

Yükseköğretim sınıflarında iç ortam sıcaklığı ve bağıl nem düzeyinin analizi: Balıkesir Üniversitesi Örneği

Yusuf YILDIZ*

Balıkesir Üniversitesi Mimarlık Fak. Mimarlık Böl., Çağış kampüsü, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 17.09.2020

Kabul Tarihi (Accepted Date): 23.12.2020

Öz

Sınıflarda, öğrencilerin bilgiyi algılamasına ve işlemesine yardımcı olmak için konfor koşullarının sağlanması önemli bir ihtiyaçtır. Bu nedenle yapı fiziği açısından doğru bina ve mekan tasarımları gerekmektedir. Aksi takdirde eğitim binalarında konforsuz iç mekanlar oluşabilir ve gereksiz enerji tüketimi gerçekleşebilir. Bu çalışma, Balıkesir üniversitesinin doğal olarak havalandırılan beş sınıfında iç ortam sıcaklık ve bağıl nem değerlerini kullanarak ısı konforu değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Kullanım içi ve dışı saatler dahil olmak üzere parametreler iki aylık süre boyunca 15 dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Daha sonra bu veriler excel ve spss programları aracılığıyla istatistiksel olarak analiz edilmiş ve uluslararası standartlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sıcaklık değerleri Şubat ayında ısıtma sistemi nedeniyle genellikle 22-25°C aralığında seyretmiştir. Mayıs ayında ise iç ortam sıcaklıkları çoğunlukla 25°C'nin üzerine çıkmıştır. Bağıl nem değerleri her iki ayda da ASHRAE Standardı 62.1-2007'da önerildiği gibi %65 sınır değerini önemli ölçüde aşmamaktadır. Ayrıca sınıflar arasında sıcaklık değişiminin de anlamlı farkların olduğu bulunmuştur ($p < 0.05$).

Anahtar kelimeler: Akademik binalar, ısı konfor, iç mekan analizi.

Analysis of indoor temperature and relative humidity level in higher education classes: Balıkesir University Example

Abstract

It is an important need that classrooms provide comfortable learning environments to help students perceive and process information. For this reason, correct building and

* Yusuf YILDIZ, yusifyildiz@gmail.com.tr, <https://orcid.org/0000-0002-3255-6850>

space designs are required in terms of building physics. Otherwise, uncomfortable interior spaces and unnecessary energy consumption will occur in educational buildings. This study aims to evaluate thermal comfort by using indoor temperature and relative humidity values in five naturally ventilated classes of Balıkesir University. The parameters, including the hours in and out of use, were recorded at 15-minute intervals over a two-month period. Later, these data were analyzed statistically through Excel and SPSS programs and compared with international standards. According to the results, temperature values were generally in the range of 22-25 °C in February due to the heating system. In May, indoor temperatures mostly exceeded 25°C. Relative humidity values do not significantly exceed the 65% limit value every two months, as recommended in ASHRAE Standard 62.1-2007. It was also found that there are significant differences in temperature change between classes ($p < 0.05$).

Keywords: Academic buildings, thermal comfort, indoor condition analysis.

1. Giriş

Yükseköğretim tüm ülkeler açısından önemli bir konudur ve nitelikli eğitim için yapı fiziği açısından kaliteli üniversite binaları önem arz etmektedir. Ülkemiz özelinde ise ilk üniversitenin kurulduğu 1933 yılından günümüze kadar üniversite sayılarında sürekli bir artış gözlenmiştir ve 1982 öncesinde toplam üniversite sayısı 19 iken şu an mevcut üniversite sayısı (Devlet + Vakıf + Vakıf MYO) 207'ye ulaşmıştır. Özellikle eğitim binalarında iç ortam ısı konfor koşullarının önemi küçümsenemez. Sınıflar öğrenme sürecinde yüksek konsantrasyona uygun mekanlar olmalıdır. Bu tür binalardaki ısı konforsuzluk hem personel hem de öğrenciler için tatmin edici olmayan ortamlar yaratabilir. İnsanlar zamanlarının yaklaşık %90'ını kapalı alanda geçirdiklerinden, uygun bir iç mekan iklimini sürdürebilmek büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda öğrenciler, günlerinin %70'ini sınıflarda geçirmekte bu durum sınıfları, öğrenciler için evlerinden sonra en önemli ikinci kapalı alan haline getirmektedir [1,2]. İç mekan ısı konfor parametrelerinden olan sıcaklık ve bağıl nem ayrıca öğrencilerin akademik performansını ve üretkenliğini de etkilemektedir. Bu nedenle eğitim binaları için önemli bir tasarım parametresi olarak kabul edilirler [3–5]. Öğrenme performansının yüksek iç hava sıcaklıklarından etkilendiği de bilinmektedir [6]. Gupta ve ark. [7], çalışma performansı üzerindeki olumsuz etkilerin, ısıtmanın olmadığı sezonda 26°C'nin üzerindeki yüksek sıcaklıklardan kaynaklandığını ifade etmiştir. Okullarda aktif ısıtma sisteminin bulunmasına rağmen soğutma sistemi genellikle bulunmamaktadır. Pencere ve kapıların elle açılıp kapanmasına dayalı doğal havalandırma, özellikle sınıflarda en uygulanabilir ve çok karşılaşılan serinletme ve havalandırma türüdür [8]. Bu nedenlerle iyi tasarlanmış ve bakımı yapılan, ısı konfor koşullarını sağlayan ve dışarıdan yeterli temiz hava temin eden eğitim binaları, verimli öğrenme süreci ve gelecek nesillerin iyi eğitimi için bir gerekliliktir [9]. Ayrıca, ısı olarak yıl boyunca konforlu bir sınıf tasarlamak artık mimarlar ve inşaat mühendisleri için en önemli kriterlerden biri haline gelmiştir [10,11]. Doğal olarak havalandırılan eğitim binalarındaki ısı koşulları, konfor standartlarını ve adaptasyonu araştırmak için farklı iklimlerde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [12]. Örneğin Mishra ve Ramgopal [13] tropik iklimde, Zaki ve arkadaşları [14] nemli bir subtropikal ve tropikal yağmurlu iklimde, Singh ve arkadaşları [15] kompozit Hindistan ikliminde, Mustapa ve arkadaşları [16] Japonya tropikal ikliminde, Lopez-Perez ve arkadaşları [17] ise Meksika tropikal ıslak ikliminde bulunan doğal havalandırılmalı sınıflarda çalışmalar yapmıştır.

