntı olduğu belirtilmiştir [22]:

$$T_b = k^*T_{cr} + (1-k^*) T_{sk} \quad (3.1)$$

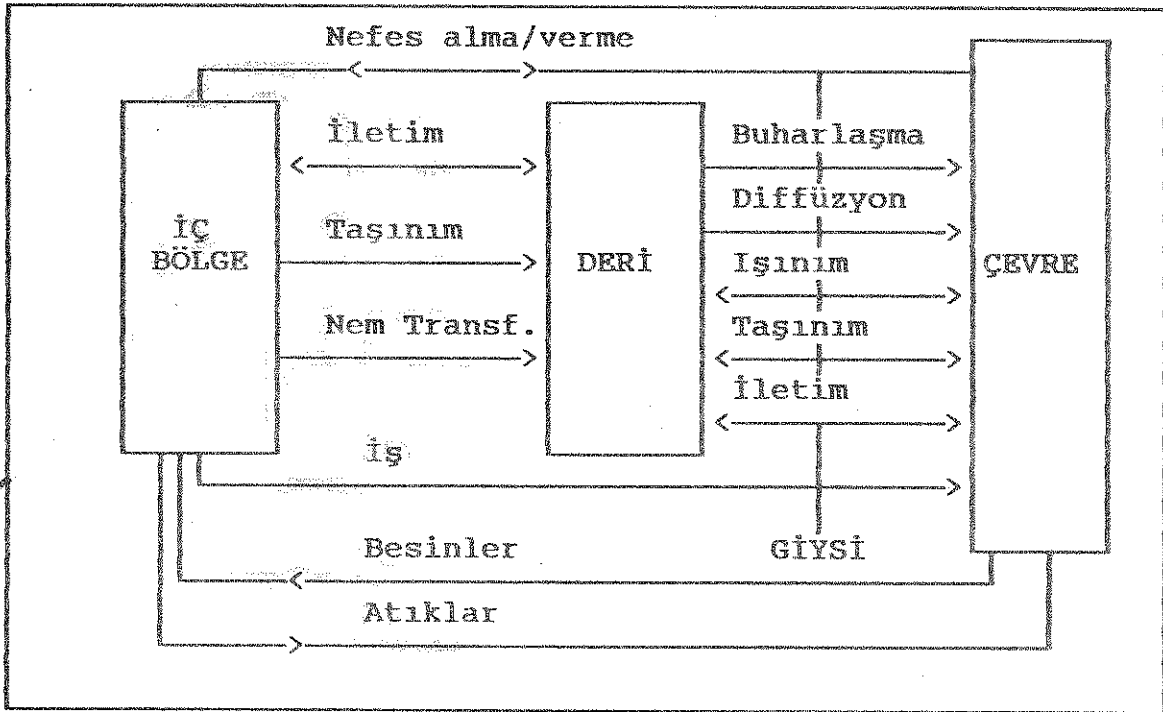
Bu bağıntıdaki ağırlık katsayısı, vücudun ısıl dengede olup olmadığına bağlı olarak değişir. Terlemenin söz konusu olduğu ısıl denge halinde  $k^*= 0.8 - 0.9$  , vücudun soğuk ortamda bulunması halinde  $k^*= 0.67$  , konforlu bir ortamda ve ısıl denge hali için

$k^+ = 0.8$  değerleri verilmektedir [22].

İnsan vücudunun ortalama sıcaklığı, yukarıdaki  $k^+$  katsayısının değerlerinden de görüleceği üzere, vücutta üretilen enerji ile çevreye verilen enerji arasındaki dengeye bağlıdır.

Isı Transferi insan vücudu içi ile çevre arasında Şekil 3.1' de sematik olarak belirtilen mekanizmalar ile olmaktadır.

İç bölgeden deri yüzeyine ısı transferi taşınım (kan yoluyla), iletim ile ve iç bölgeden dışarıya deriye doğru olan nem transferi mekanizmaları ile gerçekleşir. Nefes alma yoluyla da çevre ile iç bölge arasında doğrudan sürekli bir ısı transferi vardır. Ayrıca aralıklı olsada alınan besinler ve atıklar yoluyla yine vücut ile çevre arasında enerji transferi söz konusudur.



Şekil 3.1 : Vücut ile çevre arasındaki ısı transferi mekanizmaları

Deri yüzeyi ile çevre arasında ise kütle transferi (buharlaşma ve nem diffüzyonu) yoluyla ve iletim, taşınım ve ışınım mekanizmaları ile ısı transferi söz konusu olur.

Deriden çevreye olan enerji transferinde giysinin ısı ve nem transferine karşı olan direnci önemlidir. Giysilerin ısı direnci için clo birimi ( $1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ) kullanılmaktadır. Çeşitli giysiler ve ayakta duran bir insan için aşağıdaki Tablo 3.1 de örneklenmiştir. Eğer bir insan oturuyor veya bir divan üzerinde uzanıyorsa, direnç değerleri aynı giysilerle ayakta durma halinden daha büyük olacaktır.

Giysilerin ısı dirençleri ile ilgili FANGER'den [23: Table 2] ve SZOKOLAY'dan[2] alınan daha geniş iki tablo sırasıyla EK 2 ve EK3' te verilmiştir

Giysi türü	Isı direnç	
	(m <sup>2</sup> K/W)	(clo)
Çıplak	0	0
Şort	0.015	0.1
Tipik tropik giysiler	0.045	0.3
Hafif yaz giysileri	0.08	0.5
Hafif iş elbiseleri	0.11	0.7
Kışın kapalı hacim giysisi	0.16	1.0
Geleneksel Avrupa iş adamı giysisi	0.23	1.5

#### 4. ISIL KONFOR

Genel anlamda konfor kişiden kişiye değişen, görece bir kavramdır. Bu yüzden topluluğun büyük bir çoğunluğu için,

- \* Fizyolojik
- \* Psikolojik
- \* Sosyal
- \* Kültürel

rahatsızlıkların minimum olduğu ortam konforlu bir çevre olarak tanımlanabilir. Rasyonel (fizyolojik-termofiziksel) ve irrasyonel (konfor hissi) kavramları içerdiği için, konforun mutlak tanımının yapılması ve anlaşılması güçtür.

İnsan vücudu çevre etkilerine karşı iki türlü tedbir alır  
Bunlar:

1. Reflex-fizyolojik tedbirler
2. Fiziksel tedbirler

İnsanın çevre etkilerine uyumu için aldığı reflex-otonom tedbirler için harcadığı çaba konfor hissini belirler

Isıl konfor için ilk şart insan vücudu ile çevre arasındaki ısı dengesinin olması (Isıl olarak nötral konum) veya dengesizliğin kabul edilebilir olması, bir başka deyişle insanın daha yüksek veya daha düşük hava sıcaklığı istememesidir.

İnsanların yaşadıkları hacimlerin ısıtılmasının, havalandırılmasının veya iklimlendirilmesinin amacı kişiler için uygun bir iç iklimin elde edilmesidir. Bu iklim "uygun bir hava kalitesi ve uygun bir ısı çevre" olarak tanımlanabilir. Bu gereksinimlerin elde edilebilmesi pratikte güç olabilir. İnsanlar birbirinden çok farklıdırlar ve bazı insanlar çok fazla hassastırlar.

Dolayısıyla bir hacim içerisindeki bütün insanları aynı anda konforlu tutmak mümkün olmayabilir. Bu yüzden ısı konfor ile ilgili Uluslararası Standard ISO 7730, ASHRAE 55-81 ve NBK normları içindeki kriterler, belli bir yüzdede insan grubu için kabul edilebilirliği öngörülen şartları belirlemektedir.

Isıl konfor insanın ısı çevreden tatmin olduğunu belirttiği durum olarak tanımlanır. PMV (Predicted Mean Vote) ve PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) indeksleriyle (Bölüm 6) belirtilen tatminsizliğin sebebi genelde, vücudun soğuk veya sıcaktan gelen konforsuzluğundan kaynaklanır. Yine tatminsizlik, vücudun sadece bir parçasının istenilmeyen ısıtılması ve soğutulmasıyla da -yerel konforsuzluk, Bölüm7- oluşabilir.

Bireysel farklılıklardan ötürü herkesi tatmin edecek bir ısı çevrenin belirlenmesi mümkün değildir. Hacim içerisinde yaşayanların bir kısmı daima tatmin olmamış olarak tahmin edilir ve ancak belli bir yüzdede insan grubu için kabul edilebilir olduğu öngörülen

bir ortam tanımlanabilir. ISO 7730 standardında konfor şartlarının yaşayanların en az yüzde sekseni [20], ASHRAE Standard 55'te ise yüzde doksanı [26] tarafından kabul edildiği öngörüsüyle belirlendiği belirtilmektedir.

İnsan çevre etkilerini filitrelemek için yakın çevresini, dış çevreden ayırarak mikroklimalar yaratmaya çalışır. Bu mikroklimalar içinde ısı konforu belirleyen parametreler ortalama parametreler ve yerel parametreler olmak üzere iki grupta toplanabilir:

#### Ortalama parametreler

- \* hava sıcaklığı
- \* hava nemi
- \* ortalama ışınım sıcaklığı
- \* ortalama hava hızı

#### Yerel parametreler

- \* mikrolimadaki asimetri
- asimetric ışınım alanı
- düşey sıcaklık değişimi
- yerel esinti etkisi
- \* vücudun katı cisimlerle doğrudan teması

Bu parametreler,

- dış iklime
- yapı elemanlarına (hacimdeki dış duvar sayısı, pencere sayısı, izolasyon, duvar ölçüleri, infiltrasyon, oda boyutları, vs),
- yapı konfor bileşenlerine (Isıtma/soğutma yöntemi, vs),
- yapı çevresine (Yapının çevresindeki iklimi etkileyen faktörler, gölgeleme vs),
- yapı içindeki insan pozisyonuna

bağlıdır.

Bu parametrelere ait herhangi bir kümenin konforlu olarak hissedilebilmesi insanın aktivite cinsine bağlı metabolizmasına ve giysi türüne bağlıdır. Bir hacmin konforlu bir yapıya ulaştırılabilmesi için önce o hacimdeki insanların metabolizma hızları (Tablo 2.1, Tablo 2.2, EK 1 ) ve giysi türleri (Tablo 3.1, EK 2 ve 3) tahmin edilmelidir. Daha sonra bu iki değere göre ortalama parametreler belirlenmelidir. Bu değerlendirme Bölüm 5'te verilmiştir. Ortalama parametrelerin uygun aralıklarda olması konfor için yeterli değildir. Ayrıca yerel konforsuzluğa (Bölüm 7) sebep olacak yerel parametrelerin de uygun değerlerde olması gerekir.

## 5. ISIL KONFOR MODELLERİ VE ISIL KONFORUN BELİRLENMESİ

Tasarımcı açısından ısı konforunun belirlenmesi demek, bilimsel yöntemlerle bulunmuş konfor kriterlerini-modellerini kullanarak, insanlar tarafından belli bir amaç ve belli bir zaman diliminde kullanılacak bir hacmin hava sıcaklığına, hava nemine, yüzey sıcaklıklarına, hacimdeki izafi hava hızlarına ait değişim aralıklarını, hacmi çevreleyen yapı elemanlarına, dış hava koşullarına, hacmin bulunduğu yere ve ülkeye, hacmi kullanacak insanların giysilerine ve aktivitelerine bağlı olarak üç boyutlu dağılımını bulmaktır.

Yukarıdaki tanıma pek yakınsamasa da, 84 Nolu MMO yayınına bakarak kış şartlarında bir salon için ısıtma sistemi tasarımına esas olmak üzere sıcaklığın 22°C seçilmesi ısı konforunun belirlenmesidir.

Varolan bir hacimde ısı konforunun belirlenmesi ise, o hacimde çeşitli ısı parametrelerinin ölçülerek bilimsel yöntemlere dayalı kriterlere göre değerlendirilmesi ile, hacmin konforlu olup olmadığına karar verilmesidir.

Bir ortamın ısı açıdan konforlu olup olmadığının belirlenmesi yöntemlerini araştıran çalışmaların sonucunda ortaya konulan modeller "analitik" ve "deneysel" olmak üzere iki grupta toplanabilir.

Analitik konfor modellerinin çıkış noktası, insan vücudu ile çevre arasındaki enerji dengesinin ısı konforu açısından en önemli fiziksel mekanizma olduğunun farkedilmesidir. Bu noktadan hareketle vücut ile çevre arasında enerji denklemleri yazılmış ve bu denklemlerin, deri sıcaklığında olduğu gibi, deneysel olarak elde edilen kabul edilebilirlik sınırları arasındaki çözümleri ısı konfor bölgesi olarak verilmiştir. Bu modellerde kullanılan bağımsız değişkenlerin, parametrelerin çokluğu her zaman geçerli olabilecek tek bir çözümün elde edilmesini mümkün kılmamaktadır. Değişkenlerin çokluğu nedeniyle bu modellerin kullanılmasında bilgisayar kullanımının yaygınlaştığı ve ısı konforu tasarımı için paket programların hazırlandığı görülmektedir.

Deneysel ısı konfor modelleri ise, ısı konfor kriterlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan alan çalışmalarının (field studies) sonucunda elde edilen istatistik bilgilerin değerlendirilmesiyle elde edilmiş, analitik modellere göre daha az sayıda parametreyi içeren kullanımı kolay, daha basit regresyon denklemleridir.

Ülkemizde yaz iklimi için hacimlerdeki sıcaklığı belirlemek üzere kullanılan

$$\text{Hacim sıcaklığı} = \text{Dış sıcaklık} - 10^{\circ}\text{C}$$

eşitliği bir deneysel model olarak verilebilir.

Bu bölümde tasarımcılar için pratik yararı olmayan teorik detaylardan mümkün olduğunca sakınarak, her iki gruba ait modellerin literatürde ağırlıklı olarak yer alanları, gerekli görülen temel-

leri ve tasarımcıya sunulan sonuçları ile ele alınacaktır. Diğer modeller ve ısı konfor biliminin tarihi gelişimi için okuyucuların, SZOKOLAY[2]'in ilgili konudaki geniş makalesini okumaları tavsiye olunur.

### 5.1 ANALİTİK ISIL KONFOR MODELLERİ

İnsan vücudu genetik kodu gereği, yaşam fonksiyonlarını sürdürebilme otonom davranışları sonucu, içinde ısı üretilen ve belli sıcaklıkta tutulan non-homojen bir ortamdır. Vücut ile çevre arasında hem madde, hem enerji transferi vardır.

Enerji transferinin dinamik davranışının fizyolojik ve psikolojik değerlendirilmesi konfor hissini-duyumunu belirlemektedir.

Rasyonel olarak enerji dengesinin kurulduğu çevre, yani vücudun net enerji kazancının sıfır olduğu (kararlı enerji dengesi) çevre ısı açıdan konforlu çevre olacaktır. Ancak enerji dengesi, değişen koşullara karşı vücudun fizyolojik tedbirler (vasolidation, terleme, kalp atış hızının değişmesi gibi) almasından ötürü, konforlu kabul edilmeyen ortamlarda da kurulabilir. O halde enerji dengesinin kurulduğu her ortam konforlu değildir.

Vücudun aktivite ve çevre değiştirme süreçleri de önemlidir. Değişim süreci, termostatın ON/OFF konumlarına bağlı olarak değişen ortam sıcaklığındaki dalgalanmaların periyodu gibi kısa süreli olabileceği gibi, iklim koşullarının ve giyim geleneklerinin tamamen değiştiği coğrafi yer değiştirmeler sonucu gelişen iklime uyum (acclimatization) süreleri gibi uzun bir zaman dilimi (4 - 6 ay) içinde de yer alabilir.

O halde yapılacak rasyonel işlem, uygun bir kontrol hacmi tanımlamak ve enerji transferi mekanizmalarının akı denklemlerini kullanarak Enerjinin Sakınımı Kanununu uygulamaktır. İşte bu yöntem burada analitik modeller olarak adlandırılan ısı konfor modellerinin temelidir.

Daha önce yapılan dar çerçeveli çalışmalar olmasına rağmen [2], günümüzde kullanılan en gelişmiş analitik ısı konfor modeli FANGER [23] tarafından geliştirilmiştir. Bu model kararlı enerji dengesini göz önüne alır ve vücut içindeki sıcaklık gradyantını ihmal eder.

İçindeki sıcaklık gradyantını yine göz önüne almamasına rağmen, vücudu iç bölge (core) ve deri olmak üzere iki elemandan oluşan bir ortam olarak kabul eden, temel olarak FANGER'in yaklaşımıyla, kararsız enerji dengesini ele alan ikinci analitik model ise GAGGE ve arkadaşlarının [26] geliştirdiği ısı konfor modelidir.

