

BİR EĞİTİM BİNASINDA ISIL KONFOR KOŞULLARININ ANALİZİ: İZMİR'DE BİR ALAN ÇALIŞMASI

*Gülben ÇALIŞ**
*Merve KURU***
*Berna ALT****

Alınma: 08.04.2016; düzeltme: 12.05.2017; kabul: 21.06.2017

Öz: Bu çalışma, bir eğitim binasında algılanan ve hesaplanan ısı konfor koşulları arasındaki farkı soğutma ve ısıtma dönemleri için incelemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, ısı konfor koşulları ve kullanıcı memnuniyeti, dört derslikte gerçekleştirilen deneysel ölçümler ve anket çalışması ile belirlenmiştir. İç ortam koşulları yerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilmiş ve ortalama tahmini oy (PMV) ve memnuniyetsizlerin tahmini yüzdesi (PPD) değerlerinin hesaplanması için kullanılmıştır. Eş zamanlı gerçekleştirilen anket sonuçları, gerçek ortalama oy (AMV) değerlerinin hesaplanması yanında kullanıcı tercih ve kabul edilebilirlik düzeylerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Değerlendirmelerde ASHRAE Standart 55-2013 ve ISO 7730 dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, soğutma ve ısıtma dönemlerinde algılanan ısı konforunun hesaplanan ısı konfordan fazla olduğu ortaya çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Isıl konfor, Eğitim binaları, PMV, AMV

Analysis of Thermal Comfort Conditions in an Educational Building: A Case Study in Izmir

Abstract: This study aims at investigating the gap between perceived and calculated thermal comfort conditions in an educational building for cooling and heating seasons. Within this context, thermal comfort conditions and occupants' satisfaction were investigated in four classrooms via field measurements and questionnaires. Indoor environmental conditions were obtained by field measurements and were used to calculate the predicted mean vote (PMV) and the predicted percentage of dissatisfied (PPD) indices. Results of simultaneously conducted surveys were used to calculate the actual mean vote (AMV) as well as to assess occupants' preferences and acceptability. ASHRAE Standard 55-2013 and ISO 7730 were taken into account for evaluation. The results show that perceived thermal comfort is greater than the calculated thermal comfort for the cooling and heating seasons in the classrooms.

Keywords: Thermal comfort, Educational buildings, PMV, AMV

1. GİRİŞ

Isıl konfor, insanların zihninde ısı çevre ile olan memnuniyet ifadesinin oluşması olarak tanımlanmaktadır (ASHRAE Standart 55, 2013). Isıl konfor, üretkenliği ve iş verimini etkileyen önemli etkenlerden biri olmakla beraber özellikle eğitim binalarında ısı konfor koşullarının sağlanması öğrencilerin dikkat, algılama ve öğrenme düzeylerini arttırması açısından oldukça önem taşımaktadır. Isıl konforu etkileyen faktörler temel olarak; çevresel ve kişisel faktörler olarak ikiye ayrılmıştır (McQuiston ve Parker, 1994; Holz vd., 1996, Havenith vd., 2002). Çevresel faktörler iç ortam hava sıcaklığı, bağıl nem, hava akım hızı ve ortalama ışınım

* Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35100 İzmir

** Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35100 İzmir

*** İzmir Büyükşehir Belediyesi, Mezarlıklar Daire Başkanlığı, Bakım-Onarım Şube Müdürlüğü, Yenişehir Mahallesi, 35110 Konak/İzmir

İletişim Yazarı: Gülben Çalış (gulben.calis@ege.edu.tr)

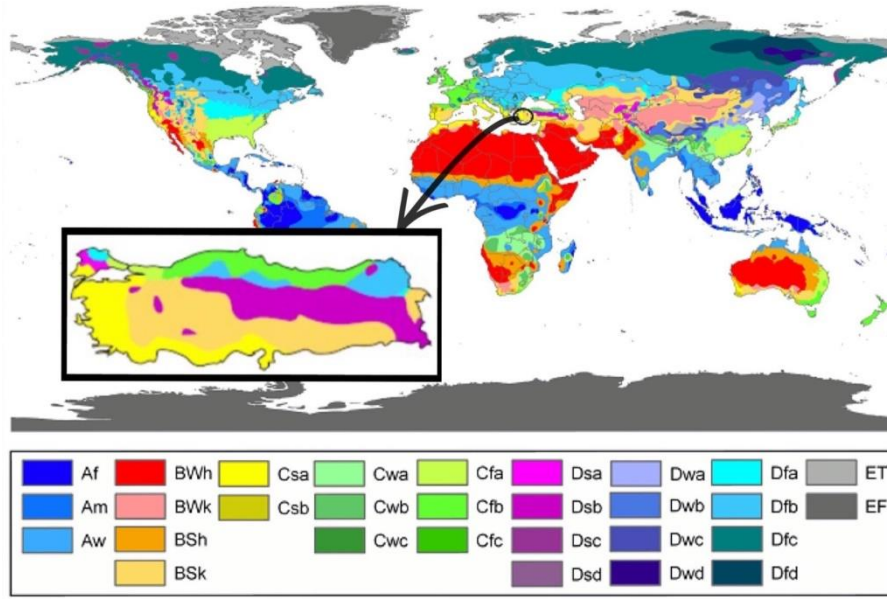
sıcaklığı iken kişisel faktörler, bireyin kıyafet ısı direnci ve aktivite düzeyi olarak ayrılmaktadır. Bir ortamın geniş bir insan topluluğu tarafından ısı açıdan konforlu olarak algılanıp algılanmadığı bu faktörlere bağlı olarak geliştirilen Tahmini Ortalama Oy (PMV) ısı duyumu indisi ile ifade edilmektedir (Fanger, 1970). Bu indis, yedi noktalı ısı duyarlılık ölçeği kullanarak geniş bir popülasyonun ortalama oylarının değerlerini öngören bir indistir. Öngörülen Memnuniyetsizlik Yüzdesi İndisi (PPD) ise PMV indisine bağlı olarak geliştirilen ve ısı konfor koşullarından memnun olmayan kullanıcıların yüzdesini tahmin etmek için kullanılan indistir. Bu indislerin ısı konfor açısından değerlendirilmesinde yaygın olarak ASHRAE Standart 55-2013: 'İnsan kullanımı için ısı çevre koşulları' ve ISO 7730 (2005): 'İlimli ısı çevreler-PMV ve PPD indislerinin ve ısı konfor koşullarının belirlenmesi' standartları kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak, kullanıcılar tarafından algılanan ısı konfor koşullarının incelenmesi için Gerçek Ortalama Oy (AMV) ve Memnuniyetsizlerin Gerçek Yüzdesi (APD) indisleri kullanılmaktadır. İlgili indislerin hesaplanması için ölçümlerle eş zamanlı olarak uygulanan anket sonuçlarından yararlanılmakta ve böylece subjektif değerlendirmeler ile ortam ölçümleri ilişkilendirilebilmektedir.