Literatüre bakıldığında ısı konforu değerlendirmek için çeşitli uluslararası standartlar olduğu görülmektedir. En bilinenlerinden bir tanesi EN 15251'dir. Ortak bir ölçüm yöntemini tanımlayan EN 15251 [18] standardı, ısı, görsel ve akustik konforu göz önünde bulundurarak iç ortam kalitesini karşılamak için bina enerji performansını değerlendirme ve tasarlama kriterlerini içermektedir. ASHRAE Standardı 55 [19], ısı çevre faktörleri ile kişisel faktörlerin kombinasyonlarını özelleştirerek, kullanıcı için ısı çevre koşulları hakkında kapsamlı genel yönergeler sağlar. Bir diğer uluslararası standartta, kullanıcının ısıl duygusunu (PMV) ve ısıl memnuniyetsizliğini (PPD) tahmin etmek için yöntemler sunan EN ISO 7730'dur [20]. EN ISO 10551 [10] standardı ise, PMV ve PPD endekslerini değerlendirmek için kullanılacak anket ihtiyacını tanımlar. Daha az bilinen ASHRAE Standardı 62.1 [21] ve Avrupa Standardı CEN CR 1752 [22], binalarda kullanıcı için minimum kabul edilebilir havalandırma oranlarını ve iç hava kalitesini içermektedir.

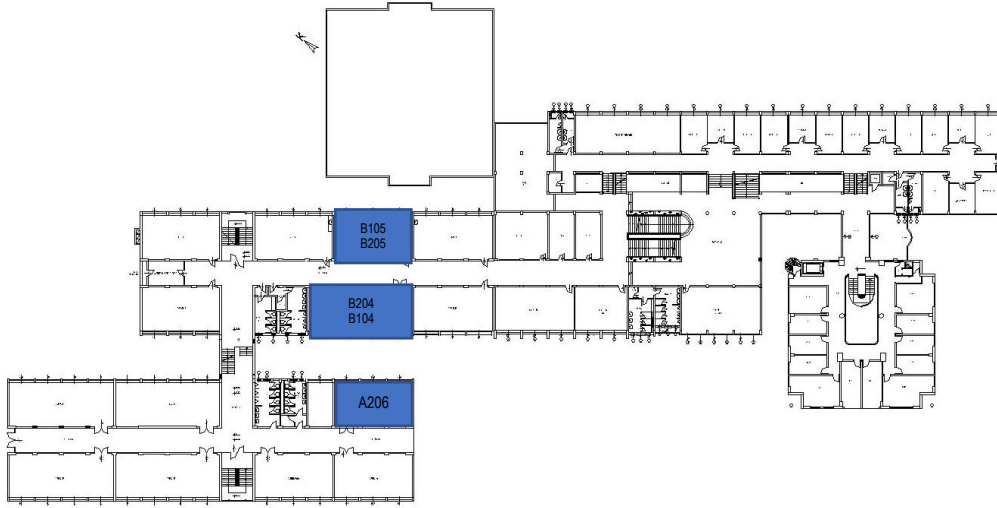
Bu çalışma, Balıkesir Üniversitesi'nin doğal olarak havalandırılan sınıflarında yürütülen iç mekan sıcaklık ve bağıl nem seviyelerinin şubat ve mayıs aylarında izlenmesinin sonuçlarını bildirmektedir. Bu nedenle, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi binasındaki 5 farklı sınıfta 2019 yılı şubat ve mayıs aylarındaki sıcaklık ve nem koşulları üzerine yapılan bir araştırmanın bulguları sunulmuştur. Sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiş ve ilgili standartlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular konforlu ve tek tip olmayan sınıfların uygun şekilde tasarlanmasına yardımcı olabilir.

2. Yöntem

Bu çalışma, Balıkesir ilinde bulunan ve 1993 yılında kurulan Balıkesir üniversitesindeki Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi (MMF) dersliklerinde gerçekleştirilmiştir. Balıkesir'in uzun süreli iklimsel verilerine bakıldığında, kışları serin, yazları sıcak ve yarı kurak bir iklime sahip olduğu görülmektedir [23].

Çalışma alanı olan Balıkesir Üniversitesi, Çağış Yerleşkesi, Balıkesir-Bigadiç karayolunun 17. km'sinde Çağış ve Paşaköy sınırları içinde yer almaktadır. Çalışma amacıyla Mühendislik ve Mimarlık Fakülteleri tarafından birlikte kullanılan binadan 5 adet derslik seçilmiştir. Kış ve yaz dönemini temsilen Şubat-Mayıs aylarında yapılan yerinde ölçümler ile sıcaklık (Temp) ve bağıl nem (RH) değerleri 15 dakikalık aralıklarla kaydedilmiştir. Ölçüm yapılan sınıflar merkezi kalorifer sistemi kullanılarak ısıtılmaktadır ve enerji kaynağı doğalgazdır. Bu nedenle sınıflarda sıcaklık ayarı yapılamamaktadır. Sınıflarda soğutma sistemi yoktur. Pencere ve kapıların açılıp kapanmasıyla doğal havalandırma yapılmaktadır.

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda uzanan dikdörtgen şeklindeki bloklardan oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Müh. ve Mim. Fak. normal kat planı.