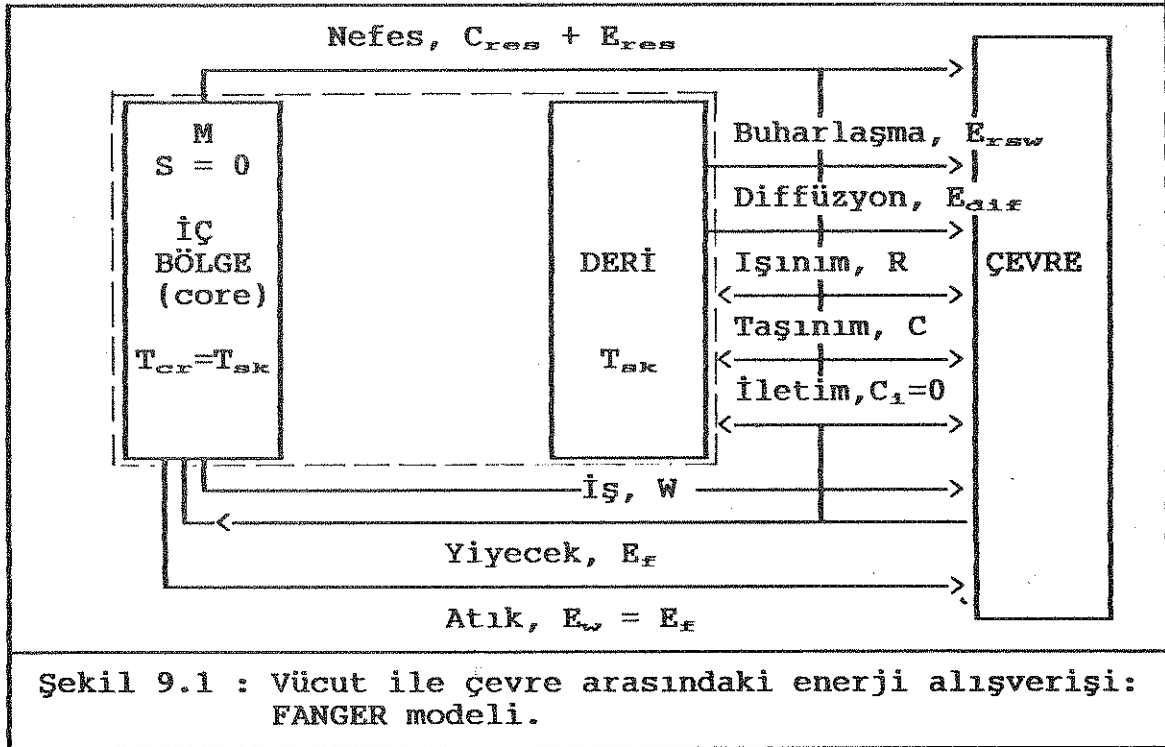
Burada her iki modelin temeli olan enerji denklemleri yazılarak, modellerin sundukları çözümler üzerinde durulacaktır.

### 5.1.1 KARARLI ANALİTİK ISIL KONFOR MODELİ : FANGER ISIL KONFOR DENKLEMİ

Bölüm 3.1 de verilen ve Şekil 5.1 de gösterilen, insan vücudu ile çevre arasındaki enerji transfer mekanizmalarını göz önüne alalım. Eğer vücudu deri ile sınırlandırılmış tek bir sıcaklığa sahip bir kontrol hacmi olarak ele alırsak, kontrol yüzeyindeki işlemleri göz önüne alarak, enerjinin korunumu kanununu için aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$S = M - W - C_{res} - E_{res} - E_{rsw} - E_{dif} - C - R - C_1 + E_f - E_w \quad \dots(5.1)$$

S	= Vücuta depolanan enerji	Tüm birimler: W/m <sup>2</sup>
M	= Metabolizma hızı = M <sub>b</sub> + M <sub>k</sub> + M <sub>sh1</sub>	
M <sub>b</sub>	= Bazal metabolizma	
M <sub>k</sub>	= Kas metabolizması	
M <sub>sh1</sub>	= Titreme metabolizması	
C <sub>res</sub>	= Nefes yoluyla duyulur ısı kaybı	
E <sub>res</sub>	= Nefes yoluyla gizli ısı kaybı	
E <sub>rsw</sub>	= Deri yüzeyinde buharlaşma yoluyla gizli ısı kaybı	
E <sub>dif</sub>	= Deri yüzeyinde diffüzyon yoluyla gizli ısı kaybı	
C	= Deri yüzeyinden taşınım ile ısı kaybı	
R	= Deri yüzeyinden ışınlam ile ısı kaybı	
C <sub>1</sub>	= Deri yüzeyinden iletim ile ısı kaybı	
E <sub>f</sub>	= Besinler yoluyla kazanılan duyulur ısı	
E <sub>w</sub>	= Atıklar yoluyla kaybedilen duyulur ısı	



Şekil 9.1 : Vücut ile çevre arasındaki enerji alışverişi: FANGER modeli.



Eğer besinler ile kazanılan duyulur ısı, atıklar yoluyla kaybedilen duyulur ısıya eşit alınırsa (  $E_f = E_w$  ) ve iletim yoluyla çevreye verilen enerji ihmal edilirse (  $C_1 = 0$  ) enerji denklemi,

$$S = M - W - C_{res} - E_{res} - E_{rsw} - E_{dif} - C - R \quad (5.2)$$

şeklinde basitleşir. FANGER[23] konfor için üç şart öngörmüştür:

(a) Vücut ile çevre arasında kararlı ısıl denge olmalıdır:

$$S = 0 \quad (5.3)$$

(b) Deri sıcaklığı belli limitler arasında olmalıdır ( $a < T_s < b$ ) ve deneysel çalışmalardan konforlu bir insan için deri sıcaklığı,

$$T_s = 35.7 - 0.0275 (M - W) \quad (5.4)$$

eşitliğiyle verilmiştir.

(c) Terleme ile olan ısı kaybı belli limitler arasında olmalıdır ( $c < E_{rsw} < d$ ) ve deneysel çalışmalardan konforlu bir insan için terleme yoluyla ısı kaybı,

$$E_{rsw} = 0.42 (M - W - 58.15) \quad (5.5)$$

eşitliğiyle verilmiştir.

FANGER bu üç şartı ve ısı transferi mekanizmalarına ait akı denklemlerini (5.2) nolu denkleme dahil etmiş ve elde ettiği denklemi genel konfor eşitliği olarak önermiştir. FANGER'in genel konfor denklemi ve bu denklemdeki giysi sıcaklığı ( $T_{cl}$ ) ile taşınım ısı transfer katsayısı ( $h_{c1}$ ) eşitlikleri Tablo 5.2'de verilmiştir. Konfor denklemi aşağıdaki (Tablo 5.1) değişkenleri içermektedir. Bu denklem ile verilen bir aktivite ve giysi türü için, kararlı koşullar altında insanın konforlu olduğu hava sıcaklığı, hava nemi, ortalama ışınım sıcaklığı ve izafi hava hızı değerlerinden birini diğerleri bilindiği taktirde hesaplamak mümkündür.

Giysilerin direnci, $I_{cl}$ Örtünme oranı, $f_{cl}$	Giyim Değişkenleri
Metabolizma hızı, $M$ İş, $W$	Aktivite Değişkenleri
İzafi hava hızı, $v$ Hava sıcaklığı, $T_a$ Buhar basıncı, $p_a$ Ortalama ışınım sıcaklığı, $T_{mrt}$	Çevre Değişkenleri

FANGER Konfor Eşitliği görüldüğü üzere oldukça karmaşıktır. Birçok iterasyonu içerdiğinden bilgisayar kullanımı dışındaki çözüm yöntemleri için uygun değildir. Bu denklemin kullanılmasıyla

Fanger tarafından yapılan parametrik çalışmaların bir kısım sonuçları Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de Konfor Diagramları olarak verilmiştir. Bu konfor diagramlarının pratik kullanımına ait bir çalışma Örnek 5.1'de sunulmuştur.

**Tablo 5.2 : FANGER Konfor Denklemi [26].**

$$\begin{aligned}
 M - W = & 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] \\
 & - f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \\
 & + 3.05 [5.73 - 0.007 (M - W) - p_a] \\
 & + 0.42 [(M - W) - 58.15] \\
 & + 0.0173 M (5.87 - p_a) \\
 & + 0.0014 M (34 - T_a) \dots\dots\dots(5.6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{cl} = & 35.7 - 0.0275 (M - W) - f_{con} I_{cl} [(M - W) \\
 & + 3.05 [5.73 - 0.007 (M - W) - p_a] \\
 & + 0.42 [(M - W) - 58.15] \\
 & + 0.0173 M (5.87 - p_a) \\
 & + 0.0014 M (34 - T_a)] \dots\dots\dots(5.7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_c = & \begin{matrix} 2.38 (T_{cl} - T_a)^{0.25} <-- & 2.38 (T_{cl} - T_a)^{0.25} > 12.1 & v \\ 12.1 & v & & <-- & 2.38 (T_{cl} - T_a)^{0.25} < 12.1 & v \end{matrix} \\
 & \dots\dots\dots(5.8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{cl} = & \begin{matrix} 1.0 + 0.2 I_{cl} <-- & I_{cl} < 0.5 \text{ clo} \\ 1.05 + 0.1 I_{cl} <-- & I_{cl} > 0.5 \text{ clo} \end{matrix} \\
 & \dots\dots\dots(5.9)
 \end{aligned}$$

**ÖRNEK 5.1**

**ÖRNEK : KONFOR SICAKLIĞININ FANGER KONFOR DİAGRAMLARIYLA BULUNMASI**

**Soru** : Duvarları, yavanı ve tabanı iyi yalıtılmış bir konferans salonunda yaz şartlarında konfor sıcaklığının belirlenmesi

**Parametre seçimleri :**

**Giyisi türü** : Giyisi türü konfor sıcaklığını çok etkilemektedir.

Konferans salonunun kimler tarafından kullanılacağına dikkat edilmelidir. Bu konferans hemen her zaman takım elbise giyen bir insan topluluğunun kullandığı bir konferans salonu olabileceği gibi, yaz şartlarında daha hafif giysiler giyen insanların büyük bir çoğunlukla kullanabileceği bir konferans salonu olabilir. İlk durumda giysi türü orta giysiler ( 1 clo), ikinci durumda ise hafif giysiler ( 0.5 clo) olarak seçilmelidir. Her iki durum için de konfor sıcaklığı seçimi yapılacaktır.

**Aktivite** : Konferansı sunan dışında tüm dinleyiciler oturarak konferansı dinleyeceklerine göre çoğunluk için aktivite yavaş aktivite ( 1 met) olarak seçilebilir.

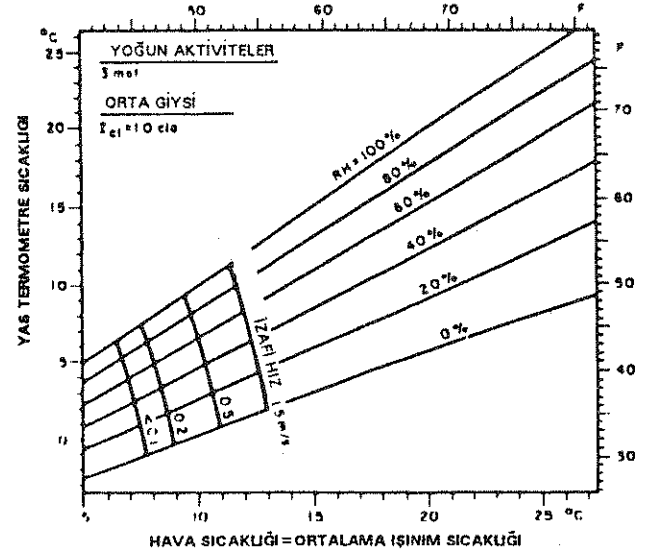
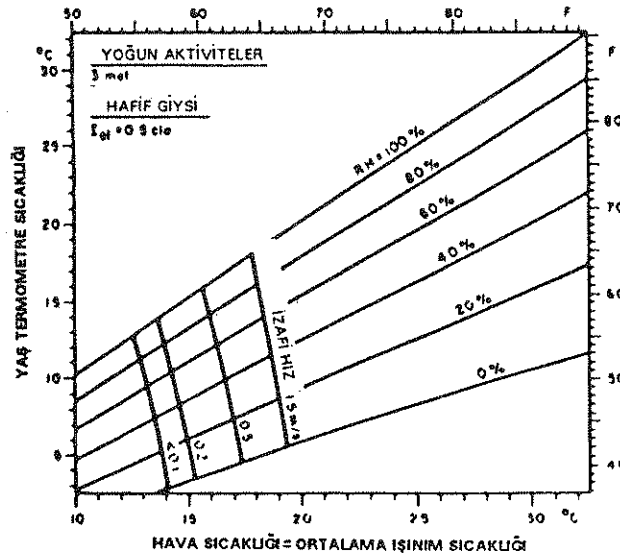
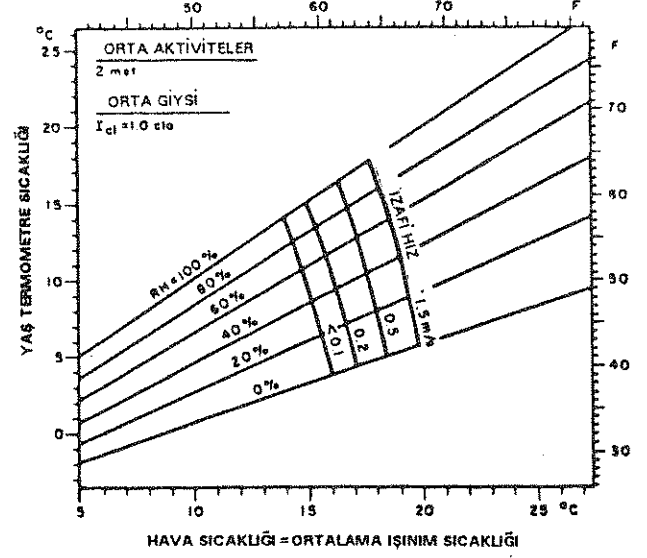
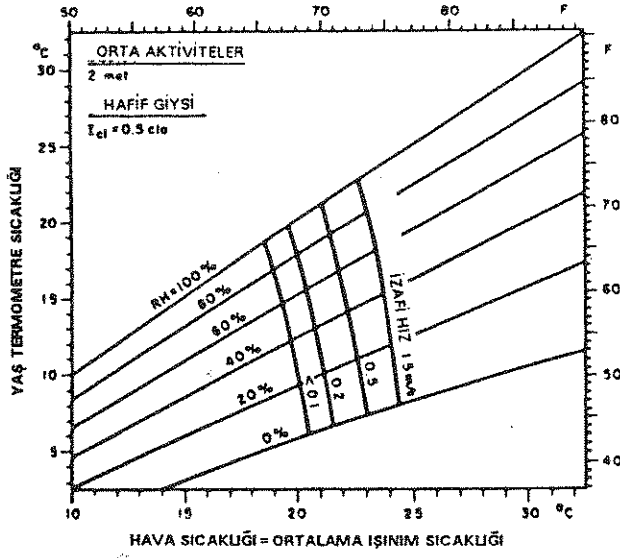
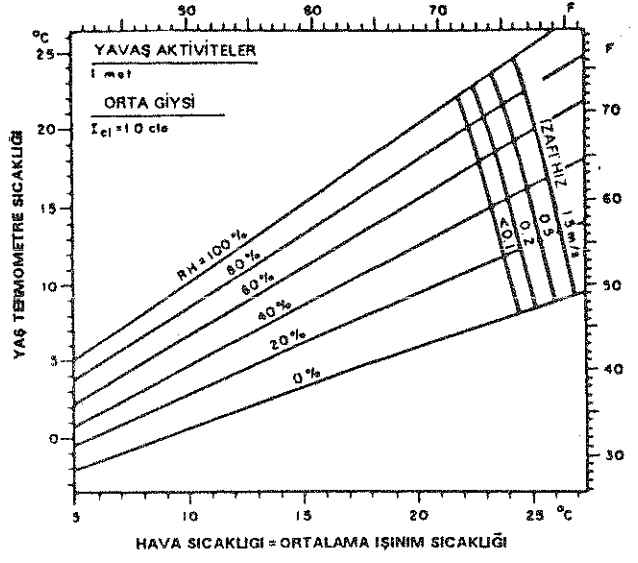
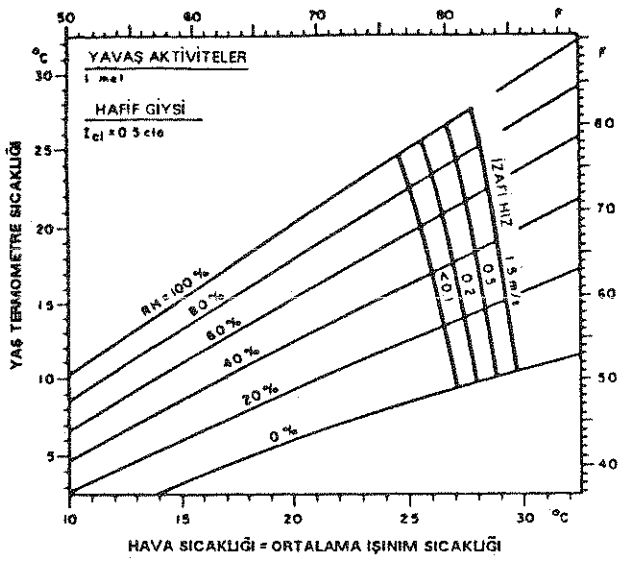
**İzafi hava hızı** : Dinleyicilerin oturdukları seviyede 0.2 m/sn olarak seçmek uygundur.