Eğitim binalarında ısı konfor ile ilgili yapılan çalışmalarda, PMV/PPD değerleri ile anket çalışmalarına sıkça rastlanılmaktadır. Öğrencilerin ısı konfor algısını etkileyen parametreleri ortaya koymak için Tayvan'da gerçekleştirilen bir çalışmada (Hwang vd., 2006), iç ortam hava sıcaklığı, hava akım hızı ve ortalama ışınım sıcaklıklarının algıyı önemli derecede etkilediği buna karşın bağıl nem oranının istatistiksel olarak önemli bir fark yaratmadığını ortaya konulmuştur. Çin'in Chongqing şehrindeki bir eğitim binasında yürütülen çalışma (Yao vd., 2010), ASHRAE Standart 55'de belirtilen konfor aralığının çalışmanın gerçekleştirildiği şehir için uygun olmadığını göstermiştir. Bunun yanında, sıcak ve nemli bir iklim bölgesinde bulunan bir eğitim binasında gerçekleştirilen çalışma (Appah ve Koranteng, 2012), bu iklime sahip bölgelerde yaşayan kullanıcıların, ASHRAE Standart 55'de önerilen sıcaklıklardan daha yüksek sıcaklıklarda da konforlu olabildiklerini ortaya koymuştur. İtalya (Alfano vd., 2013) ve Portekiz'de (Pereira vd., 2014) eğitim binalarında yapılan çalışmalar, bu bölgelerde yaşayan kullanıcıların ISO 7730'da belirtilen kabul edilebilir konfor bölgesinin ötesinde sıcaklık aralıklarını kabul edilebildiklerini ortaya koymaktadır. Tropik iklimde yapılmış bir çalışmada (Wong and Khoo, 2003), iç ortam koşullarına ilişkin parametrelerin hiç birinin ASHRAE Standart 55'de belirtilen konfor aralığında olmadığını ancak öğrencilerin buldukları ortamı kabul edilebilir olarak değerlendirdiklerini ortaya koymakta ve tropikal iklim bölgeleri için ASHRAE Standart 55'in uygulanabilir olmadığını belirtmektedir. Yapılan çalışmalar, eğitim binalarında ısı konfor algısının bulunulan iklim özelliklerine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Bununla birlikte yapılan çalışmalarının çoğunluğunun sıcak ve nemli iklim bölgelerine yoğunlaştığı görülmekte ve Akdeniz iklimine sahip bölgelerde bu tür çalışmalara ihtiyaç olduğu dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada Akdeniz iklim bölgesinde bulunan bir üniversite binasındaki dersliklerin Fanger yöntemi ile ısı konfor açısından objektif ve uygulanan anketlerle subjektif olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada sırasıyla alan çalışması yapılan eğitim binası tanıtılmakta, çalışmanın yöntemi açıklanmakta, elde edilen bulgular incelenmekte ve sonuçlar aktarılmaktadır.

2. ALAN TANITIMI

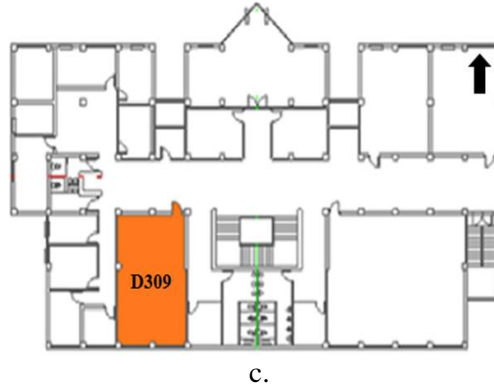
Bu çalışma, İzmir ilinde bulunan Ege Üniversitesi Kampüsü'ndeki İnşaat Mühendisliği Bölümü eğitim binasında gerçekleştirilmiştir. Tüm dünyada yaygın olarak kullanılan Köppen iklim sınıflandırmasına göre İzmir ilinin, C iklim kuşağı ve Csa- Akdeniz iklim tipinde bulunduğu görülmektedir (Şekil 1). Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık olan bölgede, ısı konfor koşullarının sağlanması özellikle soğutma döneminde büyük önem taşımaktadır.



Şekil 1:
Köppen iklim sınıflandırması
(https://en.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6ppen_climate_classification)

İncelenen binada ısıtma ve soğutma, merkezi sistem aracılığı ile gerçekleştirilmekte olup, fan-coil (doğal gaz) kullanılmaktadır. Aktif olarak ısıtma/soğutma yapılan zaman aralıkları ise Pazartesi - Cuma günleri, saat 08:00-18:00 arası ve kesintisizdir. Bina kabuğu bileşenleri incelendiğinde, dış duvarların bimsblok ve betonarme perdelerden oluştuğu görülmektedir. Binanın dış duvarlarında yalıtım bulunmamakta sadece teras çatıda 6 cm'lik XPS ısı yalıtımı bulunmaktadır. Binanın pencereleri yalıtımsız alüminyum doğramalardan üretilmiş ve saydam yüzeylerde çift cam (4+12+4) kullanılmıştır. Çalışma için farklı katlarda, güney cephede yer alan 4 farklı derslik seçilmiştir. Seçilen D104 ve D204 dersliklerinin taban alanı 136,63 m² ve öğrenci kapasitesi yaklaşık 70-80 kişidir; D209 ve D309 dersliklerinin taban alanı 70,4 m² ve öğrenci kapasitesi yaklaşık 50-60 kişidir. Dersliklerin bulunduğu güney cephesinde pencere/dış duvar alanı % 52,95'dir. Dersliklerin bulunduğu katlara ait planlar Şekil 2'de görülmektedir.





c.
Şekil 2:
Kat planları
a. 1. Kat b. 2. Kat c. 3. Kat

3. YÖNTEM

Çalışma kapsamında hesaplanan ve algılanan ısı konfor koşullarının karşılaştırılması için öncelikle ısı konforu etkileyen çevresel faktörler deneysel çalışmalarla ölçülerek elde edilmiş ve elde edilen sonuçlara göre PMV/ PPD indisleri hesaplanmış ve eş zamanlı olarak uygulanan anketlerin sonucunda AMV/ APD indisleri hesaplanmıştır. Bu bölümde yöntemlerin açıklaması sunulmaktadır.

