

## Yükseköğretim Yapılarında Isıl Konfor Şartlarının Araştırılması: Mimarlık Fakültesi Örneği

Esma MIHLAYANLAR<sup>\*1</sup>, Semiha KARTAL<sup>1</sup>, Şule YILMAZ ERTEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trakya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 22030, Edirne

(Alınış / Received: 20.07.2016, Kabul / Accepted: 13.03.2017, Online Yayınlanma / Published Online: 09.06.2017)

### Anahtar Kelimeler

Isıl konfor,  
Okul yapıları,  
İç ortam

**Özet:** Çalışma ortamının konfor şartları, insanların bedensel ve zihinsel üretim hızını etkilemektedir. Isıl konfor bireyin bir ortamdaki ısı şartları içinde kendisini rahat hissetmesi ve bu şartlardan doğan sağlık sorunları ile karşılaşmayacağı bir ortamın özellikleridir. Konforlu bir ortamda algı, kavrayış, dikkat, verim, performans değeri yüksek olacaktır. Günümüzde konfor şartları sağlanırken, konfor şartlarından taviz vermeden en az enerji tüketiminin gerçekleşmesi (enerji verimliliği yüksek binalar) sağlanmalıdır. Bu çalışmada, Edirne’de bulunan yükseköğretim (Trakya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi) yapısındaki, merkezi kalorifer sistemi ile ısıtılması yapılan ve doğal havalandırılmalı sınıfların iç ortam konfor şartları (iç ortam sıcaklık, bağıl nem, ortalama radyan sıcaklık, hava akış hızı) ve “Isıl çevreden memnuniyet” (PMV) ile “Isıl çevreden memnuniyetsizlik” (PPD) indisleri araştırılmıştır. Ölçümler eş zamanlı olarak kış (Kasım-Aralık) aylarında dersliklerin kullanım sürecince (hafta içi) ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Ölçüm sonuçları istatistiksel olarak analiz edilerek, elde edilen sonuçlar, ilgili standartlara (ASHRAE 55, ISO 7730) göre karşılaştırılmıştır. Örnek yükseköğretim yapısında elde edilen ölçüm sonuçlarının genel olarak ilgili standartlardaki değerleri aşmadığı görülmektedir.

## The Investigation of Thermal Comfort Conditions in University Buildings: The Sample of Architecture Faculty

### Keywords

Thermal comfort,  
School buildings,  
Indoor environment

**Abstract:** Comfort requirements of the work environment affects people's physical and mental production speed. Thermal comfort is the feeling of being comfortable of individual in the thermal conditions of an environment and the characteristics of the environment that cannot be faced with health problems arising from these conditions. In a comfortable environment, perception, comprehension, attention, efficiency, performance value will be higher. Today, while ensuring comfort conditions, the realization of minimum energy consumption without sacrificing comfort requirements (energy-efficient buildings) is an indispensable rule. In this study, indoor environment comfort conditions (indoor environment temperature, relative humidity, mean radiant temperature and the air flow rate), thermal environment satisfaction (PMV/ Predicted Mean Vote) and thermal environment dissatisfaction (PPD/ Predicted Percentage Dissatisfied) indices are investigated in the building that was analyzed as an example of higher education building (Trakya University, Faculty of Architecture) heated with central heating system and has naturally ventilated classroom. Measurements was carried out by measuring devices simultaneously (November-December) during the use of classrooms (weekdays) in the winter. Measurement results were analyzed statistically; the obtained results were compared with the relevant standard value (ASHRAE 55, ISO 7730). The example of the higher education building shows that the obtained measurement results don't exceed the relevant standard values generally.

### 1. Giriş

Bina kullanıcılarının buldukları kapalı ortamda sağlıklı ve üretken olabilmeleri için gerekli konfor şartlarının tasarımcılar tarafından sağlanması

gerekmektedir [1]. Zamanlarının büyük bir kısmını kapalı ortamda geçiren öğrencilerin sağlıklı ve verimli olabilmeleri için uygun ısı konfor koşulları sağlanmalıdır. Böylelikle bina, çevre ve kullanıcı açısından sağlıklı alanların oluşturulması

mümkündür [2]. Konfor şartları ısı konfor, akustik ve aydınlatma, gibi birçok konuyu kapsamaktadır [3, 4]. Bu çalışma kapsamında özellikle ısı konfor incelenmiştir. Isıl konfor, gereksinim fazlası değil vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Aynı zamanda kullanıcıların sağlıklı ve üretken olarak yaşayabilecekleri iç ortam şartlarının oluşturulmasıdır. Isıl konfor şüphesiz ki iş verimini ve üretkenliği etkileyen önemli etkenlerden biridir [3, 5, 6, 7, 8, 9].

Isıl konfor, insanların kendilerini konforsuz hissettikleri zaman elde etmek için çaba gösterilen bir durumdur ve insan davranışı üzerinde etkilidir. Isıl konfor sağlandığı zaman mevcut hal değişimi minimum değerde olur. Genellikle ısı çevreyle olan uyumu açıklayan his olarak nitelendirilir. Aynı zamanda konfor psikolojik bir durumdur ve sadece fiziksel durumla ilişkili değildir. Bu yüzden aslında bir kişinin ısı konfor olarak sıcaklık, serinlik, rahatlık vb. hisleri karmaşıktır ve tam olarak anlaşılabilir değildir. Isıl çevrenin bu hisler üzerinde büyük etkileri vardır. Isıl konfor sağlanmadığında insanlar huzursuz ve moralsiz hissedebilir ve böyle bir ortamda bulunmak veya çalışmak istemeyebilir. Bu sebepten ötürü 20. yüzyılda ısı konforla ilgili çokça araştırma yapılmıştır. Dünya’da ısı konfor çalışmaları farklı perspektifte gerçekleşir. Sıcak ülkelerde ısı şartlarının sağlanması için iç mekânın nasıl soğutulacağı üzerineyken, soğuk ülkelerde ise iç ortam sıcaklığının artırılması yönündedir [10]. Isıl konfor insanların bulunduğu iklimsel çevreden hoşnut olma durumudur [11, 12].

Isıl konforu etkileyen faktörler kişinin metabolik aktivite (hareket) düzeyi ve giyinme durumu ile ortam sıcaklığı, ortam bağıl nemi, ortam hava hızı ve ortalama radyan sıcaklık gibi çevresel parametrelerden oluşmaktadır.

**Giyim tarzı:** İnsanların giyimi, çevresi ile ısı alışverişinde direnç oluşturmaktadır. SI sistemine göre birimi  $m^2K/W$ ’dir.

**Hareket düzeyi:** İnsanların hareket düzeyi, metabolik hızı belirler. Metabolik hız; gıdaların dönüşümü ile birim zamanda üretilen enerji miktarıdır. SI birim sisteminde, 1  $m^2$  insan yüzeyinden yayınlanan enerjinin miktarı güç olarak ve Watt (=Joule/saniye) biriminde belirtilir.

**İç ortam hava sıcaklığı:** Kuru termometre sıcaklığıdır. İnsan vücudundan olan ısı kaybın/kazancın önemli bir bölümü konveksiyonla (taşınım) oda havasına kaybedilir/oda havasından kazanılır. İnsan vücudu ile iç ortam arasındaki ısı alışverişinin miktarını belirleyen en önemli değişken iç ortam hava sıcaklığıdır ve bu sebeple ısı konfor açısından önem taşımaktadır.