**Nem** : Nem oranı %50 olarak seçilebilir.

**Kabul** : Konferans salonunu çevreleyen yüzeyler iyi yalıtılmış olduğu için, iç yüzey sıcaklıkları ortalama hava sıcaklığına yakın olacaktır. Bu nedenle ortalama ışınım sıcaklığının hava sıcaklığına (kurutermemotre) eşit olduğu kabulü yapılabilir.

**Çözümler** :

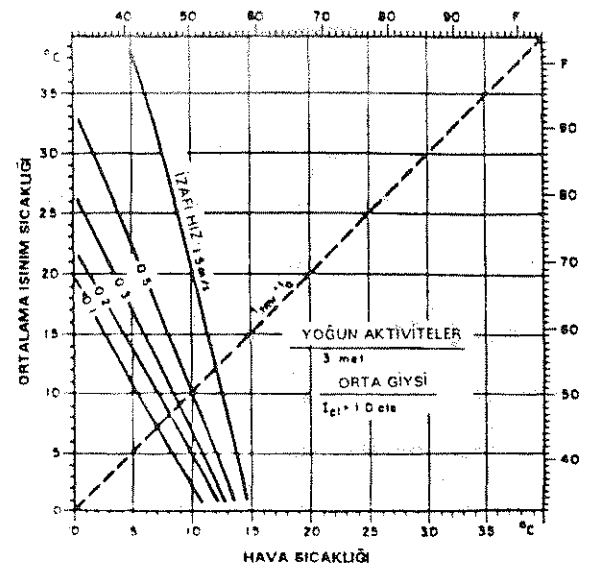
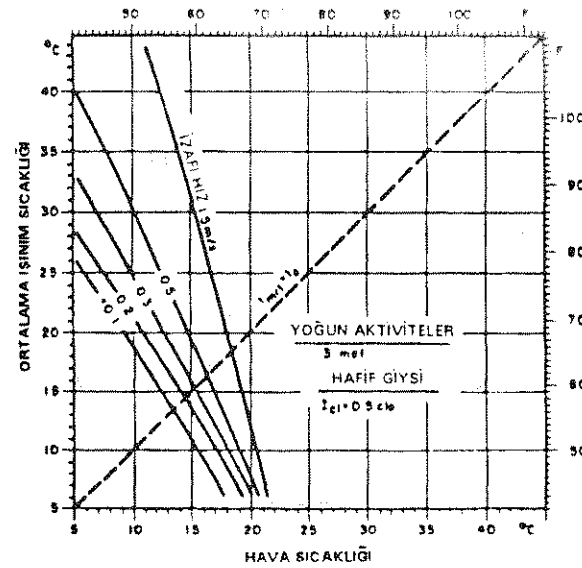
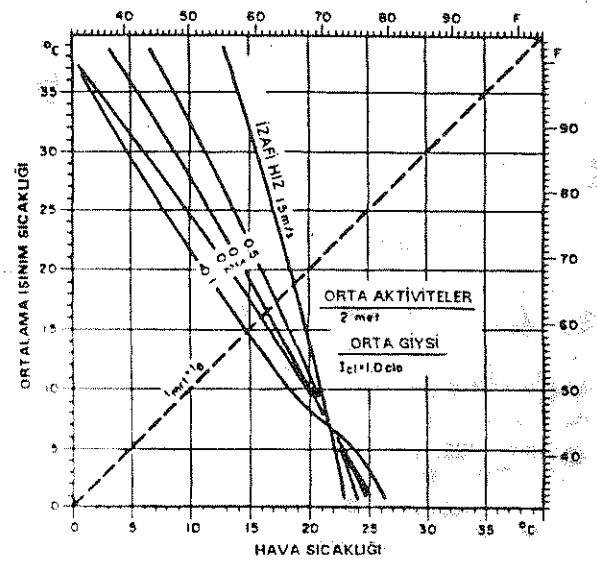
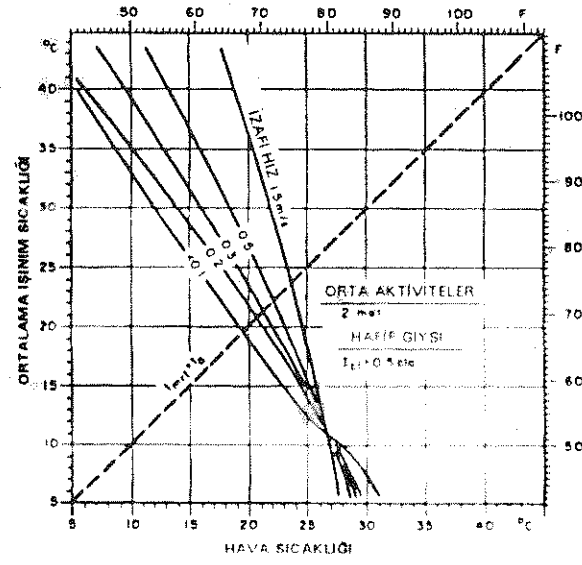
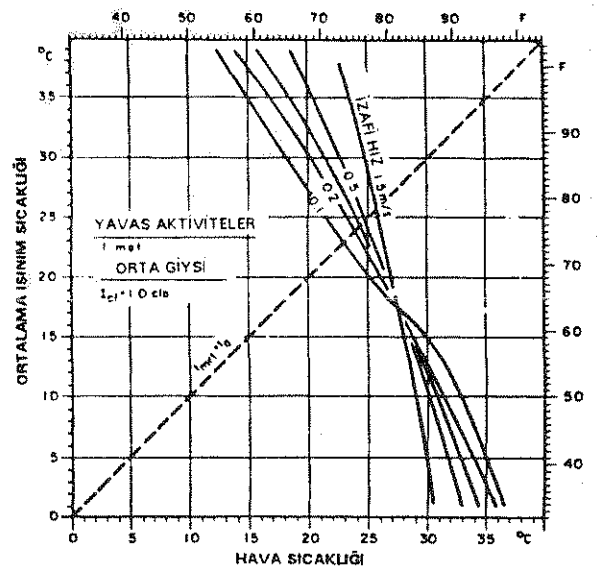
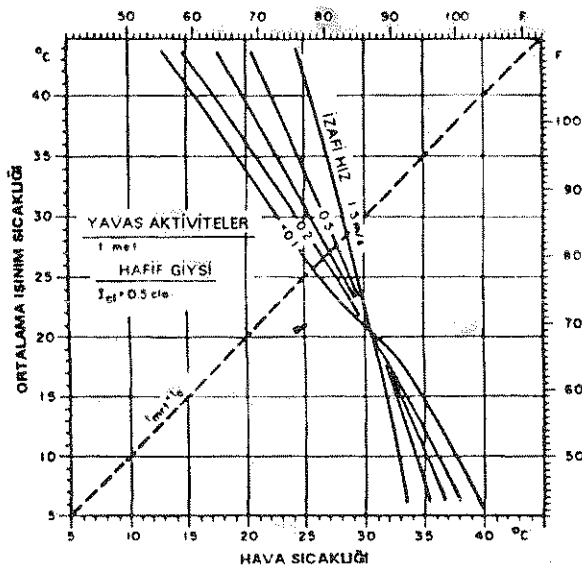
Seçenekler	Grafik	Konfor sıcaklığı
1 clo 1 met O = %50	Şekil 5.2 üst sağ.	23.9°C
0.5 clo 1 met O = %50	Şekil 5.2 üst sol.	26.9°C



$f_{cl} = 1.1$

$f_{cl} = 1.15$

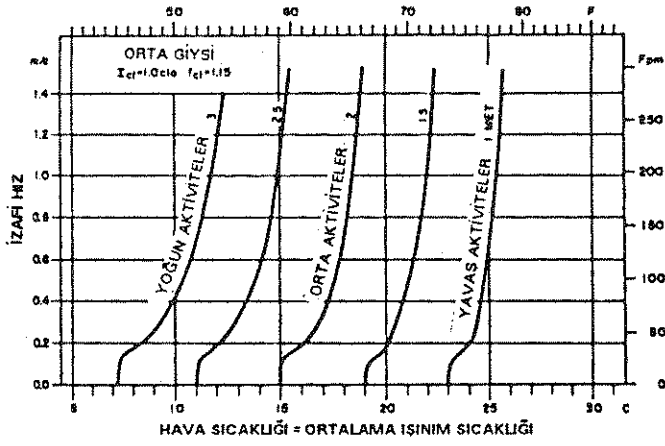
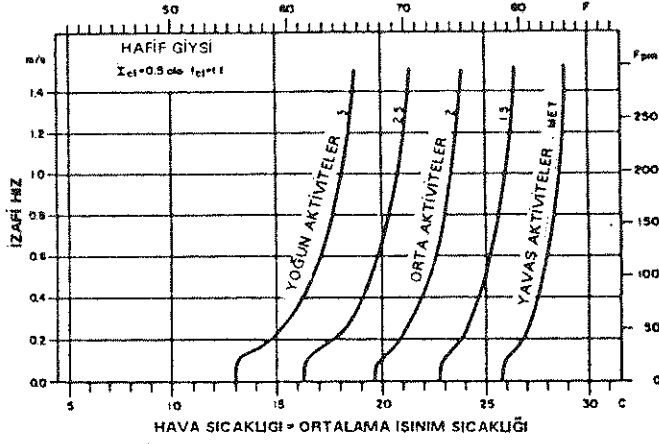
Şekil 5.2 : Konfor Diagramları [23].



fcl = 1.1

fcl = 1.15

Şekil 5.3 : Konfor Diagramları [23].



Şekil 5.4 : Konfor Diagramları [23]. (  $\phi = \%50$  )

### 5.1.2 KARARSIZ - ANALİTİK ISIL KONFOR MODELİ : GAGGE DENKLEMİ

Bu model vücudu iç bölge (core) ve deri bölgesi olmak üzere iki farklı sıcaklıkta tutulan bir ortam olarak kabul eder. İç bölge ve deri için ayrı ayrı enerji dengeleri kurulur.

Şekil 5.2 'de görüldüğü üzere her iki eleman hem birbirleriyle hemde çevre ile enerji alışverişinde bulunmaktadırlar. Her elemanı bir kontrol hacmi olarak tanımlayıp enerjinin sakınımı kanununu, kararlı analitik modeldekine benzer olarak, birim alan için aşağıdaki gibi uygulayabiliriz.

İç Bölge için;

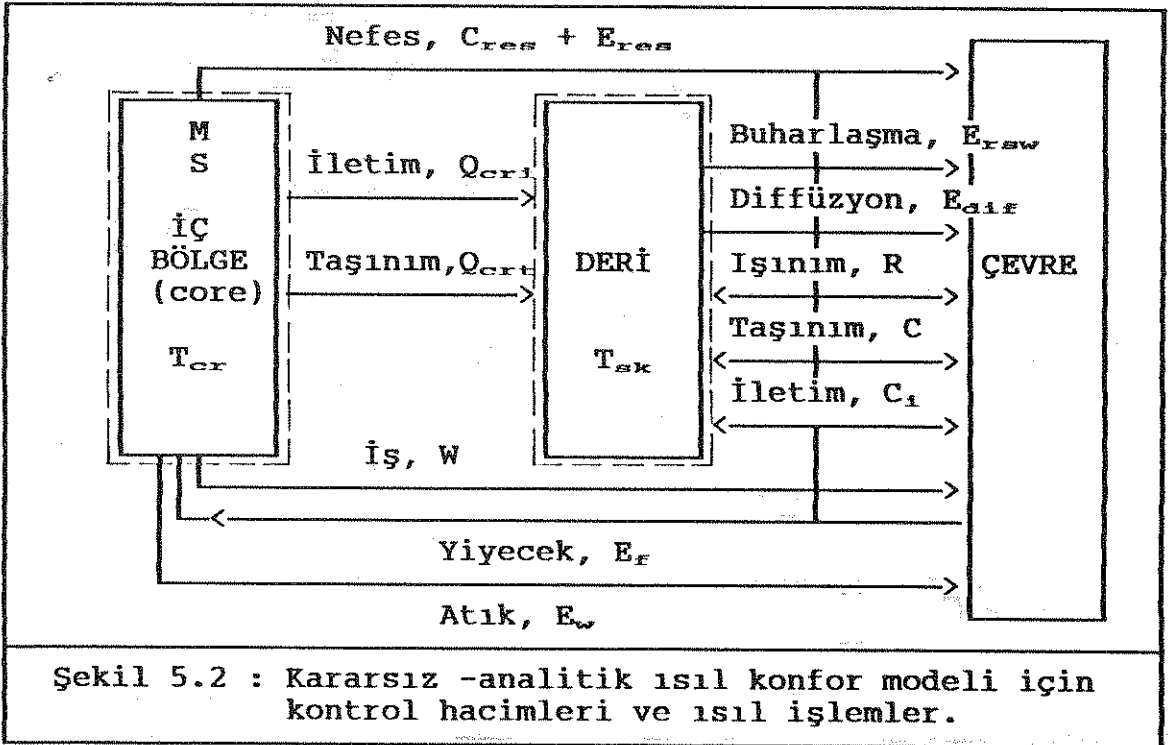
$$S_{cr} = M - W - C_{res} - E_{res} + E_f - E_w - Q_{crl} - Q_{crt} \quad (5.10)$$

Deri için;

$$S_{sk} = Q_{crl} + Q_{crt} - E_{rsw} - E_{dif} - C - R - C_i \quad (5.11)$$

Bu denklemlerde, (5.1) denklemi için tanımlanan terimlerin dışındaki terimler aşağıda verilmiştir.

$S_{cr}$	: İç bölgede depolanan enerji
$S_{sk}$	: Deri bölgesinde depolanan enerji
$Q_{crl}$	: İç bölge ile deri arasındaki iletim ile olan ısı transferi
$Q_{crt}$	: İç bölge ile deri arasındaki taşınım ile olan ısı transferi



Şekil 5.2 : Kararsız -analitik ısı konfor modeli için kontrol hacimleri ve ısı işlemler.

Kararlı modeldeki gibi,  $E_f = E_w$  ve  $C_1 = 0$  alınarak (5.10) ve (5.11) denklemleri, Kararsız - analitik ısıl konfor denklemleri (GAGGE Denklemleri) olarak ;

iç Bölge için,

$$S_{cr} = M - W - C_{res} - E_{res} + E_f - E_w - Q_{cri} - Q_{crt} \quad (5.12)$$

Deri için,

$$S_{sk} = Q_{cri} + Q_{crt} - E_{rs} - E_{dif} - C - R \quad (5.13)$$

şeklinde yazılırlar. Bu denklemlerde  $S_{cr}$  ve  $S_{sk}$  sırasıyla iç bölge ve deri bölgesi sıcaklıklarının zamanla değişimini içermektedirler. Bu iki denklemi, ısı transferi mekanizmalarının akı denklemlerini yerine koyarak eş zamanlı olarak çözersek, iç bölge ve deri sıcaklıklarının zamanla değişimlerini izlemek olanağını buluruz.

GAGGE ısıl konfor Denkleminin çözümü, FANGER denkleminde çok daha karmaşık olup, bilgisayar kullanımı dışında mümkün değildir. Bu model ile birlikte, deneysel çalışmalarla ortaya atılan efektif sıcaklık ( $ET^*$ ) ve çalışma sıcaklığı ( $T_o$ ) indeksleri kullanılarak, ısıl konfor bölgeleri tanımlanmıştır.