3.1. Çevresel Parametrelerin Ölçümü

Çalışma kapsamında dört farklı derslikte ısıtma ve soğutma dönemlerinde toplam 8 adet ölçüm yapılmıştır. Soğutma dönemine ait ölçümler Haziran ve Temmuz aylarında; ısıtma dönemine ait ölçümler ise Aralık ve Ocak aylarında gerçekleştirilmiştir. İç ortam hava sıcaklığı, bağıl nem ve hava akım hızı, 45 dakika boyunca 5'er dakika aralıklarla TESTO Termo-Anemometre Model 435-2 yardımıyla ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Ölçümler, ASHRAE Standart 55-2013'de önerildiği gibi ölçüm sistemi yerden 1,1 m yükseklikte ve dersliğin geometrik olarak orta noktasına kurularak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sırasında pencere ve kapıların kapalı tutulduğu gözlemlenmiştir. Ortalama ışınım sıcaklığının (T_r , °C) elde edilmesinde Nagano (Nagano ve Mochida, 2004) tarafından geliştirilen ve iç ortam hava sıcaklığına (T_a , °C) bağlı olan (1) denklemi kullanılmıştır.

$$T_r = 0.99 \times T_a - 0.01 \quad (1)$$

Ortalama ışınım sıcaklık verileri de her 5 dakikalık iç ortam hava sıcaklığı verileri için hesaplanmıştır. Ayrıca, PMV ve PPD indislerinin hesaplanmasında yukarıda sayılanlar dışında gerekli olan operatif sıcaklık (T_o , °C), ASHRAE Standart 55-2013'de yer alan; iç ortam hava sıcaklığına (T_a , °C) ve ortalama ışınım sıcaklığına (T_r , °C) bağlı olan (2) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T_o = A \times T_a + (1 - A) \times T_r \quad (2)$$

Denklemdaki A, hava akım hızına (V_r) bağlı bir sabit olup ASHRAE Standart 55-2013'de yer alan değerlerden yararlanılmıştır. Buna göre $V_r < 0,2$; $0,2 < V_r < 0,6$ ve $0,6 < V_r < 1,0$ ölçüm değerlerine göre A değeri sırasıyla 0,5; 0,6 ve 0,7 olarak hesaplamaya dahil edilmiştir. Ayrıca, ölçülen parametreler ASHRAE Standart 55-2013 ve ISO 7730'da derslikler için ısıtma ve soğutma dönemlerinde önerilen aralıklar (Tablo 1) dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Ölçülen parametreler için standartlarda önerilen değerler

Standart	Soğutma dönemi		Isıtma dönemi	
	ASHRAE Standart 55	ISO 7730	ASHRAE Standart 55	ISO 7730
İç ortam hava sıcaklığı (°C)	22-24	20-24	22-24	20-24
Hava Akım Hızı (m/s)	-	0,19	-	0,16
Bağıl Nem (%)	40-60	30-70	40-60	30-70
Operatif Sıcaklık (°C)	-	24,5±1,5	-	22±2,0

PMV ve PPD indisleri hesaplanırken ASHRAE Standart 55-2013 ile beraber kullanılan ‘CBE (Center for the Built Environment) Thermal Comfort Tool- CBE Isıl Konfor Hesaplama Aracı’ kullanılmıştır (<http://comfort.cbe.berkeley.edu/>). Değerlendirmede, ASHRAE Standart 55-2013 ve ISO 7730’da belirten PMV’nin (-0,5) ile (+0,5) aralığında olduğu (PPD’nin %10’dan az olduğu) ortamlar ısıdan konforlu olarak kabul edilmiştir.

3.2. Anket Çalışması

Anket çalışmasında öğrencilerin ortam koşullarıyla ilgili ısı duyarlılık, tercih ve kabul edilebilirlik düzeylerini anlamaya yönelik sorulara yer verilmiştir. Soğutma döneminde ölçümler sırasında D104’de 43, D204’de 40, D209’da 30 ve D309’da 27 kullanıcı mevcut olup toplam 140, ısıtma döneminde ise D104’de 50, D204’de 52, D209’da 42 ve D309’da 43 kullanıcı mevcut olup 187 adet anket yapılmıştır. Soruların hepsine cevap verilmediği ve/veya birden fazla seçeneğin işaretlendiği anketler değerlendirme dışı bırakılmıştır. Sonuç olarak, soğutma döneminde 131, ısıtma döneminde 183 adet olmak üzere toplamda 314 adet anket değerlendirmeye alınmıştır. Sorular, Fanger’in 7 noktalı ısıl duyum ölçeğine göre hazırlanmış (Tablo 2) ve elde edilen yanıtların ağırlıklı ortalaması hesaplanarak AMV değerleri elde edilmiştir. Bu ölçekte (-2), (-3), (+2) ve (+3) seçeneklerini tercih eden öğrencilerin yüzdelerinin toplamı da APD değerinin elde edilmesinde kullanılmıştır (Yao vd., 2010).

Tablo 2. Fanger 7 noktalı ısı duyarlılık ölçeği

Soğuk	Serin	Hafif serin	Nötr	Hafif ılık	Ilık	Sıcak
(-3)	(-2)	(-1)	(0)	(+1)	(+2)	(+3)

Ölçümler ders sırasında, bir başka deyişle tüm öğrencilerin oturduğu ve yazı yazdıkları sırada gerçekleştiğinden dolayı, aktivite seviyeleri ASHRAE Standart 55-2013’e göre hem soğutma hem de ısıtma dönemi için 1,0 met olarak alınmıştır. Ayrıca, PMV ve PPD hesaplamalarında gerekli olan kıyafet ısı dirençleri de anket aracılığıyla belirlenmiştir. Kadın ve erkek öğrenciler için ayrı hesaplanan kıyafet ısı direnci, soğutma döneminde kadınlar için 0,43 clo, erkekler için 0,48 clo; ısıtma döneminde ise kadınlar için 0,75 clo, erkekler için 0,84 clo olarak bulunmuştur. Bununla birlikte ısıtma dönemine ait değerler 0,5 ile 1,2 clo arasında olduğu için ASHRAE Standart 55-2013’de önerildiği üzere hesaplanan değerlere oturan ahşap sandalyeden kaynaklı 0,01 clo yalıtım değeri eklenmiştir. Dolayısıyla, ısıtma dönemine ait kıyafet ısı dirençleri kadınlar ve erkekler için sırasıyla, 0,76 ve 0,85 clo olarak elde edilmiştir. Daha sonra bu değerlerler kullanılarak her bir ölçüm sırasındaki kadın ve erkek öğrenci sayısına göre ağırlıklı ortalama alınmış ve her ölçüme ait kıyafet ısı dirençleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, soğutma dönemine ait tüm ölçümler için kıyafet ısı direnci 0,47 clo; ısıtma dönemine ait tüm ölçümler için 0,83 clo olarak elde edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Çevresel Parametrelerin İncelenmesi

Soğutma ve ısıtma döneminde gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen ortam hava koşullarına ait verilerin istatistiksel analizleri Tablo 3’de sunulmuştur.