Binada, idari ve öğrenci girişi olmak üzere güneybatı yönünde 2 ana giriş bulunmaktadır. Öğrenci alanları, laboratuvarlar, kantin, sınıflar, ofisler vb. dahil olmak üzere çeşitli mekanları barındırmaktadır. Bodrum katta depolar, laboratuvarlar, tesisat merkezi, kantin ve amfi bulunmaktadır. Zemin katta derslik ve laboratuvarlar, akademik ve idari personel odaları ve konferans salonu yer almaktadır. 1. ve 2. katta derslikler, akademik ve idari personel odaları ve seminer odası vardır. 3. katta idari personel odaları, atölyeler ve kütüphane bulunmaktadır. Son olarak 4.5.6. ve 7. katlarda akademik personel odaları devam etmektedir. Farklı blokların farklı kat sayısına sahip olduğu bu binada toplam kapalı alan 20001,25 m²'dir. Bu alanın yaklaşık %90'ı ısıtılmakta ve %18'i soğutulmaktadır. Bina yapı elemanlarının toplam ısı geçirgenlik değerleri (W/m²K) sırasıyla; U_{dış duvar}: 1,28, U_{teras çatı}: 3,42, U_{iç duvar}:1,84, U_{ara kat döşeme}:2,26, U_{taban}: 1,01 ve U_{pencere}: 2,70'tir.

Ölçüm için seçilen tüm sınıflar benzer özelliklere sahiptir (Şekil 2). Sınıf kapasitesi ve kullanım süreleri değişkenlik göstermektedir ve bu durum Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Çalışılan dersliklerin özellikleri.

Bina	Sınıf	Kat	Pencere sayısı	Pencere alanı (m ²)	Kapı sayısı	Sınıf alanı (m ²)	Kişi kapasitesi	Gün boyu kullanım süresi	Yön
MMF	a206	2	1	26,64	1	102	120	09:00 a.m.- 17:00 p.m.	KD
	b104	1	1	26,64	1	100	112		GB
	b204	2	1	26,64	1	100	112		GB
	b105	1	1	19,98	1	81	72		KD
	b205	2	1	19,98	1	81	72		KD



Şekil 2. Ölçüm yapılan ısınlardan örnekler ve ölçüm cihazı.

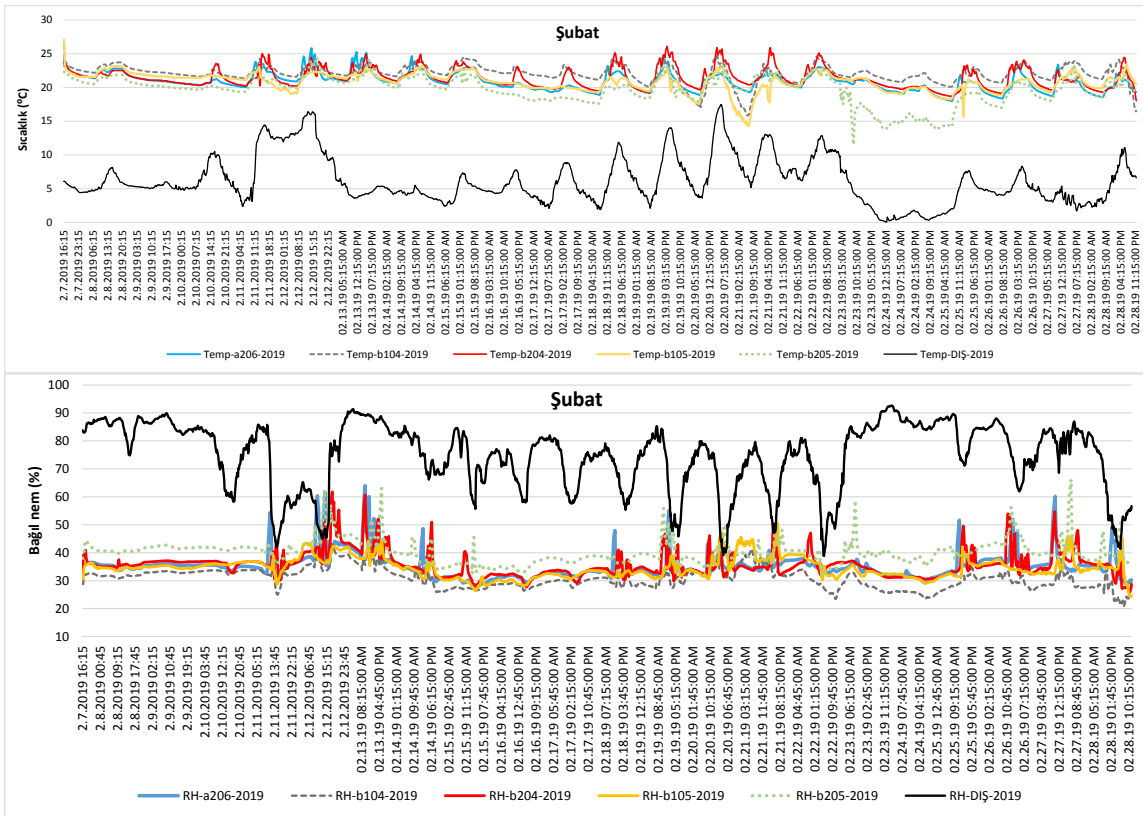
İki parametrenin (RH ve Temp) izlenmesi için Hobo veri kaydedici (Bağıl nem ölçüm aralığı: %15-%95, Doğruluk: ± 3.5 , Çözünürlük: % 0.07; Sıcaklık ölçüm aralığı: $-20^{\circ}\text{C} - +70^{\circ}\text{C}$, Doğruluk : $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$, Çözünürlük : 0.024°C) kullanılmıştır (Şekil 2). Ölçümler 15 dakikalık aralıklarla sürekli olarak yapılmıştır. Cihazlar duvarlara yerden yaklaşık 1,5 m yükseklikte, pencerelerden, doğrudan güneş ışığından ve ısıtma cihazlarından uzağa monte edilmiştir. Kayıt cihazı hafızasının dolması sebebiyle bazı zamanlar kısa süreli veri kayıpları yaşanmıştır. Dış hava sıcaklık ve nem ölçümleri yine Hobo veri kaydedici (Bağıl nem ölçüm aralığı: %0-%100, Hassasiyet: %2.5, Çözünürlük: % 0.03; Sıcaklık ölçüm aralığı: $-40^{\circ}\text{C} - +70^{\circ}\text{C}$, Hassasiyet: 0.18°C , Çözünürlük: 0.02°C) ile yapılmıştır.