**Ortalama radyan sıcaklık:** Radyan sıcaklık ısı konfor açısından önemli bir büyüklüktür. Çünkü

ortalama radyan sıcaklık büyüdükçe, o hacim içinde daha düşük iç ortam hava sıcaklıklarında konfor sağlanabilir. Ortalama radyan sıcaklıkta farklı sıcaklığa sahip yüzeyler ve kişilerin bu yüzeyleri görüş açıları ve bu yüzeye olan uzaklıkları da önemlidir.

**Hava hareketleri:** İnsanın çevresi ile olan ısı alışverişinde hava hareketlerinin etkileri önemlidir. Hava giriş ve çıkış menfezlerinin (pencere, kapı, baca v.b açıklıkların) yeri ve boyutları, bunların açık veya kapalı oluşları, kapalı bir hacimdeki hava hareket hızını etkilemektedir.

**Hava rutubeti (Hava nemi):** Bir hacimdeki havanın bağıl nemi (havadaki su buharı miktarının, havanın taşıyabileceği maksimum su buharı miktarına oranı), insanın buharlaşma ile ısı kaybını etkilemektedir. Bağıl nem arttıkça vücudun buharlaşma ile ısı kaybı azalır. Ayrıca, bağıl nem miktarı %85’in üzerine çıktığında mantar, küf v.b bakteriler hızlı bir şekilde çoğalmaktadırlar [13]. İnsanlar  $20^{\circ}C$  için %30-%80 oranında rutubetli ortamlarda bulunabilirler [14]. Bu aralık ortam sıcaklığı ile de ilgilidir. İklimsel (yaz ve kış) şartlara ve farklı giyim türlerine göre  $20^{\circ}C$  ile  $28^{\circ}C$  arasındaki sıcaklıklarda %60 ile %30 arasındaki bağıl nem değerleri kabul edilmektedir. Şekil 1’de ASHRAE’ye göre yaz ve kış şartları için konfor aralıkları verilmektedir [15].

Yükseköğretim yapılarında ısı konfor koşullarını araştıran ulusal [16, 17, 18] ve uluslararası [7, 19, 20, 21] pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, Edirne’de örnek olarak incelenen yükseköğretim (Trakya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi) yapısı dersliklerinde ısıtma döneminde ısı konfor şartları araştırılmıştır.

## 2. PMV ve PPD “Isıl Çevreden Memnuniyet” (Predicted Mean Vote/PMV) ve “Isıl Çevreden Memnuniyetsizlik” (Predicted Percentage Dissatisfied PPD)

Isıl çevrenin değerlendirilmesi ve analiz edilmesi “Isıl Çevreden Memnuniyet (Predicted Mean Vote/PMV) ve Isıl Çevreden Memnuniyetsizlik (Predicted Percentage Dissatisfied PPD)” adına Fanger tarafından bir metot önerilmiştir. Buna göre konforsuzluk durumu ısı yüküne bağlı olmaktadır. Konfor şartlarında ortalama deri sıcaklığına ve terleme miktarına sahip biri için; iç ısı üretimi ile çevreye olan ısı kaybı arasındaki fark olarak tanımlanmıştır. Konfor şartlarında ısı yükü sıfır olup, sıfır yükten olan herhangi bir sapma ile hissedilen ısı algısı ısı yükünün ve aktivitenin fonksiyonu olarak kabul edilmektedir [10]. Büyük bir grubun ısı algılarını takip eden yedi noktalı ısı duyarlılık derecelendirme ölçeği ile oluşturulan verilere göre PMV için bir denklem oluşturulmuştur. Tablo 1 ve Şekil 2’de PMV ve PPD sayısal değerleri gösterilmektedir [11, 22]. PPD konfor durumundan memnun olmayanların

tahmini sayılarını veren parametredir. Ayrıca kullanıcıların algılarını takip etmek için anket çalışması da uygulanarak karşılaştırma yapılabilmektedir.

Literatürde PMV ve PPD değerlerini ölçüm ve anket sorularıyla araştıran pek çok çalışma bulunmaktadır [5, 6, 7, 19, 23].

İç ortam kabul edilebilir konfor aralıkları ASHRAE 55'de tek kategoride, ISO 7730'de A, B ve C olarak üç kategoride belirtilmiştir. Bu değer aralıkları Tablo 2'de verilmektedir [11, 22].

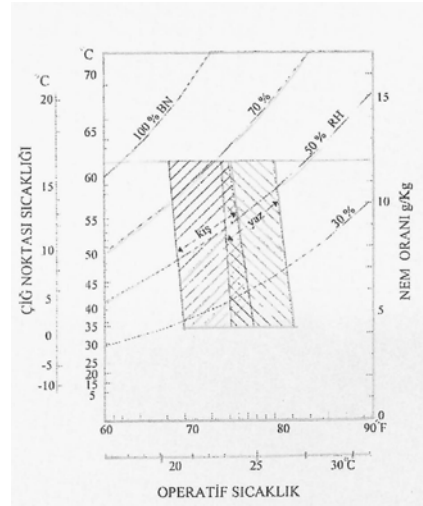
### 3. Materyal ve Metot

ASHRAE 55'de kabul edilebilir termal koşulların belirlenmesinde üç farklı metot kullanılmaktadır. Bu çalışmada Grafik Konfor Bölgesi Metoduna bağlı kalınarak; ortalama hava hızı 0,20m/s altında, nem oranı maksimum 0,012 kg.H<sub>2</sub>O/kg kuru hava, aktivite durumu 1,0-1,3 met (58-75,6 W/m<sup>2</sup>), giyim direnci 0,5-1,0 clo (0,080-0,155 m<sup>2</sup>K/W) değerleri dikkate alınmıştır [11]. Standart da Operatif sıcaklık: iç ortam sıcaklığı ve radyan sıcaklığın ortalaması olarak kabul edilmektedir.

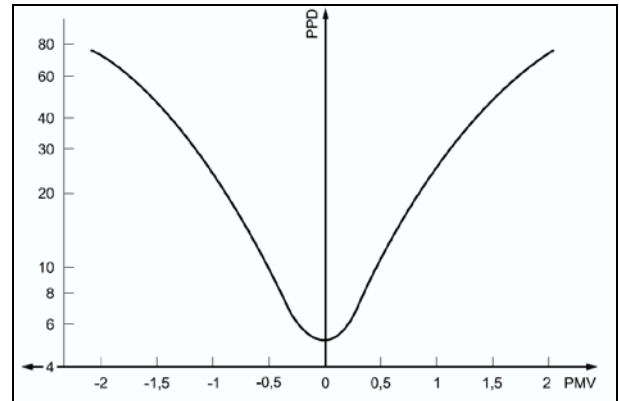
Çalışmanın gerçekleştirildiği Edirne 26° 33' doğu boylamları ile 41° 40' kuzey enlemleri arasında ılıman nemli iklim bölgesi özelliklerini taşımaktadır. Yazları ılıman, kışları az soğuk karakterlidir [24]. Tablo 3'de ölçüm yapılan aylara ait meteorolojik veriler gösterilmektedir.