Tablo 3. Soğutma ve ısıtma dönemi için ortam koşullarının istatistiksel analizi

	Soğutma Dönemi				Isıtma Dönemi			
	D104	D204	D209	D309	D104	D204	D209	D309
İç Ortam Hava Sıcaklığı (°C)								
Ortalama	30,17	29,84	27,29	29,41	26,20	27,04	25,51	25,31
STS	0,21	0,33	0,32	0,13	0,71	0,29	0,96	0,75
Minimum	29,80	29,10	27,00	29,30	25,30	26,60	24,10	24,20
Maksimum	30,40	30,00	27,90	29,60	27,00	27,30	26,50	26,10
Bağıl Nem(%)								
Ortalama	40,44	41,80	48,23	43,47	41,07	40,94	27,93	34,46
STS	0,54	0,79	0,46	0,40	1,17	0,91	3,17	0,34
Minimum	39,70	40,80	47,60	42,90	39,80	39,60	23,40	34,10
Maksimum	41,30	43,30	48,80	44,00	42,70	42,20	32,20	35,00
Hava Akım Hızı (m/sn)								
Ortalama	0,02	0,02	0,16	0,04	0,03	0,01	0,08	0,03
STS	0,02	0,01	0,09	0,02	0,04	0,01	0,08	0,04
Minimum	0,01	0,01	0,03	0,01	0	0	0,01	0
Maksimum	0,05	0,04	0,26	0,07	0,11	0,04	0,23	0,11
Ortalama Işınım Sıcaklığı (°C)								
Ortalama	29,86	29,53	27,61	29,11	26,93	26,76	25,25	25,05
STS	0,21	0,33	0,32	0,13	0,70	0,28	0,95	0,74
Minimum	29,49	28,80	26,72	29,00	25,04	26,32	23,85	23,95
Maksimum	30,09	29,69	27,61	29,29	26,72	27,02	26,23	25,83
Operatif Sıcaklık (°C)								
Ortalama	30,02	29,69	27,14	29,26	26,06	26,90	25,38	25,18
STS	0,21	0,33	0,32	0,13	0,70	0,29	0,96	0,75
Minimum	29,65	28,95	26,86	29,15	25,17	26,46	23,97	24,07
Maksimum	30,24	29,85	27,76	29,45	26,86	27,16	26,36	25,96
Dış Hava Sıcaklığı (°C)								
Maksimum	33	32	36	34	22	19	14	13

Soğutma dönemine ait ölçüm sonuçları incelendiğinde, ortalama olarak en yüksek iç ortam hava sıcaklığının D104 dersliğinde elde edildiği görülmektedir. Bununla birlikte kaydedilen minimum sıcaklıkların ASHRAE Standart 55-2013’de önerilen 22-24°C ve ISO 7730’da önerilen 20-24°C sıcaklık aralıklarını aştığı görülmektedir. Ortalama olarak en yüksek bağıl nem ise D209 dersliğinde elde edilmiştir. Tüm dersliklerde kaydedilen ortalama bağıl nem değerleri incelendiğinde, ölçümlerin ASHRAE Standart 55-2013’de önerilen %40-%60 ve ISO 7730’da önerilen %30-%70 aralığında olduğu görülmektedir. Hava akım hızlarının ise genelde 0,1 m/s’nin altında olduğu ve ortalama en yüksek değer D209 dersliğinde 0,16 m/s olarak kaydedildiği görülmektedir. ISO 7730’da soğutma dönemi için dersliklerde 0,19 m/s hava akım hızı önerildiği dikkate alındığında, dersliklerin standartlara uygun hava akım hızına sahip olmadığı görülmektedir. En yüksek ortalama ışınım sıcaklığı, en yüksek iç ortam hava sıcaklığının gözlemlendiği D104 dersliğinde elde edilmiştir. Tüm dersliklerde elde edilen

operatif sıcaklık değerlerinin ise ISO 7730'da dersliklerde soğutma dönemi için önerilen $24,5^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ aralığını aştığı görülmektedir.

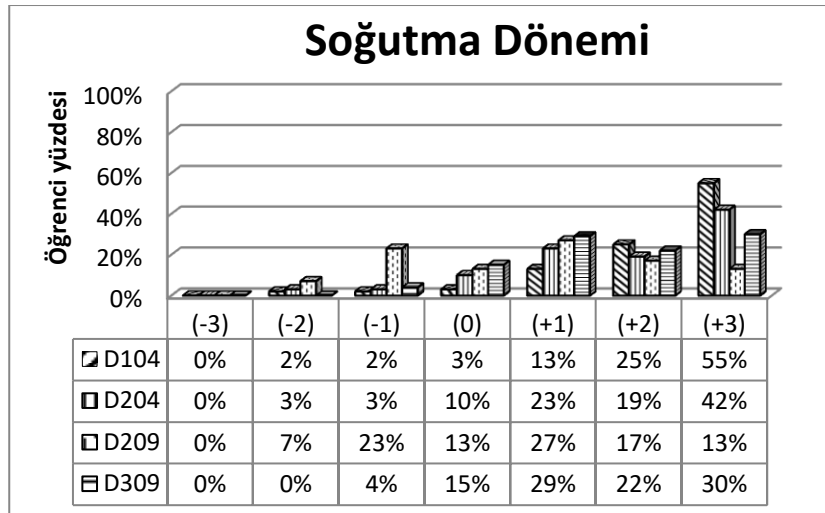
Isıtma döneminde kaydedilen bütün iç ortam hava sıcaklıklarının ASHRAE Standart 55-2013'de önerilen $22-24^{\circ}\text{C}$ ve ISO 7730'da önerilen $20-24^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralıklarını aştığı görülmektedir. Bu sonuca, merkezi sistemin kesintisiz çalıştırılmasının bir başka deyişle dersliklerin kullanılmadığı zamanlarda bile ısıtılmasının neden olduğu söylenebilir. Ayrıca, Ölçüm yapılan dersliklerin güney cephesinde olması, iç yüzey sıcaklıklarının yüksek olmasına ve dolayısıyla ısıtma olan dönem için iç hava sıcaklığı üzerinde olumlu bir etki oluşmasına yol açmış olabilir. En düşük ortalama bağıl nem $\%27,93$ ile D209 dersliğinde gözlemlenmiş ve bu değer ASHRAE Standart 55-2013 ($\%40-\%60$) ve ISO 7730'da önerilen ($\%30-\%70$) aralıkların dışında kaldığı görülmektedir. Diğer dersliklerdeki ortalama bağıl nem değerleri incelendiğinde, değerlerin ISO 7730'da önerilen aralıkta ($\%30-\%70$) olduğu görülmektedir. ASHRAE Standart 55-2013 dikkate alındığında ise D209 dersliğinin yanında ortalama bağıl nem değerinin $\%34,46$ olarak ölçüldüğü D309 dersliğinde de standardın sağlanmadığı görülmektedir. En yüksek ortalama hava akım hızının $0,08$ m/s ile D209 dersliğinde elde edildiği ancak bu değer ISO 7730'da ısıtma dönemi için dersliklerde önerilen $0,16$ m/s'nin altında olduğu görülmektedir. Ortalama operatif sıcaklık değerleri incelendiğinde, ISO 7730'da ısıtma periyodu için önerilen $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ aralığının aşıldığı görülmektedir.

4.2. Anketlerin Değerlendirilmesi ve Analizi

Çalışma kapsamında dört farklı sınıfta gerçekleştirilen anketlerin sonuçları soğutma ve ısıtma dönemi şeklinde ayrılarak analiz edilmiştir. Öncelikle ısı duyarlılık analizi yapılmış daha sonra ise sırasıyla ısı tercih analizi ve ısı kabul edilebilirlik analizleri yapılmıştır.

4.2.1. Soğutma Dönemi

Soğutma dönemi için elde edilen ısı duyarlılık analizleri Şekil 3'de gösterilmektedir.