Ham sıcaklık ve bağıl nem verileri Microsoft Excel 2016'ya girilmiştir ve ardından istatistiksel analizlerin yanı sıra anormallikleri ve eksik değerleri kontrol etmek için SPSS 21 istatistiksel hesaplama yazılımına aktarılmıştır. Ölçülen değerlerde sınıflar arasında anlamlı bir fark olup olmadığı parametrik olmayan Wilcoxon İşaretili Sıralar Testi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu test, ilişkili iki ölçüm setine ait puanlar arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını kontrol etmek için kullanılır.

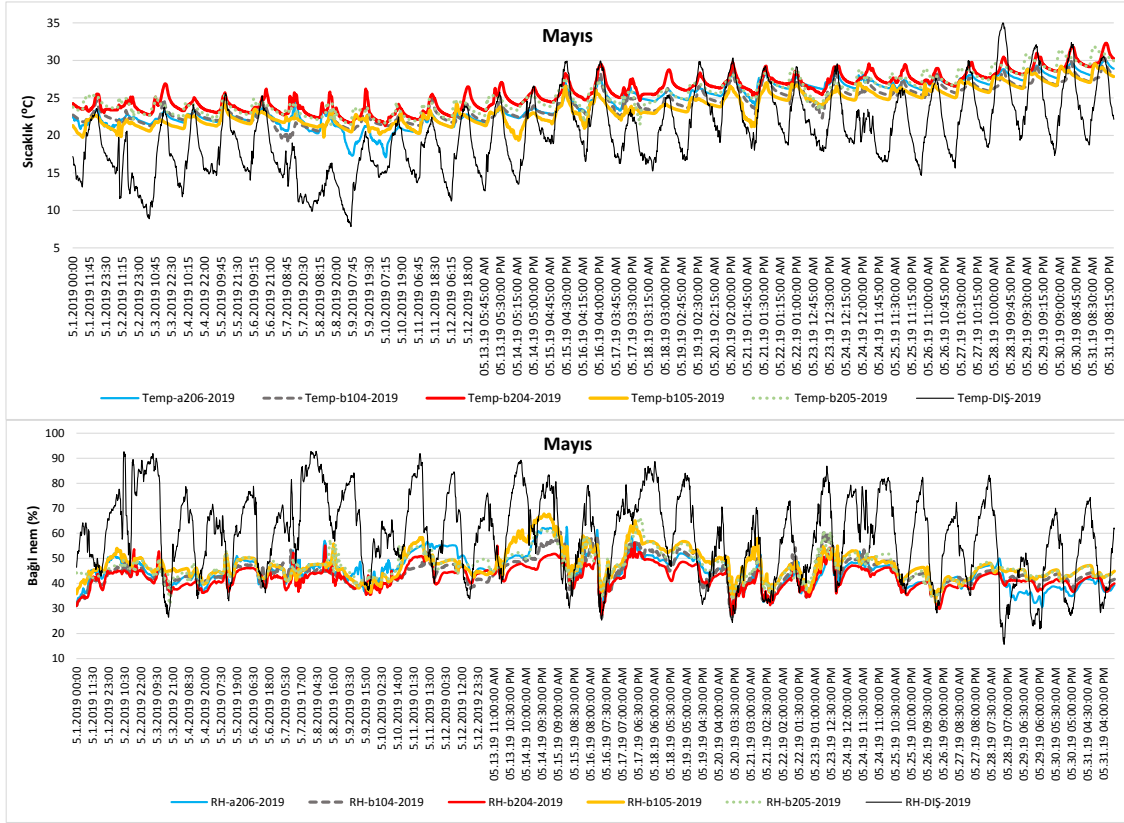
3. Bulgular ve tartışma

3.1. Sıcaklık ve bağıl nem değerleri

Sınıflara ve dış ortama ait 2019 yılı Şubat ve Mayıs ayı sıcaklık ve bağıl nemdeki değişim trendi Şekil 3 de gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 2 de sıcaklık ve bağıl nem değerleri için tanımlayıcı istatistiksel parametreler özetlenmiştir. Dış ortam koşulları, odaların yönü, kişi yoğunluğu ve HVAC sistem türü dahil olmak üzere birçok faktörün, sıcaklık ve bağıl nemdeki değişimi etkilediği bilinmektedir [7]. Şubat ayı sıcaklık trendine bakıldığında iç ortam sıcaklıkları çoğunlukla 20-25°C aralığında seyretmektedir. Sıcaklıkların belirli bir aralıkta seyretmesinin nedeni iç ortamın aktif bir sistemle ısıtılmasıdır. Bağıl nem değerleri ise daha fazla değişkenlik göstermektedir. Mayıs ayında ise sınıflarda zaman zaman iç sıcaklık değerlerinin dış sıcaklık değerleri ile çakıştığı, bazen ise 30°C'nin üzerine çıktığı görülmektedir. Bu durum bina dış kabuğunun istenen ısıl direnci her zaman ve yeterli düzeyde sağlayamadığının bir işaretidir. Bağıl nem değerleri ise Şubat ayında olduğu gibi çok fazla değişkenlik göstermektedir.



Şekil 3. Şubat ve mayıs ayı sıcaklık ve bağıl nem trendi.



Şekil 3 (Devam). Şubat ve mayıs ayı sıcaklık ve bağıl nem trendi.