Öncelikle eğitim yapısının yerleşme, konum, plan ve kesitlerine ilişkin çizim ve dokümanlar elde edilerek bina kabuğunu oluşturan yapı elemanları (çatı, pencere, duvar, döşeme v.b) ve özellikleri belirlenmiştir. Ölçüm yapılacak dersliklerin belirlenmesinde farklı yön, kat ve boyut seçim kriterlerini oluşturmuştur. Buna göre Mimarlık Fakültesi Binasında kuzey, doğu ve batı yönünde konumlanan farklı alan ve hacimlere sahip üç derslik seçilmiştir. Binanın mevcut durumuna ilişkin fotoğraflama ve ölçüm çalışmaları (ortam sıcaklığı, radyan sıcaklık, ortam nemi, hava akış hızı, PMV, PPD vb) yapılmıştır. Yapılan sıcaklık, bağıl nem, radyan sıcaklık, hava akış hızı, PMV ve PPD ölçümlerinde çok fonksiyonlu ölçüm cihazı Testo 480 ve ilgili algılayıcıları (radyan sıcaklık probu, konfor seviyesi ölçüm probu) kullanılarak veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Dersliklerde aktivite durumu için 1,2 met (70 W/m<sup>2</sup>-yerleşik, hafif faaliyet) ve giyim direnci olarak 1 clo (0,155 m<sup>2</sup>K/W-günlük kıyafet) kabul edilerek ölçümler alınmıştır. Ölçüm takvimi 2015 yılı Kasım-Aralık ayları arasında eğitimin devam ettiği hafta içi (Pazartesi-Salı-Çarşamba-Perşembe-Cuma) günlerinde derslikler kullanım halinde ve ısıtma sistemi sürekli çalışır durumdayken; her derslikte her gün aynı saatte (MİM3/10.30, MİM2/12.30, MİM1/14.30) ve 4 haftalık periyotta gerçekleştirilmiştir. Dersliklerdeki

ölçümler 45 dakika süreyle dakikalık olarak kaydedilmiştir. Cihaz derslik içinde direkt güneş ışınına maruz kalmayacak şekilde yerden 1,10m yükseklikte yerleştirilmiştir. Ayrıca her gün bir kez yine aynı saatte (16.30) dış ortam ölçümü alınmıştır. Çalışmanın gerçekleştirildiği Mimarlık Fakültesi binası; 1871 yılında Sultan Abdülaziz tarafından Edirne Askeri Lisesi olarak yaptırılmıştır. Edirne tarihi kent merkezinde yer alan bina yığma kâgir sistemle inşa edilmiştir. Farklı tarihlerdeki eklentilerle oluşturulmuş bina açık avlulu formdadır. 2011 yılından itibaren Trakya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık ve Peyzaj Mimarlığı Bölümleri tarafından kullanılmaktadır. Yapıda kışın doğalgaz merkezi ısıtma sistemi kullanılmaktadır. Havalandırma doğal yolla gerçekleşmektedir. Ölçüm alınan dersliklere ait plan, kesit ve özellikler Tablo ve Şekillerle aşağıda verilmektedir (Şekil 3-7, Tablo 4-5) [26].



Şekil 1. ASHRAE yaz ve kış şartları konfor bölgeleri [15]



Şekil 2. PMV'nin fonksiyonu olarak PPD sayısal değerleri [11, 22]

Tablo 1. PMV için yedi noktalı ısı duyarlılık ölçeği [10, 11, 22]

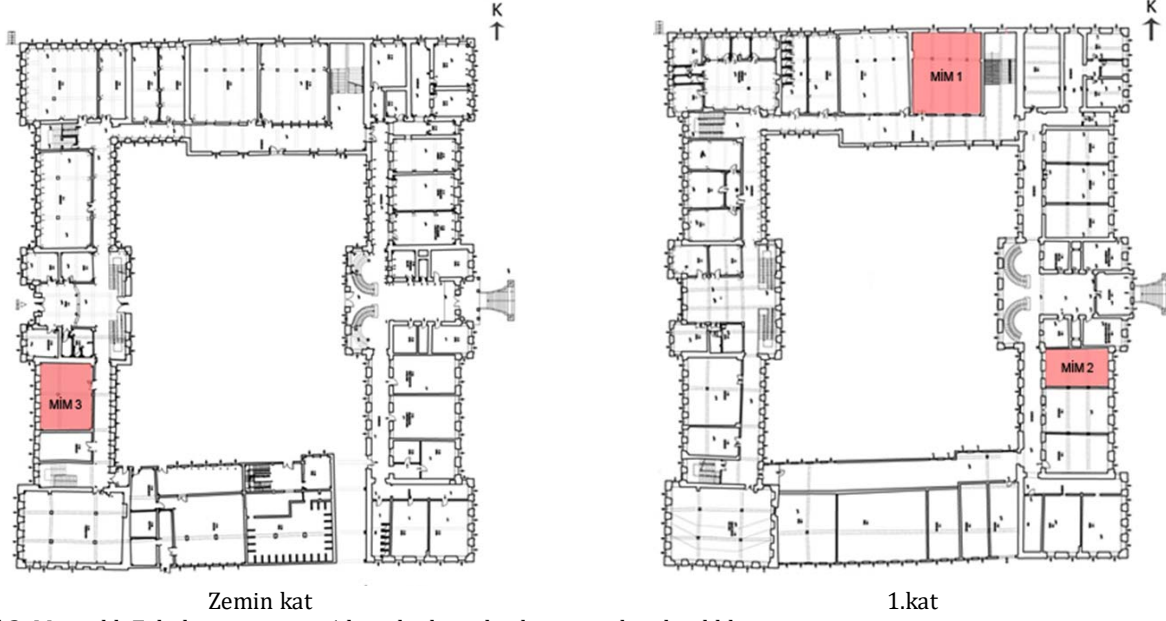
Sıcak	+3
Ilık	+2
Biraz ılık	+1
Nötr	0
Biraz serin	-1
Serin	-2
Soğuk	-3

**Tablo 2.** ASHRAE 55 ve ISO 7730 konfor aralıkları [11, 22]

ISO-7730	PPD (%)	PMV	Operatif sıcaklık °C (Kış sezonu)
A	< 6	-0,2<PMV<+0,2	22,0 ± 1,0
B	< 10	-0,5<PMV<+0,5	22,0 ± 2,0
C	< 15	-0,7<PMV<+0,7	22,0 ± 3,0
ASHRAE-55	< 10	-0,5<PMV<+0,5	20,0 - 24,0

**Tablo 3.** Edirne ili Kasım ve Aralık ayı 2016 meteorolojik verileri [25]

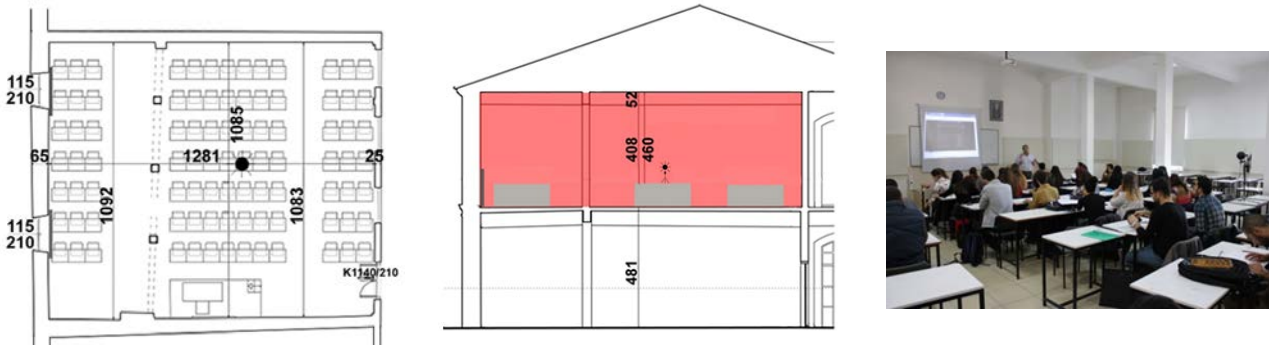
Aylar	Sıcaklık (°C)		Bağıl nem (%)	
	en düşük	en yüksek	en düşük	en yüksek
Kasım	1,6	26,7	22	99
Aralık	-7,5	14,7	23	99