Efektif sıcaklık ( $ET^*$ ), hava sıcaklığı ve nemini içermektedir ve herhangi bir ortama olan ısı kaybına eşit ısı kaybının olduğu %50 nemdeki ortamın sıcaklığı olarak tanımlanmıştır. Çalışma sıcaklığı ( $T_o$ ) ise, ortalama ışınım sıcaklığı ( $T_{mrt}$ ) ile hava sıcaklığının ( $T_a$ ) ışınım ve taşınım ısı transfer katsayılarına göre ağırlıklı ortalamasıdır. FANGER denkleminde çok fazla parametreyi içermesi nedeniyle, genel bir efektif sıcaklık grafiği geliştirmek mümkün değildir. ASHRAE Fundamentals [26]'dan alınan ve Standart Efektif Sıcaklık (SET) koşullarında (Tablo 5.3) hesaplanmış çözümler sonucu elde edilmiş ısıl konfor bölgesi, Şekil 5.3'de verilmiştir.

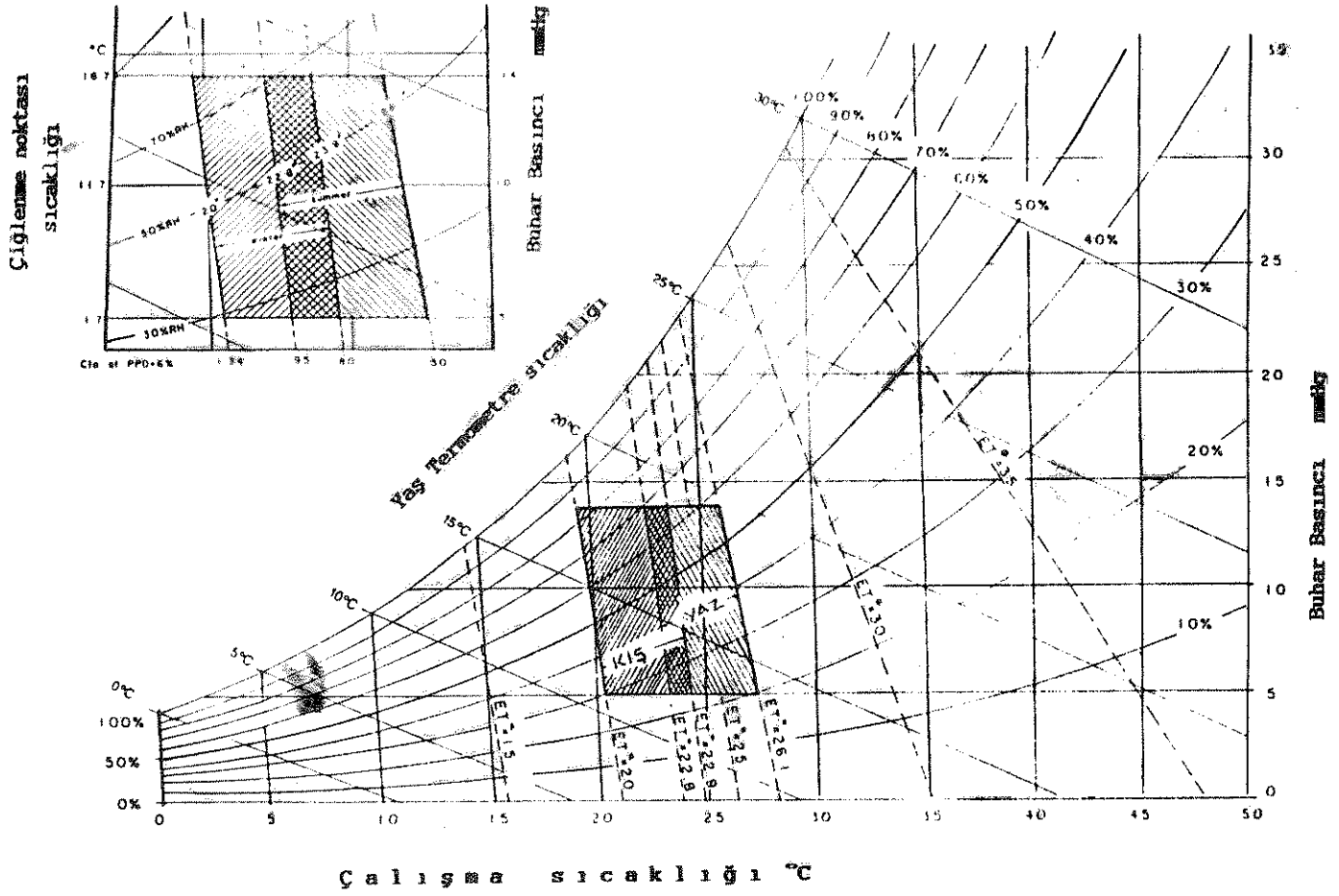
Tablo 5.3 : Standart Efektif Sıcaklık (SET) koşulları.

Giysi direnci	= 0.6 clo
Giysi nem geçirgenlik indeksi	= 0.4
Metabolizma hızı	= 1.0 met
Hava hızı	< 0.1 m/sn
Ortalama ışınım sıcaklığı	= Hava sıcaklığı

Şekil 5.3'de sıcaklık eksenini her ne kadar çalışma sıcaklığı olarak verilmişse de, bölgenin hesaplanmasında ortalama ışınım sıcaklığı hava sıcaklığına eşit alındığından çalışma sıcaklığının tanımı [ASHRAE Fund. 1989, Chapter 8, Equation 7] göz önünde tutularak bu eksen hava sıcaklığı (kurutermometre) olarak değerlendirilebilir.

Burada bir kez daha belirtmeliyiz ki, Şekil 5.3'de belirtilen konfor bölgesi ancak standard efektif sıcaklık koşullarının söz konusu olduğu ortamlarda geçerlidir.





Şekil 5.3 : SET Şartlarında ASHRAE Konfor Bölgesi [26].

## 5.2 DENEYSSEL ISIL KONFOR MODELLERİ

Isıl konforun belirlenmesini amaçlayan modellerin detaylı olarak incelendiği SZOKOLAY'ın[2] makalesinde Tablo 5.4'de gösterilen çeşitli ısı konfor indekslerinin türetildiği birçok deneysel ısı konfor modeli verilmektedir.

Bu modellerden bazıları tarafından geliştirilen efektif sıcaklık (ET) ve çalışma sıcaklığı ( $T_o$ ) indeksleri, kararsız analitik ısı konfor modeli içinde, daha da geliştirilmiş olarak kullanılmıştır. Bu bölümde SZOKOLAY'ın deneysel çalışmalar başlığı altında sıraladığı modeller, kendisinin de sonuçta önermediği için, verilmeyecektir. Burada ele alınacak modeller yine aynı makalede "Konforun Değişkenliği (Variability of Comfort)" başlığı altında verilmiş bulunan HUMPHREY ve AULICIEMS'in çalışmalarıdır.

Tablo 5.4 : Deneysel Isıl Konfor İndeksleri

ET :	Efektif Sıcaklık
CET :	Düzeltilmiş Efektif Sıcaklık
E <sub>q</sub> T :	Eşdeğer Sıcaklık
E <sub>q</sub> W :	Eşdeğer Ilıklık
O <sub>T</sub> :	Çalışma Sıcaklığı
R <sub>T</sub> :	Sonuç Sıcaklığı
E <sub>C</sub> I :	Eşdeğer Konfor İndeksi

SZOKOLAY'ın, alan çalışmalarında elde edilmiş neutral sıcaklıkların istatistik değerlendirilmesiyle elde edilmiş bu eşitlikleri, neden deneysel modeller içine almadığı anlaşılamamıştır. Çünkü bu çalışmalar diğer araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmaların verilerinin yeniden değerlendirilmesidir.

SZOKOLAY, FANGER'in analitik modelinin bütün iklimler için giysi ve aktiviteye bağlı olarak tek bir neutral sıcaklık değeri verdiğini belirterek, bunun, deneysel çalışmalar ile çeliştirdiğini belirtmektedir: FANGER denklemi yerel iklim şartlarını ve iklime uyumu göz önüne almamaktadır. Halbuki coğrafi konuma bağlı olarak neutral sıcaklıklar 17°C ile 31°C arasında değişmektedir.

SZOKOLAY'ın makalesinde HUMPHREY'den alınan ve 60 tane çalışmanın verileri kullanılarak türetilmiş, üç deneysel konfor eşitliği vardır: HUMPHREY ısıtılmayan ve klimatize edilmemiş yapılar için,

$$T_n = 11.9 + 0.534 T_m$$

ısıtılan ve klimatize edilen yapılar için,

$$T_n = 23.9 + 0.295 (T_m - 22) \exp \left[ - \left[ \frac{T_m - 22}{24 \sqrt{2}} \right]^2 \right] \quad (5.14)$$

Hem ısıtılmayan hemde ısıtılan ve kilimatize edilen yapılar için,

$$T_n = 24.2 + 0.43 (T_m - 22) \exp \left[ - \left[ \frac{T_m - 22}{24 \sqrt{2}} \right]^2 \right] \quad (5.15)$$

eşitliklerini vermiştir. Son iki eşitliğin korelasyon katsayıları sırasıyla 0.72, ve 0.88 dir. Aşağıdaki AULICIEMS'in verdiği eşitlikteki gibi, bu eşitliklerde  $T_m$  göz önüne alınan aydaki ortalama dış hava sıcaklığı,  $T_n$  ise FANGER konfor denkleminin çözümünün karşılığı olan iç hacim neutral konfor sıcaklığıdır.

Üçüncü deneysel konfor denklemi ise 250000 kişi ile yapılan 52 çalışmanın sonuçlarının analizi ile elde edilmiş her türlü yapı yapı için geçerli AULICIEMS eşitliğidir:

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_m \quad (5.16)$$

Bu eşitliğin korelasyon katsayısı 0.88'dir ve

$$(T_n - 2) \text{ ile } (T_n + 2) \quad (5.17)$$

aralığındaki sıcaklıklar yine kabul edilebilir sıcaklıklardır. Görüldüğü üzere her üç eşitlik sadece dış hava sıcaklığını değişken olarak ele alan basit denklemlerdir. SZOKOLAY iç tasarım sıcaklığının AULICIEMS eşitliğine göre hesaplanmasını önermektedir. Bu eşitlik iklime uyum sağlamış, 1.2 met değerindeki metabolizma hızına sahip normal giysili insanların 0.15 m/sn hava hızına sahip hacimler için geçerlidir. Elde edilen  $T_n$  değeri diğer aktiviteler, giysi türleri, hava hızları ve ortalama ışınım sıcaklıkları için düzeltilmelidir. SZOKOLAY'ın bu önerisine göre, AULICIEMS eşitliğini, (5.7)'de verilen aralığın enerji tasarrufu açısından değerlendirilmesini de içeren bir terim ilave ederek  $18.3^\circ\text{C} < T_n < 29.5^\circ\text{C}$  şartı ile aşağıdaki gibi düzenlemek mümkündür:

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_o + \sum_{i=1}^5 T_i \quad (5.18a)$$

Bu eşitlikteki düzeltme terimleri:

$$T_1 = 0.6 \left( \frac{v - v_o}{0.005} \right) ; \quad v > 0.15 \text{ kış için} \quad (5.18b)$$

$$v > 0.25 \text{ yaz için}$$

$$T_2 = - 2.5 (M - 1.2) ; \quad M > 1.2 \text{ ve } T_n > 15^\circ\text{C} \quad (5.18c)$$

$$T_3 = - 0.6 \left( \frac{I_{clo} - I_{clo}^n}{0.1} \right) \quad (5.18d)$$

$$\Delta T_4 = - (T_{mrt} - T_n) \quad : \quad T_{mrt} > T_n \quad \text{ve} \quad T_{4max} = 5_0C \quad (5.18e)$$

$$\Delta T_5 = \begin{bmatrix} -2 & \leftarrow \text{Kış için} \\ +2 & \leftarrow \text{Yaz için} \end{bmatrix} \quad (5.18f)$$

SZOKOLAY[2] önerisinde 0.15 m/sn'nin üzerindeki her 0.005 m/sn artım için  $T_n$ 'e 0.6°C ilave öngörmüştür. Ancak ASHRAE Konfor Standardına göre standard hızlar, kış için 0.15 m/sn, yaz için 0.25 m/sn'dir. Tahminimize göre konfor sıcaklığındaki düzeltme bu değerlere bağlı olarak yapılmalıdır. Yani (5.18b) eşitliğinde ısıtma sezonu için  $v_o = 0.15$  m/sn, soğutma sezonu için  $v_o = 0.25$  m/sn alınmalıdır.

(5.18d) eşitliğindeki  $I_{clo}$  normal giyim direncidir. Bu direnç için kesin bir değer verilmemiştir. Tahminimize göre yerel mevsimlik alışkanlıklara bağlı giysiler için tahmin edilebilecek direnç değerleri kullanılmalıdır.

Bu bölümde ısı konfor modelleri olarak verdiğimiz analitik ve deneysel modeller, sonuç olarak tasarımcının "iç tasarım sıcaklığı" belirlemesini sağlayan yöntemlerdir. Konfor-tasarım sıcaklığı hangi modele göre belirlenmiş olursa olsun, bir hacimde yaşayan insanların bir kısmı yaratılan ısı çevreden tatmin olacaklar, bir kısmı ise tatmin olmayacaklardır. Ayrıca hacim içinde yaşayan insanların, yaratılan ısı çevreyi değerlendirmeleri sayısal değil, niteliksel olacaktır : Çok sıcak, soğuk gibi.

Bir hacimde yaratılacak ısı çevrenin o hacimde yaşayacak insanlar tarafından nasıl değerlendirileceğini ve yüzde kaçının ısı çevreden tatmin olup olmayacağını tahmin için bir kısmı Tablo 5.4'de verilen, ısı konfor-çevre indeksleri olarak anılan yapay parametreler tanımlanmıştır.

Psiko-fiziksel indeksler olarak adlandırılan [27] bu indekslerin en önemlileri FANGER ısı konfor modeli ile birlikte sunulan Ortalama Isıl Konfor (Predicted Mean Vote - PMV) ve Isıl Tatminsizlik Yüzdesi (Predicted Percentage of Dissatisfied - PPD) indeksleri ile, GAGGE Modeli ile birlikte verilen Isıl Duyum (Thermal Sensation - TSENS) ve Isıl Konforsuzluk (Thermal Discomfort - DISC) indeksleridir[23,26]. Bu indeksler bundan sonraki bölümde açıklanmışlardır.

**ÖRNEK 5.2****AULICIEMS eşitliğine göre İzmir için neutral konfor sıcaklıkları.**

Bir örnek olmak üzere, İzmir için üç yıllık (1987-1989) aylık ortalama sıcaklıklarının ortalamasına göre iç tasarım neutral konfor sıcaklıkları, (5.18a-f) eşitlikleri kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 5.5 'de verilmiştir. Bu sıcaklıklar hesaplanırken,  $\Delta T_s$  hariç diğer düzeltme faktörleri sıfır alınmıştır.  $\Delta T_s$  için ilk kolondaki değerlerin hesaplanmasında ısıtma sezonunda (Kasım - Nisan) -2, soğutma sezonunda (Haziran - Eylül) +2, diğer aylarda 0 değerleri kullanılmıştır. İkinci kolondaki değerler hesaplanırken  $\Delta T_s$  de sıfır alınmıştır.

**Tablo 5.5 : Düzeltilmiş AULICIEMS eşitliğine göre İzmir için iç tasarım - neutral konfor sıcaklıkları.**

Aylar	Üç yıllık ortalama aylık ortalama dış sıcaklıklar (°C)	$\Delta T_s \neq 0$   $\Delta T_s = 0$ İç tasarım   neutral konfor sıcaklıkları (°C)	
Ocak	8.8	18.3	20.3
Şubat	9.5	18.6	20.6
Mart	10.4	18.3	20.8
Nisan	16.2	20.6	22.6
Mayıs	20.0	23.8	23.8
Haziran	24.9	27.3	25.3
Temmuz	28.6	28.5	26.5
Ağustos	27.4	28.1	26.1
Eylül	24.2	27.1	25.1
Ekim	17.7	23.1	23.1
Kasım	12.4	19.4	21.4
Aralık	9.9	18.7	20.7

## 6. ISIL KONFORUN DEĞERLENDİRİLMESİ : PSİKO-FİZİKSEL FAKTÖRLER

### 6.1 ORTALAMA ISIL DUYUM'un TAHMİNİ (PMV - PREDICTED MEAN VOTE)

Sıcaklık sayısal olarak ifade edilmesine rağmen, ısı duyumu diğer fizyolojik duyular gibi niteliksel olarak değerlendirilir. Isıl çevrenin bir grup tarafından fizyolojik değerlendirilmesini sayısallaştırmak amacıyla, PMV (Predicted Mean Vote) indeksi olarak adlandırılan ve Türkçeye Ortalama Isıl Duyum olarak aktardığımız, aşağıda verilmiş yedi noktalı ASHRAE skalası kullanılmaktadır[22].