Ölçümlerin yapıldığı periyotta şubat ayı ortalama dış hava sıcaklığı $6,1^{\circ}\text{C}$ (min: $0,06$ ve maks: $17,49^{\circ}\text{C}$) dir (Tablo 2). Mayıs ayında ise ortalama dış hava sıcaklığı $24,62^{\circ}\text{C}$ (min: $7,85$ ve maks: 35°C) olarak kaydedilmiştir. a206, b104, b204, b105, b205 nolu sınıflarda gözlemlenen şubat ayı ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla $20,90^{\circ}\text{C}$, $22,05^{\circ}\text{C}$, $21,39^{\circ}\text{C}$, $20,81^{\circ}\text{C}$ ve $19,73^{\circ}\text{C}$ 'dir. Gözlemlenen maksimum değerler $25,85^{\circ}\text{C}$, $26,24^{\circ}\text{C}$, $26,10^{\circ}\text{C}$, $27,29^{\circ}\text{C}$ ve $24,26^{\circ}\text{C}$ iken minimum değerler sırasıyla $18,01^{\circ}\text{C}$, $15,82^{\circ}\text{C}$, $18,05^{\circ}\text{C}$, $14,24^{\circ}\text{C}$ ve $11,53^{\circ}\text{C}$ 'dir. Yaz dönemi için sınıflarda aktif soğutma sistemi bulunmamaktadır. Mayıs ayında a206, b104, b204, b105, b205 nolu sınıflarda gözlemlenen ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla $24,45^{\circ}\text{C}$, $24,17^{\circ}\text{C}$, $25,80^{\circ}\text{C}$, $23,70^{\circ}\text{C}$, $25,43^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ölçülen maksimum değerler 30°C , $30,30^{\circ}\text{C}$, $32,29^{\circ}\text{C}$, $29,55^{\circ}\text{C}$, $31,88^{\circ}\text{C}$ iken minimum değerler sırasıyla $17,06^{\circ}\text{C}$, $19,25^{\circ}\text{C}$, $21,28^{\circ}\text{C}$, $19,35^{\circ}\text{C}$, $21,38^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Örneklem dönemi boyunca şubat ve mayıs ayı ortalama dış ortam bağıl nem seviyesi $\%74,8$ ve $\%59,22$ olarak kaydedilmiştir (şubat min: $\%38,82$ ve maks: $\%92,69$, mayıs min: $\%15,70$ ve maks: $\%92,75$). a206, b104, b204, b105, b205 nolu sınıflarda şubat ayı ortalama değerleri sırasıyla $\%35,18$, $\%30,83$, $\%35,67$, $\%34,58$, $\%40,17$ 'dir. Gözlemlenen maksimum nem seviyeleri $\%63,99$, $\%42,87$, $\%61,76$, $\%50,55$, $\%66,24$ iken minimum seviyeler sırasıyla $\%27,73$, $\%20,80$, $\%25,91$, $\%24,31$, $\%32,39$ 'dir. Mayıs ayında ölçülen maksimum bağıl nem değerleri ise sırasıyla $\%62,61$, $\%61,13$, $\%56,35$, $\%67,76$, $\%65,74$ iken minimum değerler $\%26,95$, $\%25,62$, $\%27,42$, $\%32,63$ ve $\%31,66$ 'dir.

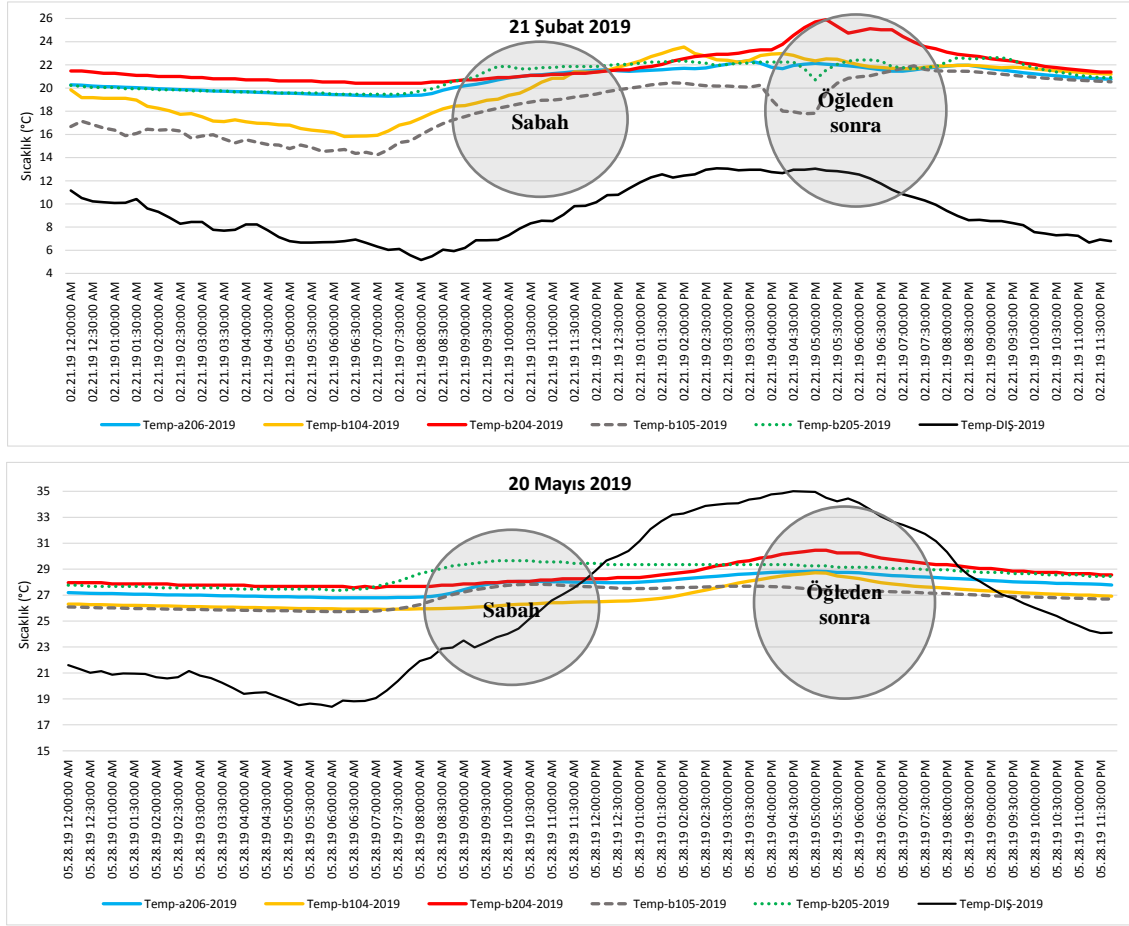
Şubat ayında sıcaklıktaki standart sapma değerlerine bakıldığında b205 nolu sınıfta diğer sınıflara göre daha fazla değişkenlik vardır. b205 nolu sınıf haricindeki diğer sınıflarda ise birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Bağıl nem değerleri açısından