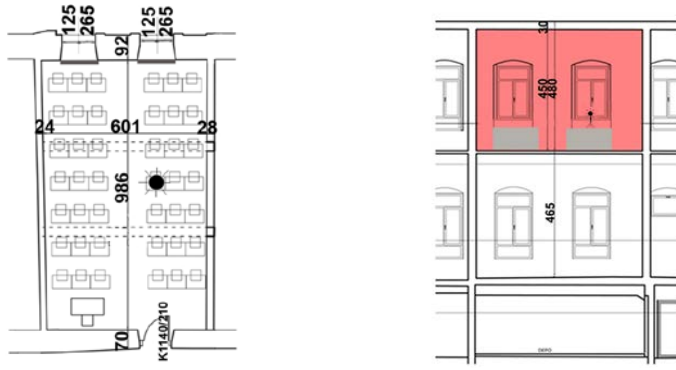
**Şekil 3.** Mimarlık Fakültesi zemin ve 1.kat planlarında ölçüm yapılan derslikler



**Şekil 4.** Mimarlık Fakültesi incelenen derslikleri gösteren kesitler



**Şekil 5.** MİM 1 dersliğine ait plan, kesit ve ölçüm noktaları



Şekil 6. MİM 2 dersliğine ait plan, kesit ve ölçüm noktası



Şekil 7. MİM 3 dersliğine ait plan, kesit ve ölçüm noktası

Tablo 4. Mimarlık Fakültesi ölçüm yapılan derslik özellikleri

Dersliklerin Özellikleri	Ölçüm Yapılan Derslik Adı		
	MİM 1	MİM 2	MİM 3
Konum	1.kat	1.kat	Zemin kat
Yön	Kuzey	Doğu	Batı
Aktivite	Atölye	Derslik	Atölye
Alan (m <sup>2</sup> )	138,98	58,90	89,20
Hacim (m <sup>3</sup> )	638,48	265,05	382,66
Duvar kalınlığı (m)	0,57	0,86	0,95
Dış duvar bitiş malz.	Sıvalı	Sıvalı	Taş
Ölçüm saati	14.30	12.30	10.30
Derslik oturma kapasitesi/kişi	90	40	60

Tablo 5. Mimarlık Fakültesi ölçüm yapılan derslik kaplama ve yapı elemanı özellikleri

Dersliklerin Özellikleri	Ölçüm Yapılan Derslik Adı			
	MİM 1	MİM 2	MİM 3	
Kaplama Özellikleri	Döşeme	Seramik		
	Duvar	Alçı Sıva-plastik boyalı		
Yapı Elemanları	Tavan	Alçı Sıva-plastik boyalı		
	Pencere m <sup>2</sup> (PVC doğrama)	5,45	6,62	17,85
Alanları (m <sup>2</sup> )	Duvar m <sup>2</sup> (Kagir)	198,53	123,75	161,47
	Kapı m <sup>2</sup> (Sunta Kaplamalı)	2,93	2,52	2,93

\*(Duvar kaplaması XPS plaka üzeri kumaş kaplıdır.)

#### 4. Bulgular

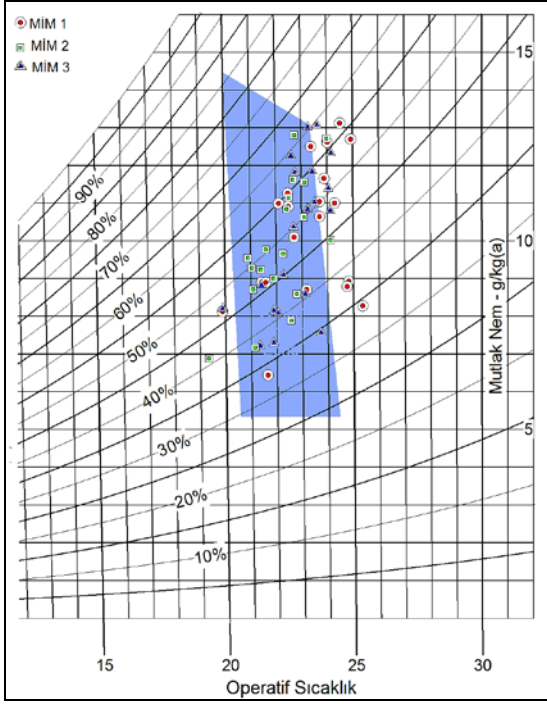
Ölçümlerin gerçekleştirildiği Mimarlık Fakültesi için ısıtma sezonunda 4 haftalık periyotta her gün aynı

saatlerde üç farklı derslikte alınan ölçüm sonuçları bu bölümde verilmektedir. Öncelikle ASHRAE 55'deki konfor aralığında (kış dönemi /ısıtma sezonu) grafik yöntem üzerinde ölçüm değerlerine bağlı olarak hesaplanan operatif sıcaklık ve bağıl nem değerleri işaretlenmiştir (Şekil 8). Şekil 8'deki operatif sıcaklık ve bağıl nem değişimine göre konfor aralığının dışında kalan ölçümlere baktığımızda çoğunlukla MİM 1, daha sonra MİM 3 dersliği gelmektedir. Kış şartları açısından ölçümlerde en çok konfor aralığının sağlandığı derslik MİM 2 olarak görülmektedir. Buradaki konfor sınırı dışındaki ölçümler genellikle operatif sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu (yaklaşık 1- 1,5°C fark olan) ölçümlerdir. Operatif sıcaklık değerlerinin konfor üst sınırında ölçülen bu sınıfların özelliklerine baktığımızda MİM 1 Kuzeyde, 1. Katta, en geniş ve duvar kalınlığı olarak en ince duvar kesitine sahip olmasına rağmen öğrenci ortalama yoğunluğunun en çok olduğu dersliktir. MİM 3 dersliği Batıda, zemin kat, orta genişlikte, en kalın duvar kesitine sahip ve ortalama öğrenci yoğunluğuna sahip dersliktir.

Şekil 9 ve 10'da sıcaklık ve bağıl nem değerleri verilmektedir. Ayrıca grafiklerde sıcaklık ve bağıl nem değerleri için iç ve dış ortam değişimini görebilmek için dış ortamdaki sonuçlar da gösterilmiştir. Şekil 9'da dersliklerdeki iç ortam ve dış sıcaklık değişimi görülmektedir. Ölçüm alınan dersliklerde iç ortam sıcaklık değerleri 19,33°C-25,5°C arasında değişmektedir. Minimum iç ortam sıcaklık ölçümü giriş katta bulunan MİM 3 nolu derslikte (19,33°C) tespit edilmiştir (Şekil 9). Dış sıcaklık değişimleri, iç ortam ölçümleri ile paralellik



göstermektedir. Aralık ayında dış sıcaklık düşüşüyle iç ve dış ortam sıcaklık farkı daha çok belirginleşmektedir.