+3	Çok Sıcak	(Hot)
+2	Sıcak	(Warm)
+1	Hafif sıcak	(Slightly Warm)
0	Nötr	(Neutral)
-1	Hafif soğuk	(Slightly Cool)
-2	Soğuk	(Cool)
-3	Çok soğuk	(Cold)

Deneysel bilgilerden, PMV indeksinin ortam sıcaklığına, metabolizma hızına ve vücutta üretilen ısı ile, vücut ile çevre arasındaki ısı transferi arasındaki fark olarak tanımlanan yüke göre değişimini veren bir eşitlik üretilmiş, bu eşitlikte analitik ısı konfor denkleminde elde edilen yük yerine konularak, PMV indeksinin analitik ısı konfor denkleminde (FANGER Denklemi) yer alan tüm parametrelere (kuru termometre sıcaklığı, hava hızı, hava nemi, ortalama ışınım sıcaklığı, aktivite, metabolizma hızı) bağlılığı analitik olarak ifade edilmiştir [23]. Bu eşitliğe göre FANGER tarafından yapılmış parametrik çalışmanın tablo halindeki sonuçları EK 4'de orijinal haliyle verilmiştir.

PMV için verilen eşitlik kullanılarak, belli bir ısı çevrenin, kullanıcıların çoğunluğu tarafından yukarıda verilen skalaya göre nasıl algılanacağını tahmin etmek mümkündür.

#### ÖRNEK 6.1

Örnek 5.1'de bulunan konfor sıcaklığına ve diğer ısı çevre parametrelerine göre, konferans salonu için PMV indeksinin bulunması.

Seçenekler	PMV (EK 4'den)
Konfor sıcaklığı, $T_{db}$ : 23.9°C Aktivite : 1 met Hava hızı, $v$ : 0.2 m/sn Giysi direnci : 1 clo	0.02
Konfor sıcaklığı, $T_{db}$ : 26.9°C Aktivite : 1 met Hava hızı, $v$ : 0.2 m/sn Giysi direnci : 0.5 clo	0.09

Görüldüğü üzere her iki seçenek içinde PMV değeri sıfıra yakın bir değer olmaktadır. Katılanların tümü için her iki parametre gurubunun nötral bölgede kaldığı söylenebilir.

ASHRAE Fundamentals [26]'da Ortalama Isıl Duyum (PMV) indeksinin yanında, bunun yerine ısı duyumu tahmin etmek amacıyla, bir kısmı FANGER'in[23] çalışmalarında da kullanılmış deneysel çalışmalardan, istatistik analizler sonucunda türetilen eşitliklerin önerildiği görülmektedir(Tablo 6.1).

Bu eşitlikler, ortalama ışınım sıcaklığının hava sıcaklığına eşit olduğu bir hacimde, hafif(sedentary) aktivitelerdeki ve giysilerinin ısı direnci 0.5 clo olan genç yetişkin insanlar ile yapılan deneylere dayanmaktadır.

Eşitliklerden, ortamın kuru termometre sıcaklığının( $T_{db}$ ) ve buhar basıncının( $P_v$ ; kPa) kullanılmasıyla elde edilen sayısal ısı duyumu( $Y$ ), -3 ile +3 arasında, yukarıda verilen PMV indeksinin kalitatif değerlendirmesine benzer olarak değerlendirilmektedir. (Örnek  $Y = 2 \rightarrow$  sıcak).

Genç yetişkinler ile yapılan deney sonuçlarından türetilmesi, ortam içinde bulunma zamanlarının maksimum üç saat gibi kısa bir zaman olması nedeniyle, bu eşitliklerin her yaş gurubu ve daha geniş zaman dilimleri için kullanılmaları, kanımızca tartışmaya açıktır.

**TABLO 6.1: Isıl duyumun tahmini için eşitlikler [22].**

Süre* (saat)	Cinsiyet	Eşitlikler
1.0	Erkek	$Y = 0.220 T_{db} + 0.233 p_v - 5.673$
	Kadın	$Y = 0.272 T_{db} + 0.248 p_v - 7.245$
	Birlikte	$Y = 0.254 T_{db} + 0.248 p_v - 6.475$
2.0	Erkek	$Y = 0.221 T_{db} + 0.270 p_v - 6.024$
	Kadın	$Y = 0.283 T_{db} + 0.210 p_v - 7.694$
	Birlikte	$Y = 0.252 T_{db} + 0.240 p_v - 6.859$
3.0	Erkek	$Y = 0.212 T_{db} + 0.293 p_v - 5.949$
	Kadın	$Y = 0.275 T_{db} + 0.255 p_v - 8.622$
	Birlikte	$Y = 0.243 T_{db} + 0.278 p_v - 6.802$

\* : Ortam içinde bulunma zamanı

## 6.2 ISIL TAHMİNSİZLİK YÜZDESİ'nin TAHMİNİ (PPD - PREDICTED PERCENTAGE OF DISSATISFIED)

Ortalama Isıl Duyum indeksi (PMV), belirli bir ısı çevrenin içinde yaşayan insanların tamamı tarafından fizyolojik

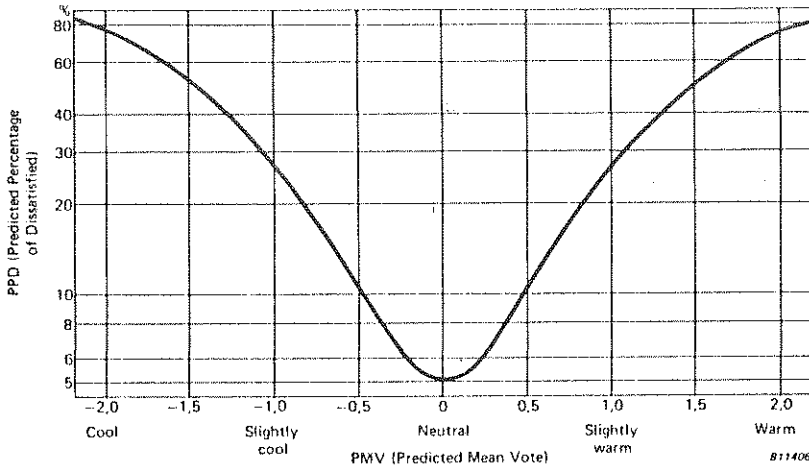
değerlendirmesinin ölçütüdür. Bu ortalama değere bakarak, söz konusu ortamdaki insanların hangi oranda bu ortamı ısıl çevre açısından konforlu bulduklarını veya bulmadıklarını tahmin etmek mümkün değildir. İnsanlar birbirlerinden farklıdır ve aynı çevreyi farklı olarak algılayabilirler. Bir ortamda yaşayan insanlar içerisinde ortamı ısıl açıdan konforlu bulmayanların yüzdesi **Isıl Tatminsizlik Yüzdesi (PPD)** olarak adlandırılmıştır. FANGER probit analiz yöntemini kullanarak, Ortalama Isıl Duyum indeksi ile Isıl Tatminsizlik Yüzdesi arasındaki ilişkiyi deneysel verilere bağlı olarak incelemiş ve grafik olarak (Şekil 6.1) olarak ifade etmiştir [23].

Ortalama Isıl Duyum indeksinin ısıl konforun analitik teorisi ile ısıl parametrelere göre tahminini veren eşitlik ve bu grafik kullanılarak Isıl Tahminsizlik Yüzdesinin bulunması mümkündür.

Grafik incelendiğinde, FANGERin değerlendirmesine göre bir ortamda en az %5'lik bir gurubun ısıl açıdan tatmin olmadığı görülmektedir. Bu grafikte verilen PPD eğrisi simetriktir. Ancak, bu konuda yapılan diğer çalışmalarda simetri yoktur ve insanların soğuğu algılamalarının, sıcaklığı algılamalarından daha hızlı olduğu görülmüştür [22]. ASHRAE Standard 55, bir ortam için

$$- 0.5 < PMV < + 0.5$$

şartını getirmektedir. Şekil 6.1' den görüleceği üzere bu limit en fazla %10'luk bir tatminsizliğe müsaade etmektedir.



Şekil 6.1 : Ortalama Isıl Duyum (PMV) indeksi ile Isıl Tatminsizlik Yüzdesi (PPD) indeksi arasındaki ilişki

[23].



### 6.3 ISIL DUYUM İNDEKSİ : TSENS

Isıl duyum (thermal sensation - TSENS) indeksi, kararsız analitik ısı konfor modeli ile birlikte verilen [26] iki indeksten biridir. Isıl duyum indeksi, esas olarak ortalama vücut sıcaklığına göre tanımlanmış bir konfor ölçütüdür. TSENS, kararsız analitik ısı konfor modeline göre hesaplanan iç bölge ve deri sıcaklıklarının ağırlıklı ortalaması olan vücut sıcaklığı, nemli deri yüzeyi oranı ile deneysel bağıntıların kullanılmasıyla hesaplanmaktadır. Hesaplanan Isıl Duyum değeri, PMV için kullanılan ASHRAE skalasına eklenen +4/-4 (çok çok sıcak/soğuk) ve +5/-5 (kabul edilemez sıcak/soğuk) değerleriyle oluşan 11 noktalı ölçüte göre değerlendirilerek, ısı çevrenin yaşayanlar tarafından nasıl algılanacağı belirlenmektedir.

### 6.4 ISIL KONFORSUZLUK İNDEKSİ : DISC

Kararsız analitik model ile getirilen ikinci ısı çevre indeksi Isıl Konforsuzluk (DISC) indeksidir ve temel olarak nem transferine dayalı bir ısı konfor ölçütüdür. Isıl konforsuzluk indeksi ağırlıklı ortalama vücut sıcaklığı ( $T_b$ ) aşağıda verilen eşitlikle hesaplanan belli bir değerden ( $T_{bc}$ ) küçük olduğunda, ısı duyum indeksine (TSENS) eşittir.

$$T_{bc} = (0.194/58.15) (M-W) + 36.301$$

Bu değerden büyük olduğunda, deri yüzeyinden buharlaşma ve diffüzyon yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları ve bunlara ait ısı konfor limitlerini veren deneysel bağıntılar kullanılarak hesaplanmaktadır[26]. Hesaplanan ısı konforsuzluk indeksi, TSENS indeksine benzer olarak, Tablo 6.2'de verilen 11 noktalı ölçüt ile değerlendirilmektedir.

TSENS DEĞERİ		DEĞERLENDİRME
Soğuk taraf	Sıcak taraf	
-5	+5	Kabul edilemez
-4	+4	Sınır değer
-3	+3	Çok konforsuz
-2	+2	Konforsuz
-1	+1	Kabul edilebilir konforsuzluk
0		Konforlu

## 7. YEREL ISIL KONFORSUZLUK

5. ve 6. Bölümlerde ele alınan konfor modelleri ve kriterleri, vücudun bir bütün olarak ısı dengesini veya dengesizliğini ele alır. Vücut bir bütün olarak, ısı dengede veya bir geçiş sürecindeki kabul edilebilir bir dengesizlik içinde, konforlu kabul edilebilir. Ancak bu konumlarda vücudun bir parçası ısı konforsuzluk içinde bulunabilir. Yerel konforsuzluk olarak adlandırılan bu durum genellikle, ısı asimetri olarak anılan ve hava sıcaklığı, hava hızı, yüzey sıcaklığı gibi parametrelerin üniform olmayan dağılımları sonucu ortaya çıkar. Hatta üniform olmayan alanlar vücudun bir bütün olarak konforunu da etkiler. Bunun en iyi örneği hız alanının konfora olan etkisinde görülmektedir: Laboratuarda üniform hız alanlarında yapılan konfor deneylerinde bulunan uygun hız değerlerinin, alan çalışmalarında elde edilen uygun hız değerlerinden daha büyük olduğunu gösterilmiştir [28,29].

Vücudun bir parçasının istenilmeyen bir şekilde ısıtılması veya soğutulmasıyla ortaya çıkan ısı konforsuzluk, aşağıda verilen üç asimetrik alan ile basma yüzeyindeki iletim yoluyla olan aşırı ısı transferi nedenleriyle ortaya çıkmaktadır :

1. Asimetrik ışınlama alanı: Farklı sıcaklıktaki yüzeyler.
2. Asimetrik hız alanı.
3. Asimetrik sıcaklık alanı: Düşey sıcaklık değişimi.
4. Aşırı soğuk/sıcak dökeme.

Aşağıda yerel konforsuzluk kaynakları kısaca tanımlanarak, standartları verilmeye çalışılmıştır. Daha geniş bilgi için okuyucunun ilgili literatüre [20,29,30] başvurması önerilir.

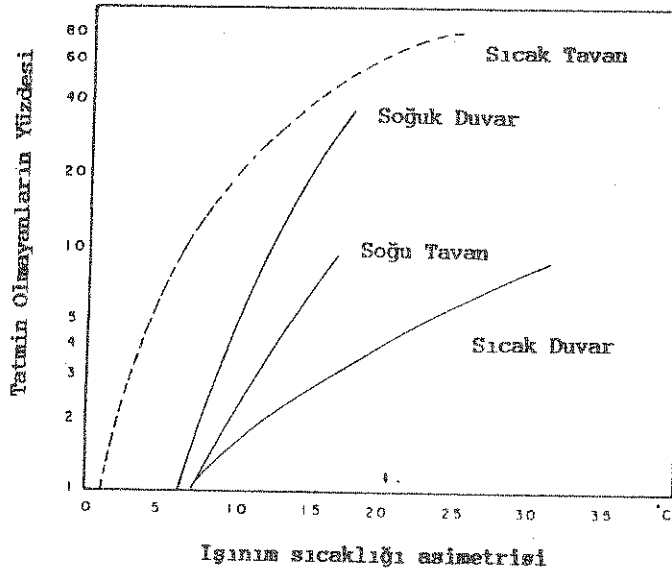
### 7.1 Asimetrik ışınlama alanı

Asimetrik veya üniform olmayan ışınlama alanı göz önüne alınan hacmi çevreleyen (duvarlar, taban, tavan, pencereler) veya hacimde bulunan cisimlerin (makinalar, ürünler) aşırı sıcak veya aşırı soğuk yüzeylerinden oluşabilir. Büyük pencereci hacimlerde (Restoranlar gibi), soğuk cam yüzeyleri ile insanlar arasındaki ışınlama yoluyla olan aşırı ısı transferinin yarattığı rahatsızlık-üşüme, asimetrik ışınlama alanlarının neden olduğu konforsuzluk için tipik bir örnektir.

Asimetrik ışınlama alanı dolayısıyla oluşan konforsuzluğun belirlenmesinde biri diğerine göre tanımlanan iki yapay parametre kullanılmaktadır [29]: Düzlem ışınlama sıcaklığı ve ışınlama sıcaklığı asimetrisi.

**Düzlem ışınlama sıcaklığı**, üniform olmayan sıcaklığa sahip bir kapalı hacimde küçük bir levhanın bir yüzüne gelen ışınlama eşdeğer ışınlama sıcaklığı sağlayan üniform sıcaklıktaki kapalı hacmin sıcaklığı olarak tanımlanmıştır. **İşınım sıcaklığı asimetrisi** ise küçük levhanın ters yarıkürelerden ışınlama alanı iki yüzeyine ait levha ışınlama sıcaklıkları arasındaki farktır. İşınım ile ısı transferinin doğal karakterinden (açı faktörü) dolayı, ışınlama sıcaklığı asimetrisinin hacim içerisindeki yere bağlı olacaktır.

Işınım sıcaklığı asimetrisi arttıkça o hacimde ısıl konfordan tatmin olmayanların yüzdeside artmaktadır. ASHRAE [26] dan alınan aşağıdaki Şekil 7.1' de, farklı yüzeyler için değişen asimetric ışınım sıcaklığı ile tatmin olmayanların yüzdesinin değişimi görülmektedir. Şekilden anlaşılacağı üzere yaratacağı asimetric ışınım alanı ile en fazla konforsuzluğa neden olan yüzey, sıcak tavadır.



Şekil 7.1 : Çeşitli yüzeyler için, ısıl konfordan tatmin olmayanların yüzdesinin ışınım sıcaklığı asimetrisi ile değişimi [26].