görece en fazla değişkenlik b204 nolu sınıfta gerçekleşmiştir. Mayıs ayında ise sıcaklık değerleri açısından birbirine benzer standart sapma değerleri görülmektedir. Buradaki dikkat çekici nokta sınıflardaki sıcaklıklar dış ortam sıcaklık değişimine yakın derecede değişkenlik göstermiştir. Bu durum iç ortam sıcaklıklarının hızlı bir şekilde dış koşullardan etkilendiğini göstermektedir. Bağıl nem değerleri açısından a206 nolu sınıf için en büyük standart sapma değeri elde edilmiştir.

Tablo 2. Şubat-Mayıs ayı sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) ve bağıl nem (%) için tanımlayıcı istatistiksel parametreler.

Şubat ayı sıcaklıkları					
Derslikler	Ortalama	Min.	Max.	Standart sapma	Ölçüm sayısı
a206	20,90	18,01	25,85	1,31	2047
b104	22,05	15,82	26,24	1,29	
b204	21,39	18,05	26,10	1,41	
b105	20,81	14,24	27,09	1,38	
b205	19,73	11,53	24,26	2,02	
Dış	6,1	0,06	17,49	3,47	
Şubat ayı bağıl nem değerleri					
a206	35,18	27,73	63,99	4,42	2047
b104	30,83	20,80	42,87	3,57	
b204	35,67	25,91	61,76	4,43	
b105	34,58	24,31	50,55	3,60	
b205	40,17	32,39	66,24	4,15	
Dış	74,80	38,82	92,69	12,04	
Mayıs ayı sıcaklıkları					
a206	24,45	17,06	30	2,79	2976
b104	24,17	19,25	30,30	2,21	
b204	25,80	21,28	32,29	2,31	
b105	23,70	19,35	29,55	2,30	
b205	25,43	21,38	31,88	2,40	
Dış	24,62	7,85	35	2,87	
Mayıs ayı bağıl nem değerleri					
a206	44,80	26,95	62,61	6,25	2976
b104	44,31	25,62	61,13	5,23	
b204	42,50	27,42	56,35	4,53	
b105	47,43	32,63	67,76	5,88	
b205	46,78	31,66	65,74	5,27	
Dış	59,22	15,70	92,75	16,39	

Sınıflar arasındaki farklılıkları daha iyi analiz edebilmek için şubat ve mayıs ayı en sıcak günlerine ait 24 saatlik ölçüm sonuçları Şekil 4 de verilmiştir.

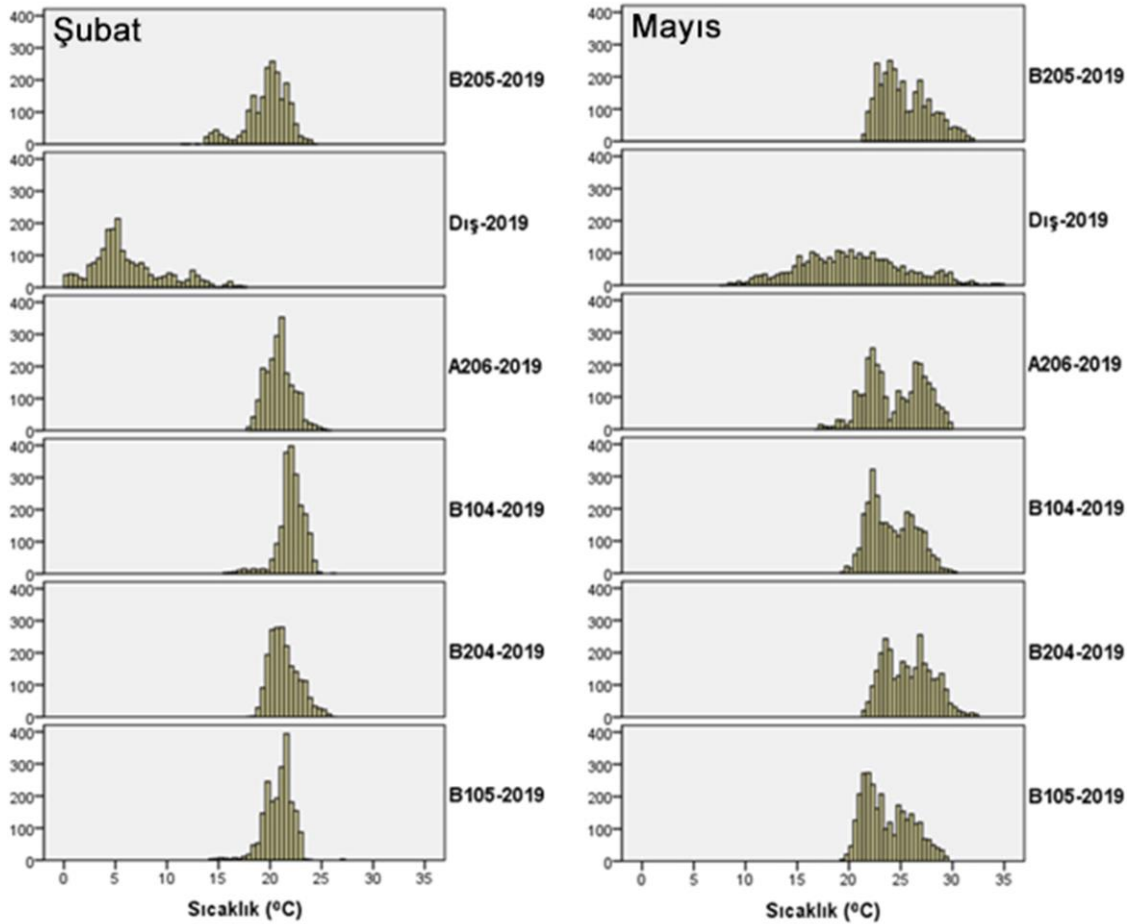


Şekil 4. Sınıfların en sıcak gün için 24 saatlik sıcaklık profili.