Şekil 8. ASHRAE 55'e göre dersliklerde konfor aralığı

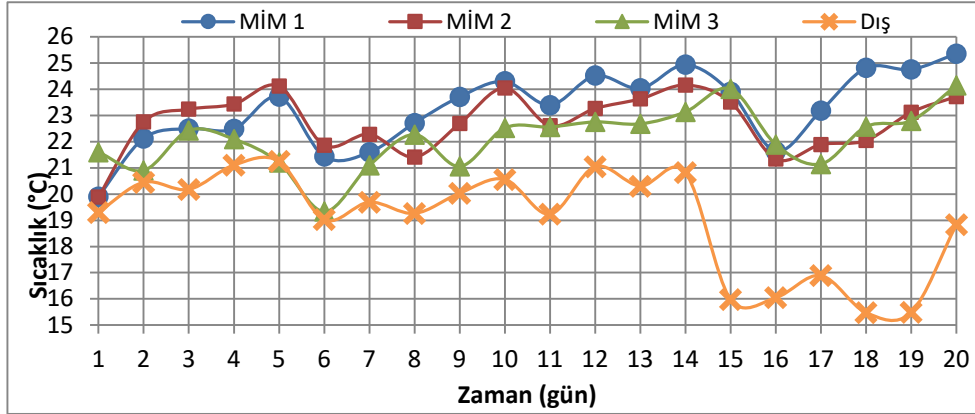
Şekil 10'da dersliklerdeki iç ortam bağıl nem değişimi görülmektedir. Ölçüm alınan dersliklerde

iç ortam bağıl nem değerleri %33-%68 arasında değişmektedir. Minimum iç ortam bağıl nem 1. katta bulunan MİM 1 nolu derslikte (%33) tespit edilmiştir. Dış bağıl nem değişimleri de iç ortam ölçümleri ile paralellik göstermektedir.

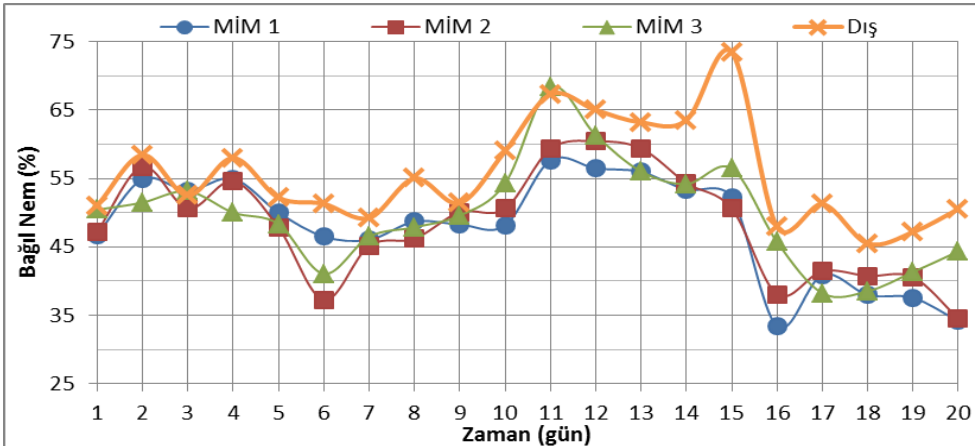
Şekil 11'de dersliklerdeki iç ortam hava akış hızı değişimi görülmektedir. Ölçüm alınan dersliklerde iç ortam hava akış hızı 0,04m/s - 0,18 m/s arasında değişmektedir. Minimum hava hızı MİM 1 ve MİM 2 nolu dersliklerde, maksimum hava hızı MİM 1 nolu derslikte tespit edilmiştir.

Şekil 12'de dersliklerde ölçülen ortalama radyan sıcaklık değişimi görülmektedir. Ölçüm alınan dersliklerde iç ortam radyan sıcaklık değeri; iç ortam sıcaklık değeri ile paralel ve ortam sıcaklığından biraz daha yüksek değerler göstermektedir (Şekil 9, Şekil 12). Yüzeylerin sıcaklıklarının etkisini gösteren radyan sıcaklığın iç ortam hava sıcaklığına yakın ve yüksek olması iç ortamın konfor şartları açısından olumlu görülmektedir.

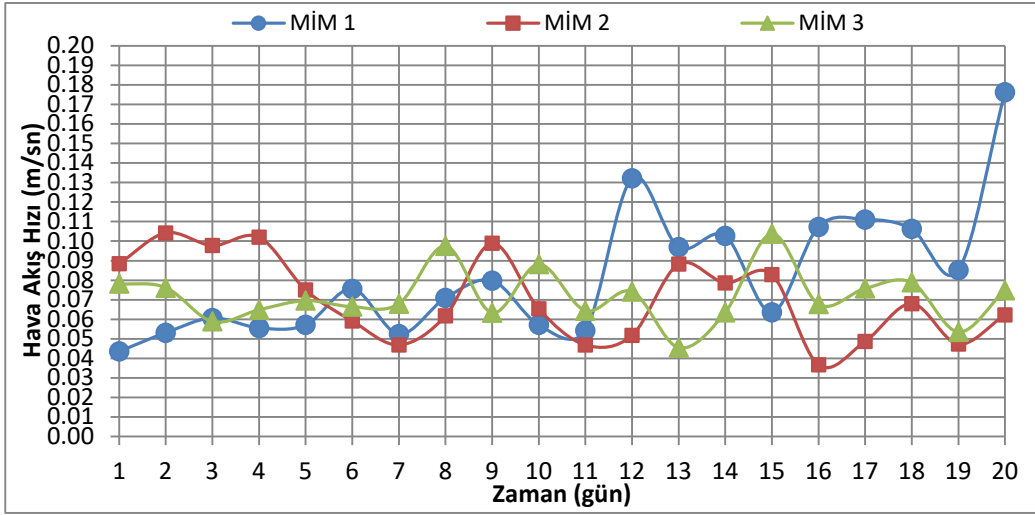
Şekil 13 ve Şekil 14'de dersliklerdeki ölçülen PMV (Isıl çevreden memnuniyet/tahmini ortalama oy) ve PPD (Isıl çevreden memnuniyetsizlik/memnuniyetsizliklerin tahmini yüzdesi) değerleri görülmektedir.



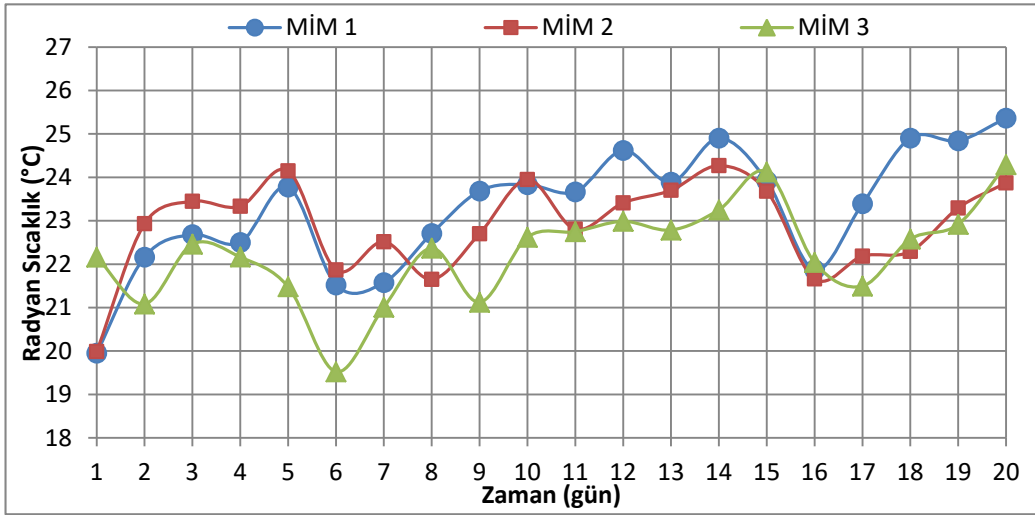
Şekil 9. İç ortam derslikler ve dış ortam sıcaklık değişimi