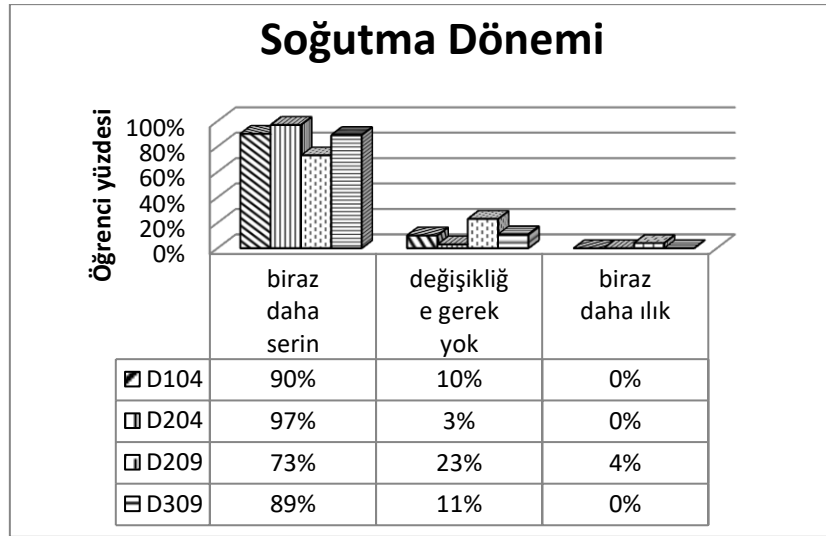


Şekil 3:
Soğutma dönemi için ısı duyarlılık analizi

Sonuçlar incelendiğinde, D209 dışındaki dersliklerde öğrencilerin büyük çoğunluğu ortamı sıcak (+3) olarak değerlendirmiş olup, yüzdenin en fazla olduğu derslik, iç ortam hava sıcaklığının en yüksek olduğu ($30,17^{\circ}\text{C}$) D104'tür. D209 dersliğinde ise öğrencilerin sadece $\%13$ 'ü ortamı sıcak (+3) olarak değerlendirirken $\%23$ 'ün hafif serin (-1), $\%7$ 'sinin serin (-2)

olarak değerlendirdiği dikkat çekmektedir. Bunun nedeni olarak, en düşük ortalama iç ortam hava sıcaklığının (27,29°C) ve en fazla hava akım hızının (0,16 m/s) D209 dersliğinde gözlemlenmesi gösterilebilir. Bunun yanında, söz konusu dersliklerde kaydedilen iç ortam hava sıcaklıklarının hem ASHRAE Standart 55-2013 hem de ISO 7730’da önerilen en yüksek iç ortam hava sıcaklığı olan 24°C’den fazla olmasına rağmen ortamı “serin” ve “hafif serin” olarak algılayan öğrencilerin bulunmasının nedeni olarak bu öğrencilerin soğutma sistemine yakın oturmuş ve dolayısıyla hava akımını daha fazla hissetmiş olabilecekları söylenebilir.

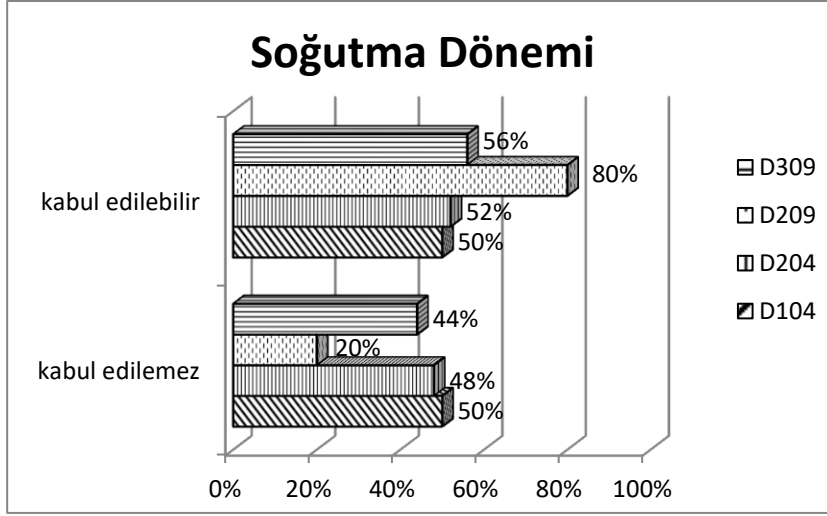
Soğutma dönemi için öğrencilerin ısı tercihlerine ait analizleri Şekil 4’de gösterilmektedir. Tüm dersliklerde öğrencilerin büyük çoğunluğu ortamın biraz daha serin olmasını tercih edeceklerini belirtirken, D209 dersliğinde ortamın daha ılık olmasını tercih ettiklerini söyleyen öğrenciler bulunmaktadır. Bunun yanında, ortamda ısı açıdan değişikliğe gerek olmadığını belirten öğrenci yüzdesi de en fazla D209 dersliğindedir. Bu farklılığın, D 209 dersliğinde diğer dersliklere göre iç ortam hava sıcaklığının daha düşük ve hava akım hızının daha yüksek olmasına bağlı olduğu söylenebilir. Isıl duyarlılık ile ısı tercih sorularına verilen cevaplar birlikte değerlendirildiğinde ise, D104, D209 ve D309 dersliklerinde ortamı hafif serin olarak değerlendiren öğrencilerin tümünün ortamda değişikliğe ihtiyaç duymadıkları belirlenmiştir. Diğer yandan D204 dersliğinde ortamı hafif serin ve konforlu olarak nitelendiren öğrenciler de dâhil diğer tüm öğrenciler ortamın biraz daha serin olmasını tercih edeceklerini belirtmişlerdir. Sonuçlar, öğrencilerin ısı duyarlılıkları ile ısı tercihlerinin uyum göstermeyebileceğini ve ortamı “konforlu”, “hafif serin” hatta “serin” olarak değerlendirdiklerinde bile ısı tercihlerinin “daha serin” olabileceğini göstermektedir.



Şekil 4:
Soğutma dönemi için ısı tercih analizi

Soğutma dönemi için ısı kabul edilebilirlik analizleri Şekil 5’de gösterilmektedir. En fazla kabul edilemezlik yüzdesi %50 ile D104’de elde edilmiş olup, ortamı “sıcak” olarak değerlendiren öğrencilerin yüzdesinin de en fazla bu derslikte olması, D104 dersliği için kabul edilebilirlik ve ısı duyarlılık sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Diğer dersliklerde de benzer şekilde ortamı kabul edilebilirlik ve ısı duyarlılık sonuçlarının aynı sıralamaya sahip olduğu görülmektedir. Buna karşın, ısı tercih ve kabul edilebilirlik arasında benzer bir ilişki kurulamamaktadır. Örneğin, D209 dersliğinde öğrencilerin %73’ü ortamın daha serin olmasını istemesine rağmen kabul edilebilirlik oranı %80’dir. Kabul edilebilirlik yüzdeleri ile APD değerleri karşılaştırıldığında ise tüm dersliklerde ortamı ısı açıdan kabul edilemez olarak nitelendiren öğrencilerin yüzdesinin o dersliklere ait hesaplanmış APD değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise APD değerlerinin hesaplanmasında kabul