b205 ve b105 nolu sınıflar doğuya yöneliminden dolayı sabah saatlerinde direk güneş ışınlarına maruz kalmaktadır. Özellikle b205 nolu sınıfta Şubat ayında sabah saatlerinde güneş ışınları kaynaklı iç ortam sıcaklığındaki artış eğilimi net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca bu saatlerde b205 nolu sınıfta diğer sınıflara göre daha yüksek ortalama sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Fakat aynı yöne bakan ve bir alt katta bulunan b105 nolu sınıfta aynı saatlerde b205 nolu sınıfa göre daha düşük sıcaklıklar ölçülmüştür. Aradaki fark 2°C'nin üzerine çıkmaktadır. Bu iki sınıfın yaklaşık 6m ilerisinde amfi bloğu yer almaktadır. Bu binanın, özellikle 1. kattaki b105 nolu sınıfa ulaşacak gün ışığını önemli ölçüde azalttığı tahmin edilmektedir. Bu durum alt kattaki sınıfta sabah saatlerinde daha düşük sıcaklıkların kaydedilmesini açıklamaktadır. Özellikle yaz aylarında gölgeleme etkisinin iç ortam konforunu pozitif yönde etkileyeceğinin de bir göstergesidir. Bir diğer önemli nokta ise alt kattaki sınıflarda üst kattaki sınıflara göre görece daha düşük iç ortam sıcaklıklarının kaydedilmesidir. Muhtemel sebepleri arasında gölgeleme etkisi ve ısınan havanın yükselmesi prensibi sayılabilir. Bu durum yaz aylarında avantajlı iken kış aylarında ise dezavantaj oluşturmaktadır. Batı yönüne bakan sınıflarda ise güneş ışınlarının öğleden sonra görece yataya yakın açıda gelmesi nedeniyle iç ortama daha fazla nüfuz etmektedir ve bu sınıflarda iç ortam sıcaklıkları daha yüksek seyretmektedir. b204 nolu sınıfta öğleden sonra en yüksek iç ortam sıcaklıkları kaydedilmiştir. Mayıs ayında, akşam ve gece saatlerinde sınıflardaki sıcaklıkların 26-28°C mertebelerinde sabit bir seyir izlediği görülmektedir. Bu durum binanın kullanılmadığı zamanlarda dış hava sıcaklığının düşmesine rağmen iç ortamın yeteri kadar soğuyamadığını göstermektedir. Aynı

zamanda doğal havalandırmanın yetersizliğine işaret etmektedir. Binanın dış hava sıcaklığının düşük olduğu saatlerde doğal havalandırma yoluyla gece soğutması yapılması binanın kullanılmaya başlandığı sabah saatlerinde daha konforlu sınıflar elde edilmesine katkı sağlayabilir.

Histogramlar genel anlamda, verilerin ortalamasını, dağılımını (yayılmasını) ve şeklini (göreceli sıklığını) göstermek için tasarlanmış bir veri dağılım grafikleridir. Histogramlar, tablo veya diğer biçimlerde anlaşılması zor olan büyük miktarda verinin görsel bir görüntüsünü verebilir. Bu nedenle şubat ve mayıs ayı boyunca 15 dakikalık aralıklarla yapılan sıcaklık ölçümlerinden elde edilen veriler ile histogram grafikleri oluşturulmuş ve Şekil 5 de gösterilmiştir. Her sınıfta farklılıkların olduğu görülmektedir. Genellikle normal dağılım sergilemektedir. Şubat ayına bakıldığında aktif ısıtma dönemi olduğu için sınıflarda sıcaklıklar tek pik noktalı ve sıklıkla 20-22°C arasında gerçekleşmiştir. Dar bir aralıkta sıcaklıkların tekrar etmesinin nedeni sınıfların ısıtılmasıdır. b205 nolu sınıfta çok az sıklıkta olsa da sıcaklıklar 15°C'nin altında seyretmiştir. Mayıs ayında aktif bir soğutma sistemi olmaması nedeniyle çok farklı sıklıkta farklı sıcaklıklar kaydedilmiştir. 25°C'nin üzerindeki sıcaklıklar tüm sınıflarda çoğunlukla ölçülmüştür. Ayrıca 25°C'nin altında ve üzerinde olmak üzere 2 pik noktası görülmektedir.



Şekil 5. Şubat ve mayıs ayı sıcaklık ölçüm verilerinin histogram analizi.

Şubat ve Mayıs ayında ölçülen değerlerde, sınıflar arasında anlamlı bir fark olup olmadığı parametrik olmayan Wilcoxon İşaretili Sıralar Testi kullanılarak

değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Şubat ayında sadece a206 ile b105 sınıfında ölçülen sıcaklıklar arasında anlamlı bir farkın olmadığı bulunmuştur ($p>0,05$). Mayıs ayında ise her sınıfta anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Bağıl nem açısından ise anlamlı farklılık olmayan sınıf yoktur.

3.2. Sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin ASHRAE Standardına göre değerlendirilmesi
ASHRAE Standardı 62.1–2007'ye göre, bağıl nem %65'in altında tutulmalıdır [21]. Benzer şekilde, ASHRAE Standardı 55–2010'e göre, ısı konfor için sıcaklıklar 22,5 ile 25,5°C arasında değişebilir [19]. Tablo 3, ölçülen sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin yukarıda ifade edilen değerlerden yüzde olarak aşımını göstermektedir.

Tablo 3. Sıcaklık ve bağıl nem değerleri için ASHRAE Standartlarının aşılması (%).