Şekil 10. İç ortam derslikler ve dış ortam bağıl nem değişimi



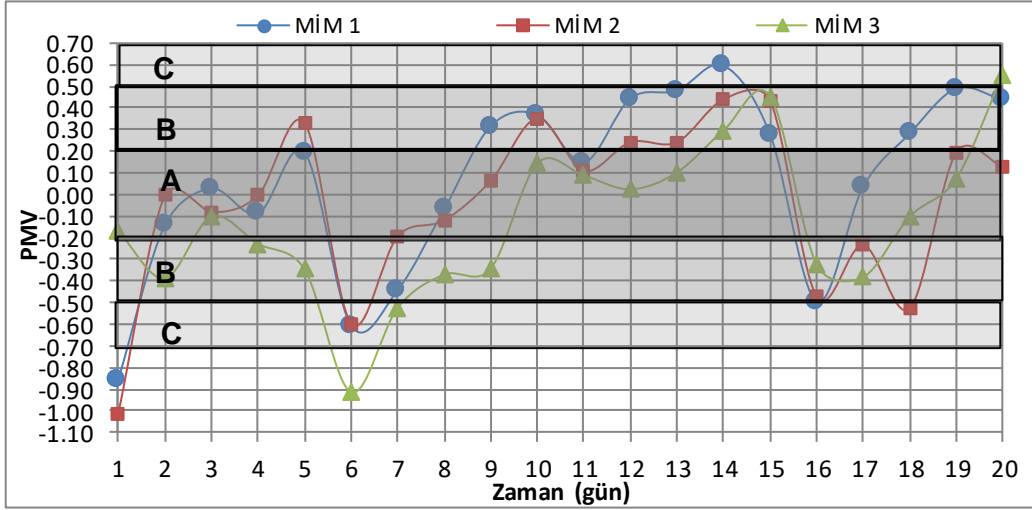
Şekil 11. İç ortam derslikler hava akış hızı değişimi



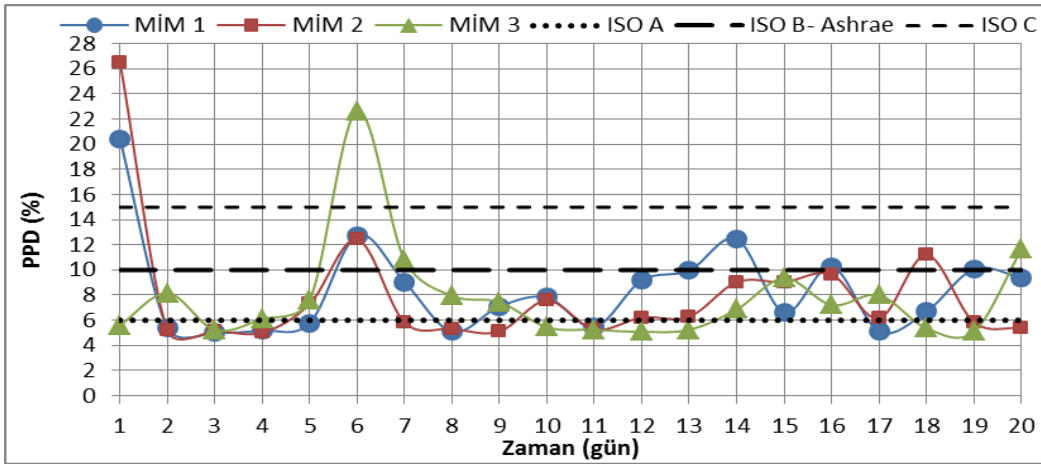
Şekil 12. İç ortam derslikler radyan sıcaklık değişimi

Ölçüm sonuçlarından elde edilen PMV (Isıl çevreden memnuniyet/tahmini ortalama oy) değerleri, genel olarak tüm sınıflarda ISO 7730 standartlarında verilen sınır değerler arasında kalmaktadır (Şekil 13). ISO 7730'da A,B,C olarak üç kategori de verilen PMV aralıkları, ASHRAE 55'de tek sınır aralığında, ISO 7730'da B kategorisiyle aynı değerleri almaktadır (Tablo 1). MİM 1 ve MİM 2 dersliklerinde 2, 3, 4, 8 ve 11. ölçümlerde A kategorisinde, 5, 10, 12, 13, 15, 19. Ölçümlerde B kategorisinde ölçümler elde edilmiştir. 1. Ölçümde MİM 1 ve MİM 2'de sınırın dışında, 6. ölçümde de MİM 3 sınırın dışında kalmıştır. İç ortam sıcaklık değerlerinde de bu ölçümlerdeki farklılıklar dikkati çekmektedir. Tüm sınıflarda yapılan PMV ölçümlerinin % 40'ı A kategorisinde, %43,3'ü B kategorisinde, %11,7'si C kategorisinde, % 5'i de bu kategorilerin dışında kalmıştır. ASHRAE 55, ISO 7730 A,B kategorilerini içine almaktadır. Buna göre yapılan ölçümlerin %83,3'ü ASHRAE 55 standardında belirtilen aralık içinde yer almaktadır.

Ölçüm sonuçlarından elde edilen PPD (Isıl çevreden memnuniyetsizlik/ memnuniyetsizliklerin tahmini yüzdesi) değerleri, genel olarak tüm sınıflarda ISO 7730 standartlarında verilen sınır değerler arasında kalmaktadır (Şekil 14). ISO 7730'da A,B,C olarak üç kategori de verilen PPD aralıkları, ASHRAE 55'de tek sınır aralığında ISO 7730'da B kategorisiyle aynı değerleri almaktadır (Tablo 1). Ölçülen PMV değerleri ile paralel olarak aynı ölçümlerde; MİM 1 ve MİM 2, 1. ölçümde ve MİM 3 de 6. ölçümde sınır değerler dışında sonuçlar alınmıştır. Bu ölçümlerin ayrıntılarına baktığımızda özellikle 6. ölçümde iç ve dış sıcaklık arasındaki farkın çok az olduğu görülmektedir. Buna paralel olarak iç ortam sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin de düşük, kullanıcı sayılarının 5 ile 12 arasında değiştiği görülmektedir [26]. Tüm sınıflarda yapılan PPD ölçümlerinin %37'si ISO A kategorisinde, %43'ü ISO B kategorisinde, %15'i ISO C kategorisinde, % 5'i de bu kategorilerin dışında kalmıştır. ASHRAE 55, ISO 7730 A,B kategorilerini içine almaktadır. Buna göre yapılan ölçümlerin %80'i ASHRAE 55 standardında belirtilen aralık içinde yer almaktadır.



Şekil 13. Dersliklerde ölçülen PMV değerleri



Şekil 14. Dersliklerde ölçülen PPD değerleri

## 5. Tartışma

Çalışma kapsamında üç farklı derslikte alınan iç ortam ölçümleri (ortam sıcaklık, bağıl nem, hava akış hızı, radyan sıcaklık, PMV ve PPD) sonucu elde edilen istatistiksel analiz Tablo 6'da verilmektedir.

İç ortam sıcaklık değişimleri MİM 2 ve MİM 3'de birbirine daha yakın MİM 1'in de diğer dersliklerle arasındaki fark çok yüksek değildir.