Işınım sıcaklığı asimetrisi için çeşitli standartların [ASHRAE 55-81, ISO 7730 ve NKB) yavaş aktiviteler için aşağıdaki limitleri önerdiği belirtilmektedir [20,29]:

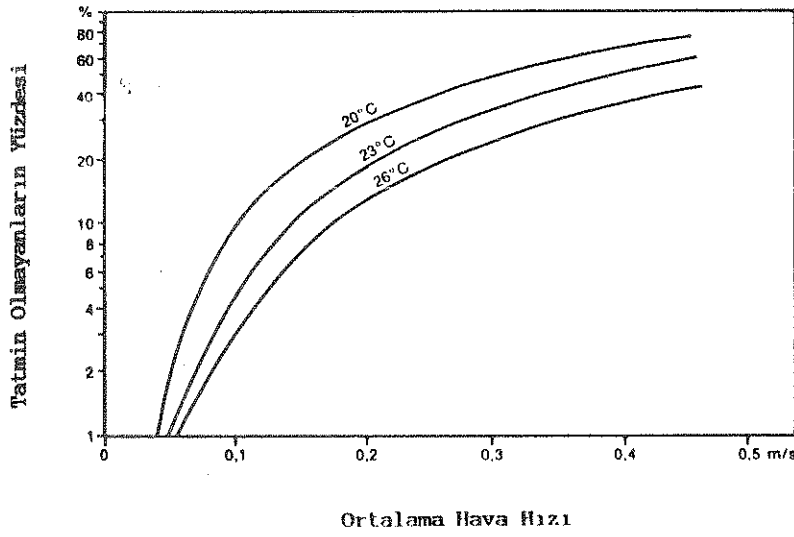
Döşemeden 0.6 m yükseklikteki düşey küçük bir yüzey için soğuk pencere ve soğuk duvarlardan olan ışınım sıcaklığı asimetrisi 10°C'tan küçük olmalıdır.

Döşemeden 0.6 m yükseklikteki yatay küçük bir yüzey için sıcak tavadan olan ışınım sıcaklığı asimetrisi 5°C'tan küçük olmalıdır.

## 7.2 Asimetric hız alanı

Vücudun bir kısmının hava akımı nedeni ile istenilmeyen ısı kaybına maruz kalması, esinti (Draught) olarak tanımlanan, en önemli yerel konforsuzluk kaynaklarından biridir. Aşırı hava hızlarından doğan ısıl konforsuzluk yapılarında olduğu gibi, ulaşım araçlarında da ortaya çıkmaktadır. Aşırı hava hızlarının, büro ve diğer çalışma yerlerinde karşılaşılan en önemli konforsuzluk kaynağı olduğu, bu hissedildiği zaman insanların ya hava sıcaklığını arttırmaya yada havalandırmayı kapatmaya yöneldikleri belirtilmiştir[26,29]. OLESEN'den[29] alınan aşağıdaki Şekil 7.2 de, normal giyimli ve yavaş aktiviteler içinde olan ısıl konfordan tatmin olmayan insanların baş bölgesindeki (baş, boyun omuz ve sırt) ortalama hava

hızına ve ortalama hava sıcaklığına bağlı yüzdeleri verilmiştir.



Şekil 7.2 : Ortalama hava hızı ile tatmin olmayan insanların yüzdesinin değişimi[29].

MADSEN[30], esintinin (hava akımından dolayı hissedilen konforsuzluk) hissedilmesinin aşağıdaki dört faktöre bağlı olduğunu belirtmiş ancak esintinin oluşturacağı ısı konforsuzluğu belirleyecek bir index olmadığını söylemiştir:

1. Ortalama hava hızı
2. Maksimum hava hızı
3. Hızdaki salınımların frekansı
4. Yerel hava sıcaklığı ile genel ısı konfora karşılı gelen hava sıcaklığı arasındaki fark.

Daha sonra FANGER'in çalışmaları sonucunda hemen hemen aynı parametrelerin kullanılmasıyla esintiden doğan konforsuzluğun tahmini için aşağıdaki eşitlik önerilmiştir[26]:

$$PD = 3.143 (34 - T_a) (v - 0.05)^{0.622}$$

$$+ 0.3696 (34 - T_a) (v - 0.05)^{0.622} v T_u \quad (7.1a)$$

$$T_u = 100 (v_{sd}/v) \quad (7.1b)$$

$$v < 0.5 \text{ için } v = 0.5 \text{ m/sn} \quad (7.1c)$$

$$PD > \%100 \text{ için } PD = \%100 \quad (7.1d)$$

Bu eşitlikte  $T_a$  Hava sıcaklığı,  $T_u$  türbülans yoğunluğu,  $v$  hava hızı,  $v_{sd}$  zaman sabiti 0.2 sn olan "omni-directional" anemometre ile ölçülen hızlara ait standard sapma ve PD tatmin olmayanların yüzdesi olup, eşitlik aşağıdaki aralıklarda geçerlidir:

$$20 < T_a < 26_{\circ}C * \quad 0.05 < v < 0.5 \text{ m/sn} * \quad \%0 < T_u < \%70$$

Çeşitli standartların [ASHRAE 55-81, ISO 7730 ve NKB) yavaş aktiviteler için aşağıdaki limitleri önerdiği belirtilmektedir [20, 29]:

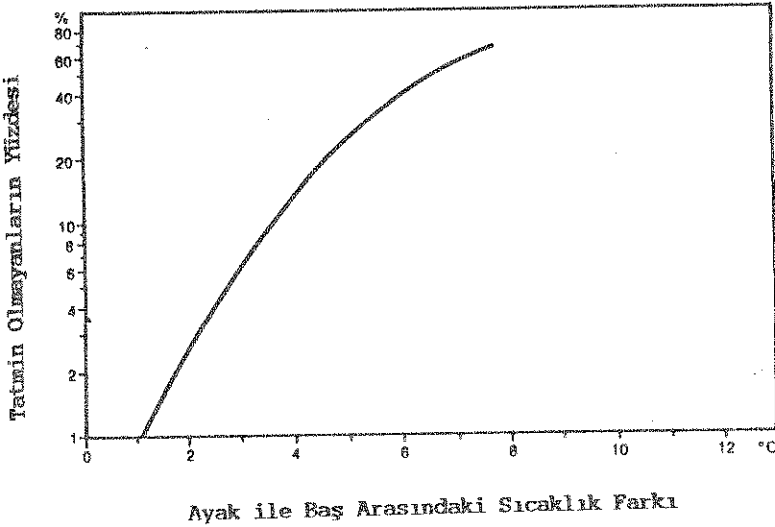
Kışın (ısıtma sezonunda) : Çalışma sıcaklığı 20 ile 24°C arasında olmak üzere ortalama hava hızı 0.15 m/sn'den küçük olmalıdır.

Yazın (soğutma sezonunda) : Çalışma sıcaklığı 23 ile 26°C arasında olmak üzere ortalama hava hızı 0.25 m/sn'den küçük olmalıdır.

### 7.3 Asimetrik sıcaklık alanı: Düşey sıcaklık değişimi

Yerel konforsuzluk kaynaklarından bir diğeri de ayak bilekleri (0.1m) ile Baş(1.1m) arasındaki sıcaklık farkıdır. OLESEN[29]'den alınan konfor eğrisinde (Şekil 7.3) ayak ile baş arasındaki sıcaklık farkına göre tatmin olmayan insanların yüzdesinin değişimi görülmektedir.

ISO 7730,ASHRAE 55-61 ve NKB standartlarına göre ayak ile baş arasındaki sıcaklık farkının, yavaş aktivite içinde olan insanlar için 3°C den az olması önerilmiştir [20,29].



Şekil 7.3 : Ayak ile baş arasındaki sıcaklık farkına göre tatmin olmayan insanların yüzdesinin değişimi[29].

### 7.4 Aşırı soğuk/sıcak döşeme.

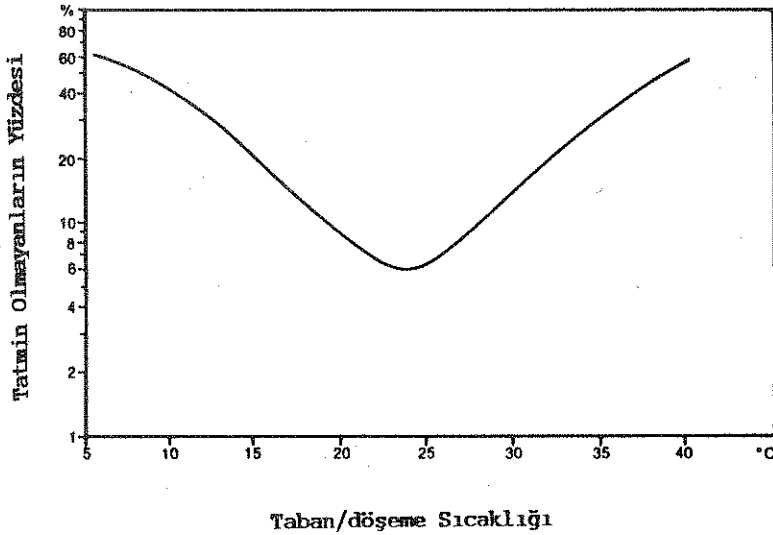
Hacim içerisindeki ortalama ışıınım sıcaklığını etkilediği gibi, yerel konforsuzluğa neden olan parametrelerden biri taban/döşeme sıcaklığıdır. Aşırı soğuk döşemeye basan insanlar ayaklarında hissettikleri yerel konforsuzluktan ötürü, diğerlerinde olduğu gibi, hava sıcaklığını arttırmaya yönelmektedirler.

Yüzme havuzları, spor salonları, banyolar, giyinme odaları ve yatak odaları gibi çıplak ayakla basılan yerlerde konforsuzluğun giderilmesi için taban kaplama malzemesine bağlı olarak aşağıdaki

taban sıcaklıklarının sağlanması önerilmektedir[29]:

Tablo 7.1 : Çıplak ayakla basılan döşemeler için önerilen sıcaklık aralıkları[29].	
Döşeme kaplama malzemesi	Tavsiye edilen sıcaklık (°C)
Tekstil ürünleri (halı vs)	21 - 28
Mantar	23 - 28
Çam parke	22.5 - 28
Meşe parke	24.5 - 28
PVC kaplama (beton üstünde)	25.5 - 28
Beton	26 - 28.5
Mermer	28 - 29.5

OLESEN[29]'dan alınan Şekil 7.4'deki eğriye göre hafif ev içi ayakabı veya terlik geymiş insanlar için en uygun taban sıcaklığı 24- 25°C olmaktadır. ISO 7730 ve NKB standartlarında taban sıcaklığının, yavaş aktivitedeki insanlar için normal olarak 19-26 °C aralığında olması gerektiği ve yer kaloriferi sisteminde bunun 29°C 'a kadar çıkabileceği belirtilmektedir ki, bu taban sıcaklığında insanların %90'dan fazlası kendini konforlu hissetmektedir [20,29]. ASHRAE 55-81 standardında ise konforlu taban sıcaklığı 18-29° C aralığında verilmiştir [20, 29].



Şekil 7.4 : Taban/döşeme sıcaklığına göre tatmin olmayan insanların yüzdesi[29].

## 8. ISIL KONFORUN ÖLÇÜLMESİ

AHSRAE Fundamentals[26], ilgili parametrelerin ölçülmesi ve bu parametrelerin kullanılmasıyla FANGER'in PMV indeksinin bulunmasını veya yine aynı parametrelerin, ASHRAE konfor standartları ve konfor grafikleri ile karşılaştırılmasını, konforun belirlenmesi için önermektedir. Konfor parametrelerinin ölçülmesi ile ilgili özetlenmiş bilgiler aşağıda verilmiştir.

ASHRAE Fundamentals[26]'da verilen yöntemeye göre, bir hacimde

Hava sıcaklığı  
Hava hızı  
Işınım sıcaklığı  
Hava nemi

olmak üzere dört parametre vardır. Konforun tanımlanması için üçü yerel ( Hava sıcaklığı, Hava hızı, Işınım sıcaklığı), biri hacim içinde çok değişmediği için hacim içinde sabit olan (Hava nemi) bu dört parametrenin yanında, aktivite seviyesinin ve giysi cinsinin belirlenmesi gerekmektedir.

Hava sıcaklığının ölçülmesinde ışınım etkisi azaltılmış, ve zaman sabiti küçük sıcaklık ölçme elemanlarının kullanılması tavsiye edilmektedir. Hava hızı için, uygun bir zaman aralığında (3 - 5 dakika), düşük ısı kapasiteli omni-directional sensörlü ısı anemometre ile ölçülmüş ortalama hava hızlarının kullanılması uygun görülmektedir.

Işınım sıcaklığının ölçülmesinde en uygun yöntem, Vernon Globe termometresinin kullanılmasıdır. Globe termometre ile ölçülen sıcaklık ( $T_g$ ; K), yerel hava sıcaklığı ( $T_a$ ; K) ve yerel hava hızı ( $v$ ; m/sn) ile birlikte aşağıdaki eşitlikte kullanılarak yerel ortalama ışınım sıcaklığı ( $T_{mrt}$ ; K) hesaplanmaktadır:

$$T_{mrt}^4 = T_g^4 + 0.247 \cdot 10^9 \cdot v^{0.5} ( T_g - T_a ) \quad (8.1)$$

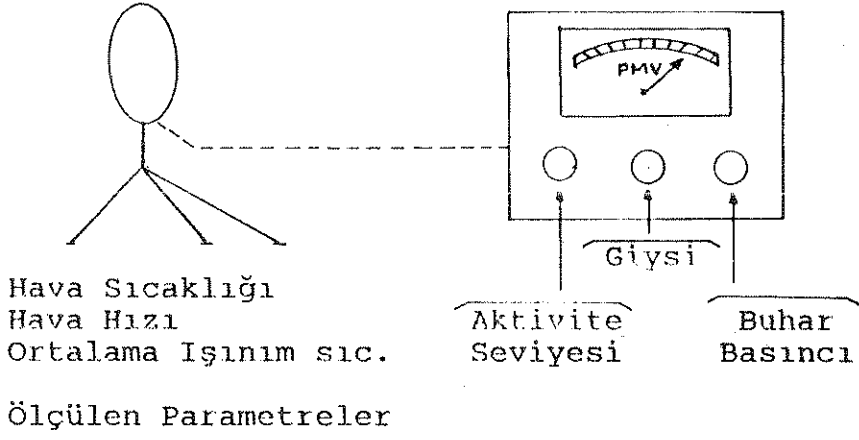
Hava nemi normal olarak hacim içerisinde üniformdur. Bu yüzden bir yerde ölçülen değer hacim içerisindeki tüm konumlar için kullanılabilir. Hassas olan herhangi bir ölçme yönteminin (ASHRAE Fund., 1981, Table 10,[22]) kullanılabilmesi belirtilmektedir.

Gelişen bilgisayar teknolojisi ile konfor parametrelerinin ayrı ayrı ölçülüp daha sonra konfor indeksinin (PMV) hesaplanması yerine, bu parametreleri hem ölçen hemde konfor indeksini hesaplayan ölçme sistemleri, konformetreler, yapılmıştır.

Bu sistemlerin bir örneği, MADSEN'in geliştirdiği konformetredir [27]. Bu ölçme ve değerlendirme sisteminde, hava sıcaklığı, hava hızı ve ortalama ışınım sıcaklığı ölçülmekte, değerlendirme sisteminde aktivite seviyesi, giysi türü ve buhar basıncı dışarıdan girilmekte ve sistem PMV indeksini hesaplamaktadır (Şekil 8.1).

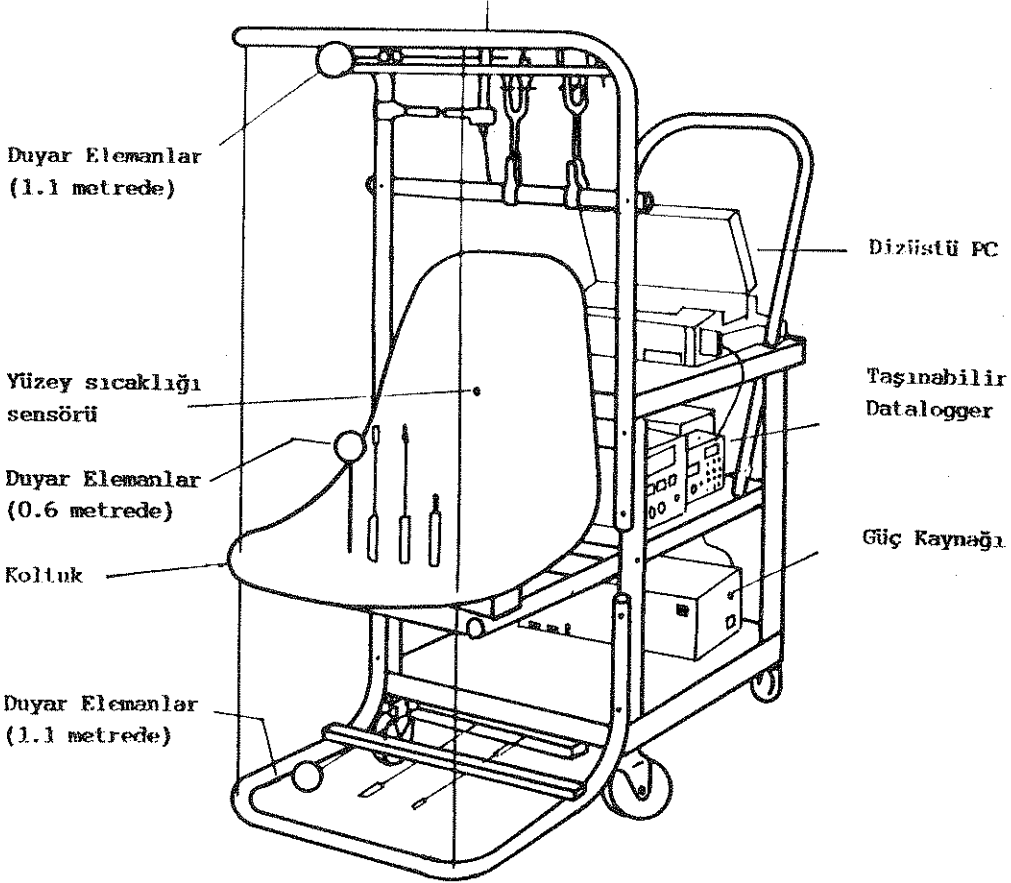
Duyar elemanlar

Hesaplayıcı



Şekil 8.1 : Isıl konformetrenin, prensip şeması[27].