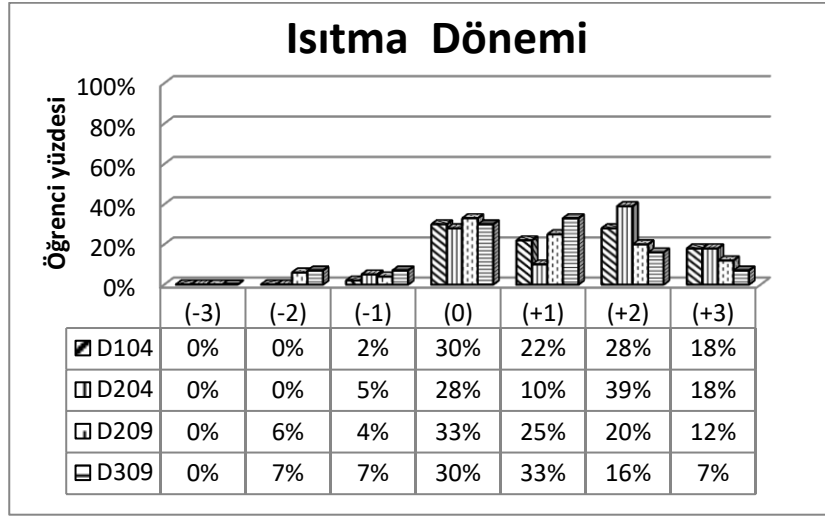
edilebilirlik oranının ortami “ılık/sıcak” ve “soğuk/serin” olarak değerlendirenlerin toplamının dikkate alınması olduğu söylenebilir.



Şekil 5:
Soğutma dönemi için ısı kabul edilebilirlik analizi

4.2.2. Isıtma Dönemi

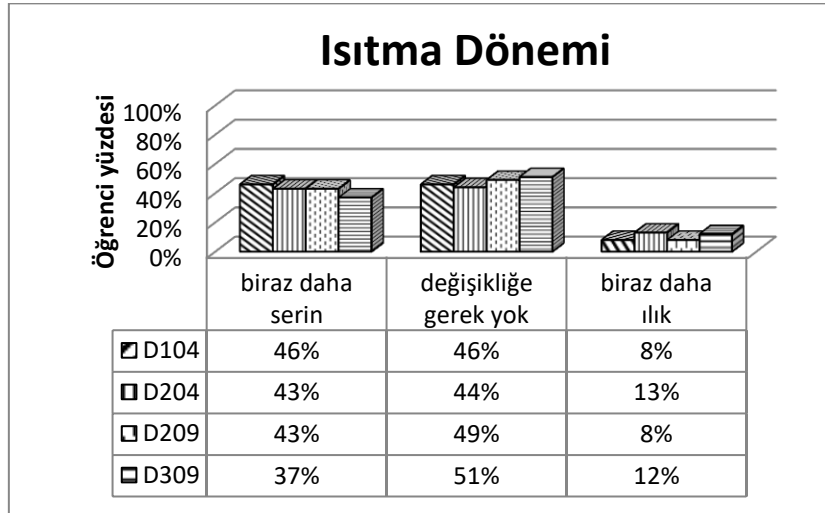
Isıtma dönemi için ısı duyarlılık analizleri Şekil 6’da gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, öğrencilerin büyük çoğunluğunun derslikleri ısı açısından konforlu (0), hafif ılık (+1) veya ılık (+2) olarak nitelendirdiği görülmektedir. Ortami ılık ve “sıcak” olarak nitelendiren öğrenci yüzdesi en fazla D204’de olup (%57), iç ortam hava sıcaklığının ortalama olarak en yüksek bu derslikte (27,04°C) gözlemlenmiş olması ile paralellik göstermektedir. Buna karşın, D209 ve D309 dersliklerinde sırasıyla %6 ve %7 oranında ortami “serin” olarak değerlendiren öğrenciler olduğu dikkat çekmektedir. Bunun nedeninin bu kullanıcıların pencere ve dış duvara yakın oturmuş olabilecekleri ve dolayısıyla iç ortam koşullarındaki algılarının duvarlardan ve pencerelerden olan ısı kaçakları nedeniyle değişmiş olabileceği söylenebilir. Oysa ki, belirtilen dersliklerdeki ortam ölçümleri incelendiğinde ASHRAE Standart 55-2013 ve ISO 7730’da önerilen en yüksek iç ortam hava sıcaklığı olan 24°C’den yüksek iç ortam hava sıcaklıklarının kaydedildiği görülmektedir. Bunun yanında hava akım hızlarının da düşük olması ısı duyarlılık sonuçlarında “serin” nitelendirmesine hava akım hızlarının neden olarak gösterilmesini engellemektedir. Buna karşın, D209 ve D309 dersliklerinde kaydedilen bağıl nem oranlarının standartlarda önerilen değerlerin altında ya da alt sınırında olduğu ve dolayısıyla bağıl nem oranlarının ısıtma döneminde düşük olmasının ısı duyarlılığı etkilediği söylenebilir. Benzer şekilde D104 dersliğinde iç ortam hava sıcaklığının D204 dersliğinden düşük olmasına karşın, bağıl nem oranının fazla olması, iki derslikte ortami “sıcak” olarak değerlendiren öğrencilerin yüzdelerinin aynı (%18) olmasına neden olmuş olabilir.



Şekil 6:

Isıtma dönemi için ısıl duyarlılık analizi

Isıtma döneminde öğrencilerin ısıl tercihlerine ait analiz sonuçları Şekil 7’de gösterilmektedir. Soğutma döneminden farklı olarak, ortamın biraz daha serin olmasını tercih eden öğrenci yüzdesi ile ortamda ısıl açıdan herhangi bir değişiklik istemeyen öğrenci yüzdesi birbirine yakındır. Isıl duyarlılık ile ısıl tercih sorularına verilen cevaplar birlikte değerlendirildiğinde ise, bütün dersliklerde ısıl duyarlılık soruna “sıcak” diyen öğrencilerin tamamı ortamın “daha serin” olmasını tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Bunun yanında D104, D209, D309 dersliklerinde “ılık” cevabı veren öğrencilerin tamamı ile D204 dersliğinde “ılık” değerlendirmesi yapan öğrencilerin %54’ünün de “daha serin” bir ortamı tercih ettikleri görülmektedir. Sonuçlar, öğrencilerin ısıl duyarlılıkları ile ısıl tercihlerin uyumlu olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, D209 ve D309 dersliklerinde de ortamı “serin” olarak nitelendirenlerin tamamı ortamın “daha ılık” olmasını istediğini belirtmişlerdir.