İç ortam bağıl nem değişimlerinde minimum ve maksimum değerlerde MİM 1 ve MİM 2 birbirine daha yakınken MİM 3 değerleri her iki derslikten daha yüksektir. Ancak standart sapma değerleri her üç derslikte de birbirine yakındır.

Hava akış hızı değişimleri MİM 2 ve MİM 3'de birbirine daha yakın MİM 1'in de diğer dersliklerle arasındaki fark sadece maksimum değerde tespit edilmiştir.

Ortalama Radyan Sıcaklık değişimleri MİM 2 ve MİM 3'de birbirine daha yakın MİM 1'in de diğer dersliklerle arasındaki fark çok yüksek değildir.

Operatif Sıcaklık değişimleri MİM 2 ve MİM 3'de birbirine daha yakın MİM 1'in de diğer dersliklerle arasındaki fark çok yüksek değildir.

PMV değerleri değişimleri tüm dersliklerde birbirlerinden farklılık göstermektedir.

PPD değerleri değişimleri MİM 1 ve MİM 3'de birbirine daha yakınken MİM 2 de diğer dersliklerle arasındaki fark sadece maksimum ve standart sapma değerlerinde tespit edilmiştir.

## 6. Sonuç

Bu çalışmada, merkezi kalorifer sistemi ile ısıtılması yapılan ve doğal havalandırmalı Trakya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi dersliklerinin (3 derslik) iç ortam konfor şartlarının araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, iç ortamın sıcaklık, bağıl nem, hava hareket hızı ve radyan sıcaklıkları eş zamanlı olarak kış aylarında kullanım süresince ölçülmüştür. Çalışmada ayrıca iç ortam "Isıl çevreden memnuniyet" (PMV/tahmini ortalama oy) ve ısı çevreden memnuniyetsizlik (PPD/memnuniyetsizliklerin tahmini yüzdesi) indisleri de ölçülerek belirlenmiştir. Elde edilen değerler %95



oranında ISO 7730 A,B,C kategorileri içinde yer almaktadır. Ölçümlerin sadece %5'i ISO 7730 standardının dışında kalmıştır. PMV ölçümlerinde Sadece ASHRAE 55'e göre değerlendirme yapıldığında ASHRAE 55, ISO 7730 A,B kategorilerini içine aldığından yapılan ölçümlerin %83,3'ü standart da belirtilen aralık içinde sadece %11,7'si ISO C kategorisinde yer almaktadır. PPD ölçümlerinde sadece ASHRAE 55'e göre değerlendirme yapıldığında ASHRAE 55, ISO 7730 A,B kategorilerini içine aldığından yapılan ölçümlerin %80'i standart da belirtilen aralık içinde Sadece %15'i ISO C kategorisinde yer almaktadır. ISO 7730'da A kategorisi termal çevreden en yüksek memnuniyeti, B kategorisi tatmin edici, C kategorisinin asgari gereklilikleri sağladığı kabul edilmektedir [22, 27].

**Tablo 6.** Ölçüm sonuçlarında elde edilen sayısal değerler

Parametre	İstatistik gösterge	MİM 1	MİM 2	MİM 3
Öğrenci sayısı (kişi)	Min.	5	2	5
	Maks.	67	39	47
	Ort.	40	20	23
	Std. Sap.	17,14	11,38	13,63
Sıcaklık (°C)	Min.	19,89	19,89	19,33
	Maks.	25,36	24,16	24,14
	Ort.	23,25	22,75	22,11
	Std. Sap.	1,43	1,11	1,13
Bağıl Nem (%)	Min.	33,36	34,52	38,23
	Maks.	57,66	60,44	68,32
	Ort.	47,86	48,29	49,86
	Std. Sap.	7,52	7,79	7,56
Hava Akış Hızı (m/s)	Min.	0,04	0,04	0,05
	Maks.	0,18	0,10	0,10
	Ort.	0,08	0,07	0,07
	Std. Sap.	0,03	0,02	0,01
Ort. Radyan Sıcaklık (°C)	Min.	19,95	19,99	19,52
	Maks.	25,36	24,27	24,29
	Ort.	23,29	22,89	22,26
	Std. Sap.	1,40	1,06	1,11
Operatif Sıcaklık (°C)	Min.	19,92	19,94	19,43
	Maks.	25,36	24,21	24,22
	Ort.	23,27	22,82	22,18
	Std. Sap.	1,41	1,08	1,11
PMV	Min.	-0,85	-1,01	-0,91
	Maks.	0,60	0,44	0,56
	Ort.	0,07	-0,04	-0,12
	Std. Sap.	0,41	0,38	0,35
PPD (%)	Min.	5,00	5,02	5,08
	Maks.	20,42	26,54	22,66
	Ort.	8,44	7,97	7,80
	Std. Sap.	3,75	4,88	3,99

Bu konuda yapılan benzer çalışmalarda: İtalya'da üniversite ve lise dersliklerinde çevresel konfor şartlarının araştırıldığı ölçüm ve anket ile gerçekleştirilen çalışmada ısıtma sezonunda ölçülen PMV aralıkları minimum -1,2 maksimum +1,0, PPD minimum %5 maksimum %35 arasında farklı sonuçlar elde edilmiştir [7]. Üniversite dersliklerinde iç ortam kalitesi ve okul performansının deneysel ve sayısal olarak araştırıldığı başka bir çalışmada farklı havalandırma koşulları ısıtma ve soğutma sezonunda

araştırılmıştır. Ortalama PMV değişimi +0,55 ile 0,69, ortalama PPD değişimi %11,6-%15,04 arasında elde edilmiştir. Çalışmada iç ortam koşulları her iki sezonda da konfor sınırları içinde kabul edilmiştir [28].

Bu çalışmada kış şartları açısından ölçümlerde en çok konfor aralığının sağlandığı derslik MİM 2 olarak görülmektedir. Buradaki konfor sınırı dışındaki ölçümler genellikle operatif sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu (yaklaşık 1-1,5°C fark olan) ölçümlerdir. Sınır dışındaki ölçümlerde dış fiziksel verilerin değişimiyle iç ortam şartlarının değiştiği ve kullanıcı sayılarının etkin olduğu görülmektedir. Ölçüm yapılan dersliklerin farklı yön, kat, boyut ve değişen dış duvar kalınlık özelliklerine bağlı olarak ölçüm sonuçlarında farklılıklar gözlenmesine rağmen bu değişimler ısı konfor açısından çok belirgin bir fark oluşturmamaktadır. Örneğin kuzeyde, duvar kesiti daha ince, 1.katta yer alan ve kullanıcı sayısının fazla olduğu derslik ile batıda, en kalın duvar kesitli, zemin katta yer alan ve ortalama kullanıcı yoğunluğu bulunan dersliğin benzer davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Isıtma sistemi sürekli çalışır durumda ancak dersliklerin kullanılmadığı hafta sonları ve akşamları sistem derecesi düşürülmektedir. Bu yüzden özellikle hafta başı ölçümlerinde dersliklerdeki sıcaklık dereceleri daha düşük ölçülmüştür. Genellikle hafta içi ısıtma sisteminin yüksek derecede kullanıldığı tespit edilmiştir. Gereksiz yakıt harcamaları ve iç ortam konfor koşullarının bozulmaması için ısıtma sisteminin kontrollü bir sistemle (termostat vb) desteklenmesi de faydalı olacaktır.