ASHRAE Standard 55-81(1981) ve ISO (1984, 1985) de verilen özelliklere göre parametrelerin ölçümü ve kayıt edilmesini sağlayan biri hareketli (Şekil 8.2 ) diğeri sabit iki ölçme sistemi ise BENTON, BAUMAN ve FOUNTAIN [16] tarafından geliştirilmiştir.

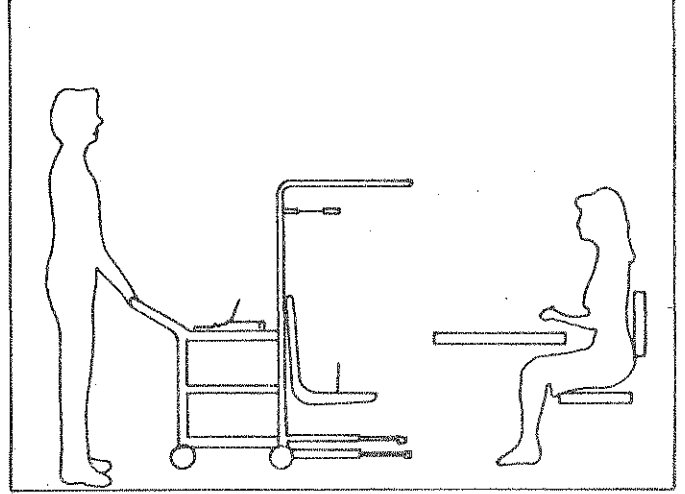


Şekil 8.2 : Hareketli Isıl Konfor Ölçme İstasyonu [16].

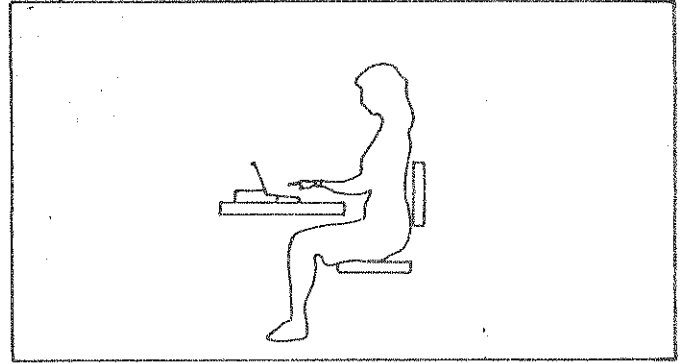


Bu sistemlerde, yukarıda verilen parametrelerin yanında, ışınım asimetrisinin ölçümünde yerel olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçme elemanı olarak kullanılan sensörlerin özellikleri ilgili makalede [16] verilmiştir. Yapılan çalışma sonunda geliştirilen sistemin ısı konfor çalışmalarında pratik ve faydalı bir araç olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 8.3' te hareketli ölçme istasyonu ile alan çalışmasında kullanılan ölçme protokolu verilmiştir.

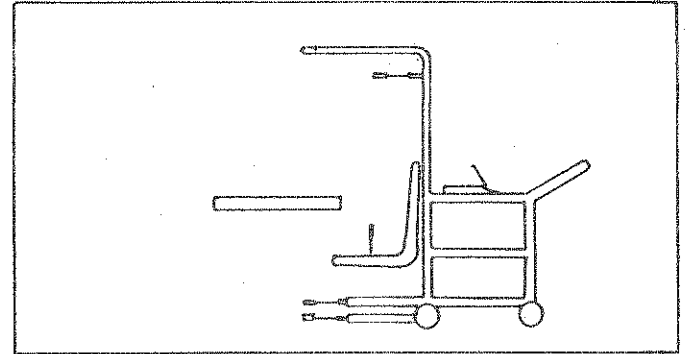
Araştırmacının iş istasyonuna gelmesi (ölçme yapılacak yere geliş zamanı, bir önceki ölçme göz önüne alınarak, genellikle random seçilir.



Çalışan izin veriyorsa, önce sistem hazırlanır (Araştırmacı bir önceki ölçmeyi göz önünde tutarak olağan dışı herşeyi -giyimdeki değişiklik, davranıştaki değişiklik, yakınında olan fan ısıtıcı ve pencerelerin durumları- not eder.



Çalışan masasını 5 dakika için terk eder. Ölçme arabası çalışanın yerine konulur. 5 dakika içinde saniyede bir olmak üzere ölçmeler yapılır. Son üç dakika ortalamaları alınır ve ölçmeler kaydedilir.



Şekil 8.3 : Çalışma yerinde ölçme protokolu [16]

## 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 9.1

İnsanlar tarafından herhangi bir amaçla kullanılan bir hacimde yaşayanların sağlıklı bir ortam içinde yaşamlarını sürdürebilmeleri için o hacmin ısı çevre parametreleri olarak tanımlanan özelliklerinin belirli sınırlar içinde olması gerekir. Bu özelliklerin en önemli olanları, ortalama parametreler olarak,

hava sıcaklığı  
hava nemi  
hava hızı  
ortalama ışınım sıcaklığı

yerel parametreler olarak

ışınım sıcaklığı asimetrisi  
yerel hava hızı  
yerel hava sıcaklığı  
döşeme sıcaklığı

değerleridir. Bu parametrelerin değerlerinin belli limitler içinde olması gerekirken, limitler içinde seçilen değerlerin değişimi de yine belli aralıklarda olmalıdır. Bu parametrelerin uygun sayılan aralıklarından uzaklaştıkça, insan üzerindeki etkilerinin de büyüdüğü ve sonunda çok ciddi hastalıklara yol açtığı açıktır.

Isıtma havalandırma ve klima sistemlerinin tasarımına esas olan iç hacim-hava sıcaklığının belirlenmesinde, diğer parametreler ile hacim içinde yaşayanların metabolizma hızı ve giysi türü göz önünde tutulmalıdır.

### 9.2

Bir gazete haberinde, "Türkün yaşı, Amerikalının yapısı baz alınarak saptanıyor. Yaş tayininde genetik, hormonal, ırksal ve beslenmeyle ilgili faktörler belirleyici olduğundan Adli Tıp Kurumu'nca yapılan yaş tayinleri hatalı çıkıyor" denilmektedir [Cumhuriyet Gazetesi, 6.02.1993].

Isıl konfor parametrelerinin seçimi, insanların metabolizma hızları (aktivite seviyeleri) ve giysi cinslerine bağlı olduğundan **yöresel beslenme ve giyim alışkanlıklarının belirlenmesi, yaş tayinine benzer bir yanılmanın ortaya çıkmaması için önemlidir.**

### 9.3

Bu inceleme sonucunda ısı konfor konusunda son yıllarda, en başta enerji tasarrufu olmak üzere çeşitli nedenlerle çok yoğun araştırmaların yapıldığı ve üretilen yeni bilgilerin kaynak kitaplara aktarıldığını görülmektedir. Bunun en güzel örneğini tasarım el kitabı olarak kullanılan ASHRAE Fundamentals'ın 1981 ve 1989 baskılarındaki farklılıklar oluşturmaktadır. 1981 baskısında

temel olarak FANGER Denklemi ve buna bağlı olarak üretilen konfor diagramları verilirken, 1989 baskısında GAGGE'nin çalışması ve bu modelle geliştirilen Efektif Sıcaklık indeksi ön plana çıkmaktadır.

#### 9.4

Anlaşıldığı kadarıyla iç tasarım konfor sıcaklıklarının, Ülkemizde olduğu gibi, sadece kurutermometre sıcaklığını içeren tablolara bakılarak seçilmesi terkedilmiştir. Bu konuda geliştirilmiş kullanımı kolay bilgisayar programları ("NBSPMV Thermal Comfort Analysis Program" gibi), pekçok parametreyi değiştirerek kullanıcı için en konforlu ortamları yaratma olanağı verirken, enerji tasarrufu gibi hedeflere yönelik tedbirleri almasına imkan tanımaktadır.

Bunun ötesinde, ısıl konfor için geliştirilen algoritmalar, yapıların ısıl analizi ve konfor sistemlerinin tasarımı için geliştirilen dinamik yöntemler içinde yer almıştır. Böylece geliştirilen bilgisayar programları (ESP, SUNCODE, OASIS, ENERPASS, TRNSYS) yapıların daha ekonomik ve daha bilimsel tasarımını mümkün kılmaktadır.

Bu yöntemlerin ülkemizde kullanılmaya başlaması gerekir. Bunun için geliştirilmiş yöntemlerin ve programların incelenilmesi, uygun olanların belirlenmesi veya benzeri programların yapılması, bu programlarda kullanılacak yerel veri tabanlarının (Giyim alışkanlıkları, dış sıcaklık ve nem değerleri, ortalama ağırlıklar ve boylar vs.) oluşturulması bir an önce gerçekleştirilmelidir.

#### 9.4

Enerji tasarrufu açısından ilk olarak söylenebilecek şey, hangi modele göre seçilirse seçilsin iç hacim tasarım-konfor sıcaklığı belirlenirken, ısıtma sezonu için ısıl konforu sağlayacak en küçük sıcaklığın seçilmesi, soğutma sezonu içinde en büyük sıcaklığın seçilmesidir. Bir araştırmada, ısıtmada konfor sıcaklığının 1°C arttırılmasının enerji harcamasında %10'luk bir artıma neden olduğu belirtilmiştir [8].

#### 9.5

Yapıların ısıl konfor tasarımı mimari tasarım ile birlikte yapılmalıdır. Her türlü mimari tasarımı yapılmış bir yapıda ısıl çevre analizlerin uygulanması ancak seçilmiş mimari elemanların özelliklerinin el verdiği ölçüde mümkün olacaktır.

#### 9.6

Son on yılda toplu konut projeleri ile birlikte çok büyük sayıda konutlar yapılmaktadır. Ülkemizdeki nüfus artışı göz önüne alındığında bu tür yapılaşmaların devam edeceği açıktır. Bu projelerde, ısıl konfor yine projelendirmenin başında dikkate alınmalıdır. En başta yapıların yerleşim düzenleri ve yönleri,

güneş enerjisini kullanarak enerji tasarrufuna imkan tanıyacak pasif tedbirleri göz önüne alarak seçilmeli ve bu özellikler konfor tasarımında dikkate alınarak en uygun mekanların yaratılması sağlanmalıdır.

#### 9.7

Ülkemizde, ısı konfor açısından araştırma yapmayı gerektiren bir nokta ise, çoğu konutların kışın soba ile ısıtılması yazın ise hiç bir soğutma sisteminin kullanılmamasıdır. Bu türlü yapılarda günlük dış sıcaklık değişimi, yapının kütleğine bağlı olarak yapı içinde de hissedilir. Sadece kışın soba ile ısıtılan veya hiç ısıtılmayan bu tür yapıların dinamik ısı analizlerinin yapılarak ısı konfor açısından en uygun yapı formlarının araştırılması gerekir.

Yine ülkemizde pek çok küçük işyeri, özellikle küçük sanayi siteleri olarak tanımlanan binlerce işyerinde çalışanlar, yapıların türleri ve kullanım şekilleri nedeni ile günlük dış sıcaklık ve nem değişimlerini hemen hemen iç hacimlerde de aynen yaşamaktadırlar. Bilindiği kadarı ile bu tür yapılar için, ısı konfor ile dolaylı olarak ilintili ısı yalıtım analizleride ciddi yapılmamaktadır. Hiç ısıtılmayan bu yapılar için ısı konfor araştırmaları yapılmalı ve bulunan çözümler bu yapılar için standard hale getirilmelidir.

#### 9.8

Tesisat elemanlarının üretiminde tasarıma esas olan özelliklerin de belirlenmesine önem verilmelidir. Örneğin bir menfezdeki üfleme konisi detayları (hız dağılımı gibi) bilinmeden, hacim içindeki konforu sağlayacak hızların tahmin edilmesi ve buna bağlı olarak konfor sıcaklığının seçimi yapılamıyacaktır.

#### 9.9

HUMPHERY ve AUCILIEMS'in deneysel eşitliklerinin, kullanım kolaylığı sağlamaları nedeniyle, ülkemize uygulanabilirliği araştırılmalıdır. Ayrıca bu eşitliklerin sonucunun analitik modellere ait sonuçlar ile karşılaştırılması yapılmalıdır.

## K A Y N A K L A R

- [1] VITRIVIUS, Mimarlık Üzerine On Kitap, Çeviren : Dr. Suna Güven, Şevki Vanlı Vakfı, 1990.
- [2] SZOKOLAY, S.V. "Thermal Comfort and Passive Design", Advances in Solar Energy, ASES, Edited by: Karl W. Böer and John A. Duffie, Plenum Press, 1985.
- [3] INT-HOUT, D. "Low Temperature Air, Thermal Comfort and Indoor Air Quality", ASHRAE Journal May, 1992.
- [4] WHEELER, A., E. "Energy Conservation and Acceptable Indoor Air Quality", ASHRAE Journal April, 1992.
- [5] BURCH, S.D. et All. "Experimental Study of Passenger Thermal Comfort in an Automobile Under Severe Winter Conditions", ASHRAE Transactions : Research, No: 3465
- [6] BURCH, S.D. et All. "Analysis of Passenger Thermal Comfort in an Automobile Under Severe Winter Conditions", ASHRAE Transactions : Research, No: 3466
- [7] ROSE, S. "Emerging Legal Concerns in Indoor Air Quality" ASHRAE Journal February, 1992.
- [8] MADSEN, T.L. "A New Thermostat For Increased Comfort and Energy Saving", XVI. International Congress of Refrigeration. Paris, 1983.
- [9] NELSON, L., W. "Residential Comfort", ASHRAE Journal January, 1989.
- [10] BEGLINGER, V. and WERNER, W. "Intelligent Buildings, Innovations and Trends", Sulzer Technical Review, 1/1992.
- [11] FAHRNI, H. "Heating and Air Conditioning Test Facilities", Sulzer Technical Review, 4/1986.
- [12] ZOLLINGER, H., J. "Energy - Relevant Air Flows in Building", Sulzer Technical Review, 2/1988.
- [13] SCHACHENMANN, A. and WISS, D. "Numerical Calculations of Room Air Currents and Comparison with LDA Measurements Under Free and Forced Convection", Sulzer Technical Review, 1/1990.
- [14] TODT, W "Comfort im Auditorium" Sulzer Technical Review, 3/1987.