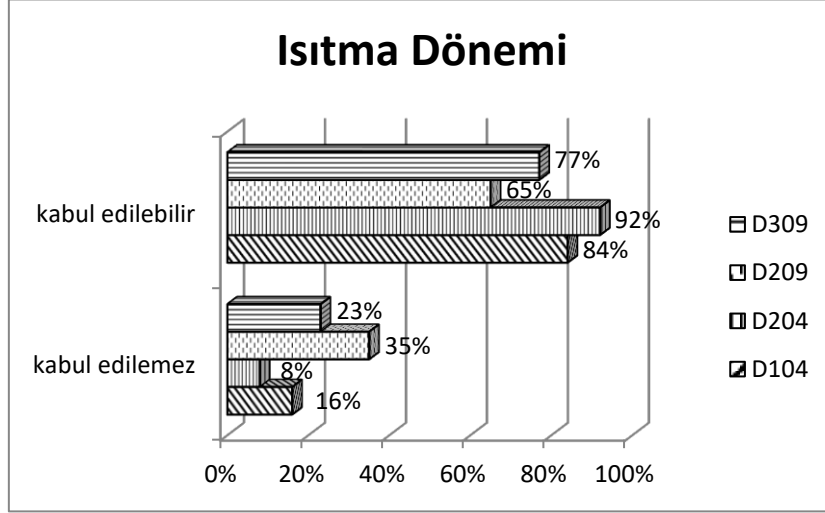


Şekil 7:

Isıtma dönemine için ısıl tercih analizi

Soğutma döneminde öğrencilerin dersliklerdeki ısıl ortamı kabul edilebilirliklerine ait analiz sonuçları Şekil 8’de gösterilmektedir. Sonuçlar, en yüksek kabul edilebilirlik oranının D204 dersliğinde, en düşük oranın ise D209 dersliğinde olduğu görülmektedir. Kabul edilemezlik yüzdelерinin soğutma dönemine oranla oldukça düşük olduğu dikkat çekmektedir.

Bu sonucun ısıtma döneminde ortamı çok soğuk (-3) olarak değerlendiren öğrenci bulunmamasına karşın, soğutma döneminde ortamı çok sıcak (+3) olarak değerlendiren öğrenci yüzdesinin çok fazla olmasına bağlı olduğu söylenebilir. Kabul edilebilirlik yüzdeleri ile APD değerleri karşılaştırıldığında ise tüm dersliklerde ortamı ısıtma açısından kabul edilemez olarak nitelendiren öğrencilerin yüzdesinin o dersliklere ait hesaplanmış APD değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise APD değerlerinin hesaplanmasında kabul edilebilirlik oranının ortamı “ılık/sıcak” ve “soğuk/serin” olarak değerlendirenlerin toplamının dikkate alınması olduğu söylenebilir.

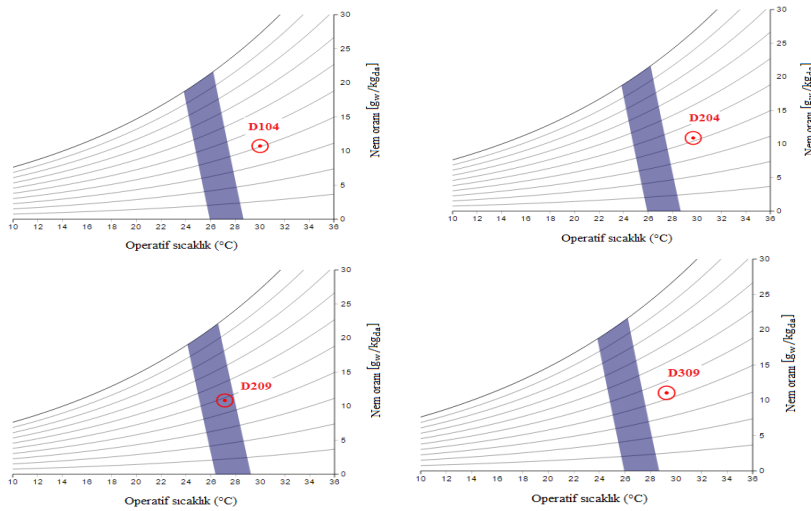


Şekil 8:

Isıtma dönemi için ısıtma kabul edilebilirlik analizi

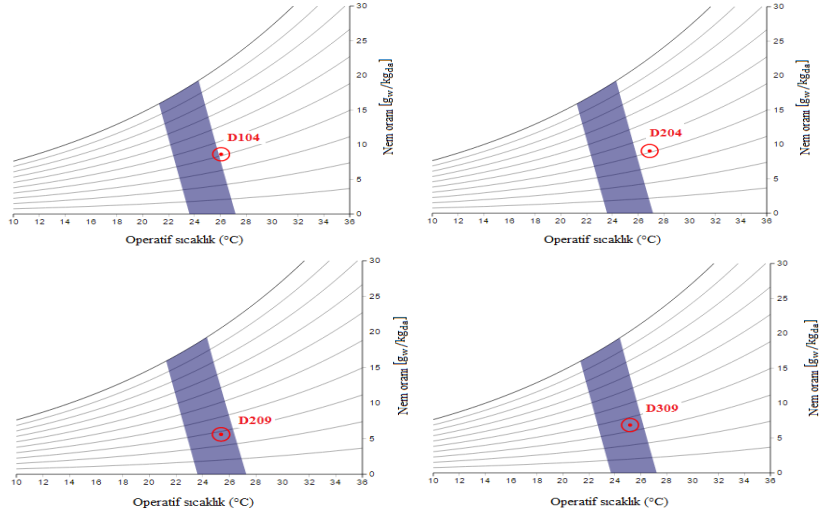
4.3. PMV/PPD Değerleri ile Anket Sonuçlarının Karşılaştırılması

ASHRAE Standart 55-2013 ve ISO 7730’da Fanger yedi noktalı ısıtma duyarlılık ölçeğine göre PMV değerinin (-0,5) ve (+0,5) aralığında olduğu ortamlar ısıtma açısından konforlu olarak tanımlanmaktadır. Operatif sıcaklık ve bağıl nem oranlarına bağlı psikometrik diyagramlar ve konfor aralıkları soğutma ve ısıtma dönemi için sırasıyla, Şekil 9 ve Şekil 10’da gösterilmektedir.



Şekil 9:

Soğutma dönemi için psikometrik diyagramlar



Şekil 10:

Isıtma dönemi için psikometrik diyagramlar

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçların karşılaştırması Tablo 4’de sunulmuştur. Ortalama PMV değerleri incelendiğinde, soğutma döneminde sadece D209; ısıtma döneminde ise D209 ve D309 derslikleri için standartlarda önerilen değer aralıklarının sağlandığı bir başka deyişle ortamın ısı açıdan konforlu olduğu görülmektedir. Standartın sağlanamadığı dersliklerde hem soğutma hem de ısıtma dönemlerinde ortam koşullarının Fanger yedi noktalı ısıl duyarlılık ölçeğinde hafif ılığa karşılık geldiği görülmektedir. Soğutma döneminde ölçüm yapılan dersliklerin hepsinde algılanan ısıl konforun (AMV) ortam için öngörülen ısıl konfordan (PMV) yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Örneğin, D104, D204 ve D309 dersliklerinde yapılan anketlere göre ortamın öğrenciler tarafından “ılık” olarak değerlendirildiği ancak ortam ölçümlerine dayalı olarak hesaplanan değer karşılığının “hafif ılık” olduğu görülmektedir. Isıtma dönemine ait sonuçlar incelendiğinde en yüksek AMV değerlerinin D104 ve D204 dersliklerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edildiği görülmektedir. Sözü edilen iki testte hesaplanan ve algılanan ısıl konfor bölgesi aynı olmakla birlikte algılanan ısıl konforu belirleyen AMV indisinin PMV indisinden daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Tüm sonuçlara bakıldığında, hiçbir derslikte algılanan ısıl konfor, hesaplanan ısıl konfordan düşük çıkmamış olup bu durum incelenen binada öğrencilerin ortamı olduğundan sıcak hissettiklerini göstermektedir.