Yapılan çalışmada örnek olarak incelenen dersliklerde genel olarak standartlarda verilen ısı konfor şartlarına uygun ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Geleneksel sistemde inşa edilmiş değişen kalınlıklarda kalın masif duvarlara sahip olan kâgir yapıda özellikle ısı depolama özelliğinin etkisi de görülmektedir. Binanın günümüz koşullarında eğitim yapısı olarak aynı hizmete devam etmesi ve gereken ısı konfor şartlarını sağlaması sürdürülebilirlik adına da oldukça önemlidir. Çalışmada ölçümler sabit rejim/kış şartları (ısıtma sezonu) için gerçekleştirilmiş ve buna göre değerlendirme yapılmıştır. Bu ölçümler yaz şartları için de gerçekleştirilip dönemsel karşılaştırma da yapılabilir.

Her yapıda ısı konfor şartlarının sağlanması gerekmektedir. Eğitim yapılarında bu çok daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle son yıllarda bu konu üzerinde yapılan çalışmaların artış gösterdiği de çalışmalarda özellikle vurgulanmaktadır [29].

Eğitim yapılarında ısı konforunun sağlanmasıyla öğrencilerin verimli üretken olmasının yanı sıra ve binaların enerji tüketimi ve çevresel etkileri açısından da kazanç sağlanacaktır.

## Teşekkür

Bu çalışma Trakya Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (TÜBAP) tarafından “Eğitim Yapılarında İç Ortam Konfor Şartlarının Araştırılması (2014-102)” projesi kapsamında desteklenmiştir.

## Kaynakça

- [1] Nicol, J.F., Humphreys, M.A., 2002. Adaptive Thermal comfort and Sustainable Thermal standards for buildings, *Energy and Buildings* 34 (2002) 563-572.
- [2] Zomorodian, Z. S., Tahsildoost, M., Hafezi, M. 2016. Thermal Comfort in Educational Buildings: A review Article, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59 (2016) 895-906.
- [3] Kwong, Q. J., Adam N. M., Tang, S. H., 2009. Effect of Environmental Comfort Factors in Enclosed Transitional, Space toward Work Productivity, *American Journal of Environmental Sciences* 5 (3): (2009),315-324.
- [4] Oral, G. K., Yener, A. K., Bayazit, N.T., 2004. Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions, *Building and Environment* 39 (2004) 281 – 287.
- [5] Yaşar, Y., Pehlivan, A., Altıntaş, E., 2007. İlköğretim Dersliklerinde Termal Konfor Araştırması, VII Ulusal Tesisat Müh. Kongresi, 25-28 Ekim, İzmir, 199- 208.
- [6] Pistore, L., Cappelletti, F., Romagnoni, P., Zonta, A., 2015. Assesment of the IEQ in two high schools by means of monitoring, surveys and dynamic simulation, *Energy Procedia* 82 (2015) 519-525.
- [7] Corgnati, S.P., Filippi, M., Viazzo S., 2007. Perception Of The Thermal Environment İn High School And University Classrooms: Subjective Preference And Thermal Comfort. *Building Environment* 42 (2007),951-959.
- [8] Mendell M. J., Heath, G. A., 2005. Do Indoor Pollutants and Thermal Conditions in Schools Influence Student Performance? A Critical Review of the Literature, *Indoor Air Journal*, vol. 15, (2005), pp. 27-32.
- [9] Budaiwi, I. M., 2007. An Approach To Investigate And Remedy Thermal-Comfort Problems İn Buildings, *Building and Environment* 42 (2007) 2124-2131.
- [10] Parsons, K., 2002. Human Thermal Environments, The Effects of Hot Moderate and Cold Environments On Human Health, Comfort, and Performance, Third Edition, CRC Press, Taylor&Francis Group. 257-268s.
- [11] ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55, 2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society Of Heating, Ventilating and Air-conditioning Engineers, Atlanta.
- [12] Kameni, N. M., Tchinda, R., Djongyang N., 2013. Field Study of Thermal Comfort in Naturally Ventilated Classrooms of Cameroon, *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, Volume 3, Issue 5 (2013), 555-570.
- [13] Oxley T.A. and Gobert, E.G., 1994. The Professionals And Home Owners Guide To Dampness in Buildings-Diagnosis Treatment Instruments (second edition), Butterworth Heinemann, Oxford,
- [14] Yüksel, N., 2005. Günümüz Kamu Kurumlarında Yapısal Konfor Koşullarının Tespit Edilmesine Yönelik Bir Çalışma, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 10, Sayı 2 (2005) 21-31.
- [15] TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2005, Yalıtım, Yayın No/MMO/2005/399, İstanbul, s:12.
- [16] Çalış, G., Özbalta, T.G. Kuru, M., B. Alt, 2015. Bir Eğitim Binasının Isıl Konfor ve Enerji Verimliliği Açısından İncelenmesi, 12. ULUSAL Tesisat Mühendisliği Kongresi s: 2319-2330, – 8-11 Nisan, İzmir
- [17] Şahin, C. D., Atak, Z., Kılıç, M., Döner, D., Çelik, E., Gemici, A., Özcan, K., Öner, F., 2015. Üniversite Dersliklerinin Isıl Konforunun Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma, 12. ULUSAL Tesisat Mühendisliği Kongresi, s:2415-2425. 8-11 Nisan, İzmir
- [18] Sezer, F. Ş., 2015. Kullanıcı Memnuniyetinin Konfor Koşulları Açısından Değerlendirilmesi: Bir Eğitim Binası Örneği, *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 16(1) (2015) 11-19.
- [19] Runming Y., Jing L., Baizhan L. 2010. Occupants’ Adaptive Responses and Perception of Thermal Environment in Naturally Conditioned University Classrooms, *Applied Energy* 87 (2010) 1015-1022.
- [20] Pellegrino, M., 2014. Thermal Judgements and Adaptive Behaviours: A study on the Subjective side of Thermal Comfort in Two University Buildings in France, *Proceedings of 8<sup>th</sup> Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a Changing World* UK April.
- [21] Sarbu, I., Pacurar, C., 2015. Experimental And Numerical Research To Assess Indoor Environment Quality And Schoolwork Performance İn University Classrooms, *Building and Environment* 93 (2015) 141-154

- [22] ISO Standard 7730, 2005. "Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria", International Organisation for Standardisation, Genova.
- [23] Alfano, F. R. A, Palella, B. I., Ranesi, A., Riccio, G., 2016. "Parameters that affect PMV in schools", CLIMA (2016) - proceedings of the 12th REHVA World Congress, volume 10.
- [24] Göksu Ç., 1999. Güneş Kent, Göksu yayınları 3: 88-134.
- [25] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, TÜMAS veri tabanı, <http://tumas.mgm.gov.tr/wps/portal/> (Erişim Tarihi: 07.12.2016).
- [26] Trakya Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (TÜBAP), 2014. "Eğitim Yapılarında İç Ortam Konfor Şartlarının Araştırılması (2014-102). Edirne 2016.
- [27] Gilani, H.I.S., Khan, H.M., Pao, W., 2015. Thermal comfort Analysis of PMV model Prediction in Air conditioned and Naturally Ventilated Buildings, Energy Procedia 75 (2015) 1373-1379.
- [28] Sarbu, I., Pacurar, C., 2015. Experimental and Numerical Research to Assess Indoor Environment Quality and Schoolwork Performance In University Classroom, Building and Environment 93 (2015) 141-154.
- [29] Ruppia, R. F., Vásquez, N. G., Lamberts, R., 2015. A Review Of Human Thermal Comfort In The Built Environment, Energy and Buildings 105 (2015), 178-205.