- [15] FOUNTAIN, M., E. " Laboratory Studies of the Effect of Air Movement on Thermal Comfort : A Comparison and Discussion of Methods" , ASHRAE Transactions, Part 1, 1991.
- [16] BENTON, C.,C et All. "A Field Measurement System For the Study of Thermal Comfort", ASHRAE Transactions, Part 1, 1990.
- [17] BRAGER, G.,S. "Using Laboratory-Based Models to Predict Comfort in Buildings", ASHRAE Journal April, 1992.
- [18] OBESEN, B., W. et All "Thermal Comfort in a Room Heated by Different Methods", ASHRAE Paper No: 2556.
- [19] SAUER, H.J. and HOWELL, R. Environmental Control Principles, ASHRAE, 1982.
- [20] FANGER, O.P. "Thermal Environmental - Human Requirements", Sulzer Technical Review, 3/1985.
- [21] GUYTON, A., C. Tıbbi fizyoloji, (Türkçe çevirisi), Nobel Tıp Kitabevi, 1989.
- [22] ASHRAE Fundamentals, 1981.
- [23] FANGER, P.O. Thermal Comfort, Mc Graw - Hill, 1970.
- [24] PERNOT, C.E.E. "Thermal Comfort", The Passys Project Phase 1, Subgroup Model Validation and Development Final Report, Deited by Thermal Insulation Laboratory Technical University of Denmark, 1986-1989
- [25] HODGSON, M.,J. and HESS, C.,A. "Doctors, Lawyers and Building Associated Diseaseas", ASHRAE Journal February, 1992.
- [26] ASHRAE Fundamentals, 1989
- [27] MADSEN, T.L. "Thermal Comfort Measurement", ASHRAE Transactions, Vol82,Part 1, 1976.
- [28] MADSEN, T.L. "Why Do Even Low Velocities Cause Thermal Discomfort", ASHRAE Transactions, Vol 82,Part 1, 1976.
- [29] OLESEN, B.W. Local Discomfort, Brüel & Kjaer Technical Report, 1985.
- [30] MADSEN, T.L. "Definition and Measurmant of Local Thermal Discomfort Parameters", ASHRAE Transactions, Vol 86,Part 1, 1980.

EK 1a : DEĞİŞİK AKTİVİTELERDE METABOLİZMA HIZLARI [23].

Activity	Metabolic Rate M/A <sub>Du</sub> kcal/hr m <sup>2</sup>	Mechanical Efficiency $\eta$	Relative Velocity in Still Air m/s	
<i>Resting</i>				
Sleeping.....	35	0	0	
Reclining.....	40	0	0	
Seated, quiet.....	50	0	0	
Standing, relaxed.....	60	0	0	
<i>Walking</i>				
On the level	km/hr			
3.2.....	100	0	0.9	
4.0.....	120	0	1.1	
4.8.....	130	0	1.3	
5.6.....	160	0	1.6	
6.4.....	190	0	1.8	
8.0.....	290	0	2.2	
Up a Grade				
% Grade	km/hr			
5.....	1.6.....	120	0.07	0.6
5.....	3.2.....	150	0.10	0.9
5.....	4.8.....	200	0.11	1.3
5.....	6.4.....	305	0.10	1.8
15.....	1.6.....	145	0.15	0.4
15.....	3.2.....	230	0.19	0.9
15.....	4.8.....	350	0.19	1.3
25.....	1.6.....	180	0.20	0.4
25.....	3.2.....	335	0.21	0.9
<i>Miscellaneous occupations</i>				
Bakery (e.g. cleaning tins, packing boxes).....	70-100	0 - 0.1	0 - 0.2	
Brewery (e.g. filling bottles, loading beer boxes onto belt).....	60-120	0 - 0.2	0 - 0.2	
Carpentry				
Machine sawing.....	90	0	0 - 0.1	
Sawing by hand.....	200-240	0.1 - 0.2	0.1 - 0.2	
Planing by hand.....	280-320	0.1 - 0.2	0.1 - 0.2	
Foundry Work				
Fettling (pneumatic hammer).....	160	0 - 0.1	0.1 - 0.2	
Tipping the moulds.....	200	0 - 0.1	0.1 - 0.2	
Roughing (i.e. carrying 60 kg).....	270	0 - 0.2	0.1 - 0.2	

<sup>1</sup> Compiled from refs. 326, 253, 314, 225, 185.

Tending the furnaces.....	340	0 - 0.1	0.1 - 0.2
Slag removal.....	380	0 - 0.1	0.1 - 0.2
Garage Work (e.g. replacing tyres, raising cars by jack)....	110-150	0 - 0.1	0.2
Laboratory Work			
Examining slides.....	70	0	0
General laboratory work.....	80	0	0 - 0.2
Setting up apparatus.....	110	0	0 - 0.2
Locksmith.....	110	0 - 0.1	0.1 - 0.2

**EK 1b : DEĞİŞİK AKTİVİTELERDE METABOLİZMA HIZLARI [23].**

Activity	Metabolic Rate M/A <sub>Du</sub> kcal/hr m <sup>2</sup>	Mechanical Efficiency $\eta$	Relative Velocity in Still Air m/s
<b>Machine Work</b>			
Light (e.g. electrical industry).	100-120	0 - 0.1	0 - 0.2
Machine fitter .....	140	0 - 0.1	0 - 0.9
Heavy (e.g. paint industry)...	200	0 - 0.1	0 - 0.2
Manufacture of tins (e.g. filling, labelling and despatch)....	100-200	0 - 0.1	0 - 0.2
Seated, heavy limb movements (e.g. metal worker).....	110	0 - 0.2	0.1 - 0.4
Shoemaker.....	100	0 - 0.1	0 - 0.1
Shop assistant.....	100	0 - 0.1	0.2 - 0.5
Teacher.....	80	0	0
Watch repairer.....	55	0	0
<b>Vehicle driving</b>			
Car (light traffic).....	50	0	0
Car (heavy traffic).....	100	0	0
Heavy vehicle (e.g. power truck).....	160	0 - 0.1	0.05
Night flying.....	60	0	0
Instrument landing.....	90	0	0
Combat flying.....	120	0	0
<b>Heavy Work</b>			
Pushing Wheelbarrow (57 kg at 4.5 km/hr).....	125	0.2	1.4
Handling 50 kg bags.....	200	0.2	0.5
Pick & shovel work.....	200-240	0.1 - 0.2	0.5
Digging trenches.....	300	0.2	0.5
<b>Domestic Work</b>			
House cleaning.....	100-170	0 - 0.1	0.1 - 0.3
Cooking.....	80-100	0	
Washing dishes, standing.....	80	0	0 - 0.2
Washing by hand and ironing...	100-180	0 - 0.1	0 - 0.2
Shaving, washing and dressing..	85	0	0 - 0.2
Shopping.....	80	0	0.2 - 1
<b>Office Work</b> wpm			
Typing (electrical).... 30.....	45	0	0.05
40.....	50	0	0.05
Typing (mechanical).. 30.....	55	0	0.05
40.....	60	0	0.05
Adding machine.....	60	0	0
Miscellaneous office work (e.g. filing, checking ledgers).....	50- 60	0	0 - 0.1
Draughtsman.....	60	0	0 - 0.1
<b>Leisure activities</b>			
Gymnastics.....	150-200	0 - 0.1	0.5 - 2
Dancing.....	120-220	0	0.2 - 2
Tennis.....	230	0 - 0.1	0.5 - 2
Fencing.....	350	0	0.5 - 2
Squash.....	360	0 - 0.1	0.5 - 2
Basketball.....	380	0 - 0.1	1 - 3
Wrestling.....	435	0 - 0.1	0.2 - 0.3



## EK 2 : ÇEŞİTLİ GIYSİLERİN ISIL DİRENÇLERİ [23].

Clothing Ensemble	I <sub>et</sub> clo	f <sub>et</sub>
Nude.....	0	1.0
Shorts.....	0.1	1.0
Typical Tropical Clothing Ensemble:		
Shorts, open-neck shirt with short sleeves, light socks and sandals.....	0.3 0.4	1.05
Apollo Constant Wear Garment (astronauts):		
Light cotton undergarment with short sleeves and ankle length legs, cotton socks <sup>1</sup> .....	0.35	1.05
Light Summer Clothing:		
Long light-weight-trousers, open neck shirt with short sleeves.....	0.5	1.1
Light Working Ensemble:		
Athletic shorts, woollen socks, cotton work shirt (open-neck), and work trousers, shirt tail out (208)	0.6	1.1
U.S. Army "Fatigues", Man's:		
Light-weight underwear, cotton shirt and trousers, cushion sole socks and combat boots <sup>2</sup> .....	0.7	1.1
Combat Tropical Uniform:		
Same general components as U.S. Army fatigues but with shirt and trousers of cloth, wind resistant, poplin <sup>3</sup> .....	0.8	1.1
Typical Business Suit.....	1.0	1.15
Typical Business Suit + Cotton Coat.....	1.5	1.15
Light Outdoor Sportswear:		
Cotton shirt, trousers, T-shirt, shorts, socks, shoes and single ply poplin (cotton and dacron) jacket <sup>3</sup> .....	0.9	1.15
Heavy Traditional European Business Suit:		
Cotton underwear with long legs and sleeves, shirt, woollen socks, shoes, suit including trousers, jacket and vest (256).....	1.5	1.15-1.2
U.S. Army Standard Cold-wet Uniform:		
Cotton-wool undershirt and drawers, wool and nylon flannel shirt, wind resistant, water repellent trousers and field coat, cloth mohair and wool coat liner and wool socks <sup>3</sup> .....	1.5-2.0	1.3-1.4
Heavy Wool Pile Ensemble:		
(Polar weather suit).....	3-4	1.3-1.5

<sup>1</sup> James M. Waligora, Manned Spacecraft Center, Houston, personal communication.

<sup>2</sup> J. Jaax, Kansas State University, personal communication.

<sup>3</sup> J. R. Breckenridge, U.S. Army Research Institute, Natick, personal communication.

EK 3 : ÇEŞİTLİ GİYSİLERİN ISIL DİRENÇLERİ [2].

Ayakkabılar: sandalet		0.02 clo			
normal, kapalı		0.04			
botlar		0.08			
İç çamaşırı: uzun, üst		0.10			
uzun, alt		0.10			
<b>Erkek</b>			<b>Kadın</b>		
Atlet	0.06clo	Sutyen+külot	0.05clo		
Tişört	0.09	Yarım kombinezon	0.13		
Paçalı külot	0.05	Tam kombinezon	0.19		
Gömlek, ince, kısa kollu	0.14	Bluz, ince, kısa kollu	0.18		
uzun kollu	0.22	uzun kollu	0.22		
kalın, kısa kollu	0.25	kalın, kısa kollu	0.26		
uzun kollu	0.29	uzun kollu	0.29		
Balıkçı yaka veya kravat için +%05			Elbise"ince, kısa kollu 0.20		
			uzun kollu 0.22		
			kalın, kısa kollu 0.63		
			uzun kollu 0.70		
Yelek, ince	0.15	Etek"ince	0.10		
kalın	0.29	kalın	0.22		
Pantolon, ince	0.26	"Eğer dizden yukarı ise -%05			
kalın	0.32	aşağı ise +%05			
Ceket, ince	0.22	Kazak, ince, kısa kollu	0.15		
kalın	0.49	uzun kollu	0.17		
Kazak, ince, kısa kollu	0.18	kalın, kısa kollu	0.33		
uzun kollu	0.20	uzun kollu	0.37		
kalın, kısa kollu	0.33	Ceket, ince	0.17		
uzun kollu	0.37	kalın	0.37		
Çorap, ince	0.04	Çorap veya külotlu			
kalın	0.10	çorap 0.01			

Bayanlar için : Toplam clo = 0.77  $\Sigma$ clo + 0.05

Erkekler için : Toplam clo = 0.727  $\Sigma$ clo + 0.113

## EK 4 : ORTALAMA ISIL DUYUM [23].

Activity Level 50 kcal/m<sup>2</sup>hr

Clothing clo	Ambient Temp. °C	Relative Velocity (m/s)								
		<0.10	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	1.00	1.50
0	26.	-1.62	-1.62	-1.96	-2.34					
	27.	-1.00	-1.00	-1.36	-1.69					
	28.	-0.39	-0.42	-0.76	-1.05					
	29.	0.21	0.13	-0.15	-0.39					
	30.	0.80	0.68	0.45	0.26					
	31.	1.39	1.25	1.08	0.94					
	32.	1.96	1.83	1.71	1.61					
33.	2.50	2.41	2.34	2.29						
0.25	24.	-1.52	-1.52	-1.80	-2.06	-2.47				
	25.	-1.05	-1.05	-1.33	-1.57	-1.94	-2.24	-2.48		
	26.	-0.58	-0.61	0.87	-1.08	-1.41	-1.67	-1.89	-2.66	
	27.	-0.12	-0.17	0.40	-0.58	-0.87	-1.10	-1.29	-1.97	-2.41
	28.	0.34	0.27	0.07	-0.09	-0.34	-0.53	-0.70	-1.28	-1.66
	29.	0.80	0.71	0.54	0.41	0.20	0.04	-0.10	-0.58	-0.90
	30.	1.25	1.15	1.02	0.91	0.74	0.61	0.50	0.11	-0.14
31.	1.71	1.61	1.51	1.43	1.30	1.20	1.12	0.83	0.63	
0.50	23.	-1.10	-1.10	-1.33	-1.51	-1.78	-1.99	-2.16		
	24.	-0.72	-0.74	-0.95	-1.11	-1.36	-1.55	-1.70	-2.22	
	25.	-0.34	-0.38	-0.56	-0.71	-0.94	-1.11	-1.25	-1.71	-1.99
	26.	0.04	-0.01	-0.18	-0.31	-0.51	-0.66	-0.79	-1.19	-1.44
	27.	0.42	0.35	0.20	0.09	-0.08	-0.22	-0.33	-0.68	-0.90
	28.	0.80	0.72	0.59	0.49	0.34	0.23	0.14	-0.17	-0.36
	29.	1.17	1.08	0.98	0.90	0.77	0.68	0.60	0.34	0.19
30.	1.54	1.45	1.37	1.30	1.20	1.13	1.06	0.86	0.73	
0.75	21.	-1.11	-1.11	-1.30	-1.44	-1.66	-1.82	-1.95	-2.36	-2.60
	22.	-0.79	-0.81	-0.98	-1.11	-1.31	-1.46	-1.58	-1.95	-2.17
	23.	-0.47	-0.50	-0.66	-0.78	-0.96	-1.09	-1.20	-1.55	-1.75
	24.	-0.15	-0.19	-0.33	-0.44	-0.61	-0.73	-0.83	-1.14	-1.33
	25.	0.17	0.12	-0.01	-0.11	-0.26	-0.37	-0.46	-0.74	-0.90
	26.	0.49	0.43	0.31	0.23	0.09	0.00	-0.08	-0.33	-0.48
	27.	0.81	0.74	0.64	0.56	0.45	0.36	0.29	0.08	-0.05
28.	1.12	1.05	0.96	0.90	0.80	0.73	0.67	0.48	0.37	
1.00	20.	-0.85	-0.87	-1.02	-1.13	-1.29	-1.41	-1.51	-1.81	-1.98
	21.	-0.57	-0.60	-0.74	-0.84	-0.99	-1.11	-1.19	-1.47	-1.63
	22.	-0.30	-0.33	-0.46	-0.55	-0.69	-0.80	-0.88	-1.13	-1.28
	23.	-0.02	-0.07	-0.18	-0.27	-0.39	-0.49	-0.56	-0.79	-0.93
	24.	0.26	0.20	0.10	0.02	-0.09	-0.18	-0.25	-0.46	-0.58
	25.	0.53	0.48	0.38	0.31	0.21	0.13	0.07	-0.12	-0.23
	26.	0.81	0.75	0.66	0.60	0.51	0.44	0.39	0.22	0.13
27.	1.08	1.02	0.95	0.89	0.81	0.75	0.71	0.56	0.48	
1.25	16.	-1.37	-1.37	-1.51	-1.62	-1.78	-1.89	-1.98	-2.26	-2.41
	18.	-0.89	-0.91	-1.04	-1.14	-1.28	-1.38	-1.46	-1.70	-1.84
	20.	-0.42	-0.46	-0.57	-0.65	-0.77	-0.86	-0.93	-1.14	-1.26
	22.	0.07	0.02	-0.07	-0.14	-0.25	-0.32	-0.38	-0.56	-0.66
	24.	0.56	0.50	0.43	0.37	0.28	0.22	0.17	0.02	-0.06
	26.	1.04	0.99	0.93	0.88	0.81	0.76	0.72	0.61	0.54
	28.	1.53	1.48	1.43	1.40	1.34	1.31	1.28	1.19	1.14
30.	2.01	1.97	1.93	1.91	1.88	1.85	1.83	1.77	1.74	
1.50	14.	-1.36	-1.36	-1.49	-1.58	-1.72	-1.82	-1.89	-2.12	-2.25
	16.	-0.94	-0.95	-1.07	-1.15	-1.27	-1.36	-1.43	-1.63	-1.75
	18.	-0.52	-0.54	-0.64	-0.72	-0.82	-0.90	-0.96	-1.14	-1.24
	20.	-0.09	-0.13	-0.22	-0.28	-0.37	-0.44	-0.49	-0.65	-0.74
	22.	0.35	0.30	0.23	0.18	0.10	0.04	0.00	-0.14	-0.21
	24.	0.79	0.74	0.68	0.63	0.57	0.52	0.49	0.37	0.31
	26.	1.23	1.18	1.13	1.09	1.04	1.01	0.98	0.89	0.84
28.	1.67	1.62	1.58	1.56	1.52	1.49	1.47	1.40	1.37	