Tablo 4. Soğutma ve ısıtma dönemine ait AMV/APD ve PMV/PPD değerleri

	AMV	Isıl His	APD (%)	PMV	Isıl His	PPD(%)
Soğutma Dönemi						
D104	2,20	Ilık	87	1,44	Hafif Ilık	47
D204	1,77	Ilık	65	1,33	Hafif ılık	42
D209	0,63	Hafif ılık	13	0,23	Konforlu	6
D309	1,59	Ilık	56	1,18	Hafif ılık	34
Isıtma Dönemi						
D104	1,30	Hafif ılık	40	0,55	Hafif ılık	11
D204	1,31	Hafif ılık	41	0,81	Hafif ılık	19
D209	0,84	Hafif ılık	20	0,23	Konforlu	6
D309	0,77	Hafif ılık	18	0,21	Konforlu	6

5. SONUÇ

Bu çalışmada Akdeniz ikliminde bulunan bir eğitim binasında seçilen dersliklerde iç ortam koşullarının (iç ortam hava sıcaklığı, bağıl nem ve hava akım hızı) ölçümü yapılmış, PMV/PPD indisleri hesaplanarak ASHRAE Standart 55-2013 ve ISO 7730'da önerilen aralıklarına göre uygunluğu incelenmiştir. Eş zamanlı yapılan anketlerden öğrencilerin mevcut iç ortam koşullarındaki ısı duyarlılıkları, ısı tercihleri ve kabul edilebilirlik düzeyleri değerlendirilmiştir. Elde edilen başlıca sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- her iki dönemde de AMV değerlerinin PMV değerlerinden yüksek olduğu,
- anketler sonucu elde edilen kabul edilebilirlik yüzdelerinin APD değerlerinden düşük olduğu ve bunun nedeninin APD değerlerinin hesaplanmasında kabul edilebilirlik oranının ortamı “ılık/sıcak” ve “soğuk/serin” olarak değerlendirenlerin toplamının dikkate alınması olduğu,
- ısıtma döneminde derslikleri konforlu (0) olarak değerlendirenlerin yüzdesinin soğutma dönemine göre fazla olduğu,
- soğutma döneminde ısı duyarlılık sonuçlarının ısı tercih sonuçlarıyla uyumlu olmadığı ancak kabul edilebilirlik sonuçlarıyla uyumlu olduğu söylenebilir.

Ayrıca, standartlardan elde edilen PMV indisleri incelendiğinde her iki dönemde de dersliklerin hafif ılık veya konforlu olduğu görülmektedir. Her iki durum da ortamın ısı konfor açısından kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Buna karşın, ısıtma döneminde bazı öğrencilerin ortamı serin olarak değerlendirmelerinin nedeninin bu öğrencilerin pencere ve dış duvara yakın oturmuş olabilecekleri ve dolayısıyla iç ortam koşullarındaki algılarının duvarlardan ve pencerelerden olan ısı kaçakları nedeniyle değişmiş olabileceği söylenebilir. Aynı zamanda, soğutma döneminde ortamı sıcak değerlendirenlerin yüzdesinin fazla olması pencere ve duvarlardan kaçakların yüksek olduğu şeklinde yorumlanabilir. Sonuçlar, iç mekânın kullanıcılar için ısı olarak konforlu olabilmesi için bina kabuğunda ısı transferine karşı yalıtım yapılması gerektiğine de işaret etmektedir.

Sonuç olarak, ısı konfor koşullarının belirlenmesinde kullanılan PMV ve PPD indislerinin ve standartlardaki önerilen değerlerin Akdeniz iklim bölgesinde bulunan eğitim binalarında öğrencilerin algılarını yansıtmadığı söylenebilir. Farklı iklim bölgelerinde ve farklı kullanım tiplerine sahip binalarda kullanıcıların ısı duyarlılık, tercih ve kabul edilebilirlik düzeylerinin incelenmesinin ve projelendirme aşamasında kullanıcılardan elde edilen sonuçların da dikkate alınmasının önemli olduğu sonuçlarına varılmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Alfano, F.R.d'A., Ianniello, E., Palella, B.I. (2013) PMV-PPD and acceptability in naturally ventilated schools, *Building and Environment*, 67, 129-137. doi:10.1016/j.buildenv.2013.05.013
2. ANSI/ASHRAE Standard 55-2013 (2013) Thermal environmental conditions for human occupancy, ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
3. Appah, D.J. ve Koranteng, C. (2012) A thermal comfort evaluation of a junior high school building in Accra, Ghana, *Journal of Construction Project Management and Innovation*, 2(2), 403-423.
4. Fanger, P.O. (1970) Thermal comfort, *Danish Technical Press*, Copenhagen.
5. Havenith, G., Holmer, I. and Parsons, K. (2002) Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production, *Energy and Buildings*, 34, 581-591. doi:10.1016/S0378-7788(02)00008-7

6. Holz, R., Hourigan, A., Sloop, R., Monkman, P. and Krarti, M. (1997) Effects of Standard Energy Conserving Measures on Thermal Comfort, *Building and Environment*, 32(1), 31–43. doi:10.1016/S0360-1323(96)00025-X
7. Hwang, R., Lin, T. ve Kuo, N. (2006) Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan, *Energy and Buildings*, 38, 53–62. doi:10.1016/j.enbuild.2005.05.001
8. https://en.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6ppen_climate_classification Erişim Tarihi: 10.03.2016, Konu: Köppen iklim sınıflandırması.
9. <http://comfort.cbe.berkeley.edu/> Erişim Tarihi: 02.01.2016, Konu: *Isıl konfor hesaplama aracı*.
10. ISO 7730:2005(E) (2005) Ergonomics of the thermal environment-Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales, Switzerland.
11. McQuiston, F.C. ve Parker, J.D. (1994) Heating, ventilating, and air conditioning analysis and design, *John Wiley & Sons*, New York, 742.
12. Nagano, K. ve Mochida, T. (2004) Experiments on thermal design of ceiling radiant cooling for supine human subjects, *Building and Environment*, 39, 267-275. doi:10.1016/j.buildenv.2003.08.011
13. Pereira, L.D., Raimondo, D., Corgnati, S.P., ve da Silva, M.G. (2014) Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms: methodology and results, *Building and Environment*, 81, 69-80. doi:10.1016/j.buildenv.2014.06.008
14. Wong, N.H. ve Khoo, S.S. (2003), Thermal comfort in classrooms in the tropics, *Energy and Buildings*, 35, 337–351. doi:10.1016/S0378-7788(02)00109-3
15. Yao, R., Liu, j. ve Li, B. (2010) Occupants' adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms, *Applied Energy*, 87, 1015-1022. doi:10.1016/j.apenergy.2009.09.028