Sınıflar	Şubat		Mayıs		
	Sıcaklık	Bağıl nem	Sıcaklık	Bağıl nem	
	<22,5	>25,5	>25,5	>%65	
a206	37,1 (Eğitim- öğretim dışı) 1,1 (Eğitim-öğretim zamanları)	0,09	0	41,8 (Eğitim- öğretim zamanları)	0
b104	15,9 (Eğitim- öğretim dışı) 1,2 (Eğitim-öğretim zamanları)	0,09	0	32,3 (Eğitim- öğretim zamanları)	0
b204	27,5 (Eğitim- öğretim dışı) 1,01 (Eğitim- öğretim zamanları)	0,48	0	53,7 (Eğitim- öğretim zamanları)	0
b105	41,1 (Eğitim- öğretim dışı) 1,3 (Eğitim-öğretim zamanları)	0,09	0	25,6 (Eğitim- öğretim zamanları)	1,5
b205	45,4 (Eğitim- öğretim dışı) 1,11 (Eğitim- öğretim zamanları)	0,09	1	42,9 (Eğitim- öğretim zamanları)	0,13

Ölçümler boyunca şubat ayı içinde sınıflarda sıcaklık seviyesi 22,5°C'nin altına %1 mertebelerinde düşmüştür. 22,5 °C'nin altına düştüğü zamanların çoğunlukla eğitim-öğretimin yapılmadığı zamanlar olduğu görülmüştür. Kış döneminde eğitim-öğretim zamanlarında sınıflardaki iç sıcaklıkların 25,5°C'nin üzerine çıkması aktif ısıtma sisteminin çok nadir olsa da ihtiyaçtan daha fazla ısı kapasitede çalıştırıldığı anlamına gelmektedir. Bu durum enerji tüketimini gereksiz şekilde artırabilir. Bağıl nem değerleri ise tüm sınıflarda standardta öngörülen değerler mertebesinde. Mayıs ayına bakıldığında doğal havalandırma b204 nolu sınıfta eğitim-öğretim zamanının %53,7'inde sıcaklıkların 25,5°C'nin üstünde olduğu görülmektedir. a206 ve b205 nolu sınıflarda ise bu oran %40'ın üzerindedir. Mayıs ayı içinde görece en iyi ısı konfor şartlarına sahip sınıflar ise b104 ve b105 nolu sınıflardır. Bir diğer ilginç nokta ise ölçüm yapılan zaman zarfında sınıfların kullanıldığı dönemin sadece %16'sında dışarıdaki sıcaklıklar 25,5°C'nin üzerine çıkmıştır. Bu nedenle sınıflardaki iç

sıcaklıkların dışarıdaki hava sıcaklığından zaman zaman daha yüksek olduğu söylenebilir. Sıcak hava sınıflarda birikmektedir ve dış hava sıcaklığı düşmesine rağmen iç sıcaklıklar düşmemektedir. Sınıflarda doğal havalandırmanın çoğunlukla yetersiz olduğu söylenebilir. Ayrıca bu durum binanın yetersiz yalıtıldığını, pencerelerde kullanılan camların doğru seçilmediği ve bu nedenle dış iklim koşullarının iç mekan ısı koşullarını kolaylıkla etkilediğini göstermektedir. Bağıl nem açısından sınıflarda herhangi bir önemli problem yoktur. Alt kattaki sınıflarda üst kattaki sınıflara göre ısı konforun daha iyi düzeyde olduğu görülmektedir.

4. Sonuçlar

Çalışmada, Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi binasının doğal havalandırılmalı sınıflarında sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin izlenmesiyle ısı konfor durumunun değerlendirilmesi sunulmuştur. Aynı bina içinde aynı koşullara maruz kalan nerdeyse tüm sınıflarda ölçülen değerlerin istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca elde edilen bulguların analizinden bazı temel sonuçlar çıkarılmıştır:

- Isıl konfor koşullarının dış ortam iklim durumu yanında sınıfların yönelimi ile de ilişkili olduğu görülmüştür. Doğuya bakan sınıflarda sabah saatlerinde batıya bakan sınıflarda ise öğleden sonra iç sıcaklıklarda bir artış gözlenmiştir.
- Güneş ışınlarının iç ortama ulaşmasını güçleştiren faktörlerin varlığına oldukça dikkat edilmelidir. Kış ve yaz durumu için ayrı analizler yapılarak optimum çözümler aranmalıdır.
- Bağıl nem değerleri her iki ayda da ASHRAE Standardı 62.1–2007’de önerildiği gibi %65 sınır değerini önemli ölçüde aşmamaktadır. Sıcaklık değerleri ise şubat ayında gün içinde çoğunlukla 22-25⁰C aralığında seyretmektedir. Çok küçük bir zaman aralığında sıcaklıkların üst eşik değerini geçtiği görülmüştür. Bu durum binada gereksiz enerji tüketiminin olduğunu göstermektedir. Mayıs ayında ise ısı konfor dış ortam sıcaklık değerlerinden etkilenerek, iç ortam sıcaklık değerleri sınıflarda yüksek seyretmiş ve çoğunlukla standartların dışına çıkmıştır.
- Aynı koşullara maruz kalan sınıflarda iç mekan sıcaklıkları anlamlı ölçüde ($p < 0.05$) farklılık göstermektedir.

Öğrencilerin sağlık güvenliğini ve daha iyi öğrenme performansını sağlamak, optimum düzeyde enerji tüketimini ve yeterli ısı konfor seviyesini korumak için bina tasarım aşamasında, özellikle mekansal organizasyon yapılırken oryantasyonun, malzeme seçimi, çevredeki durumun, katlar içindeki yerleşimin, yalıtımın, gece soğutması potansiyelinin gereken şekilde analiz edilerek dikkate alınması tavsiye edilir.

Kaynaklar

- [1] Majd, E., McCormack, M., Davis, M., Curriero, F., Berman, J., Connolly, F., Leaf, P., Rule, A., Green, T., Clemons-Erby, D., Gummerson, C. ve Koehler, K., Indoor air quality in inner-city schools and its associations with building characteristics and environmental factors, **Environmental Research**, 170, 83–91, (2019).
- [2] Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D.J., Kochhar, N., Awbi, H.B. ve Williams,

- M.J., Ventilation rates in schools and pupils' performance, **Building and Environment**, 48, 215–223, (2012).
- [3] Che, W.W., Tso, C.Y., Sun, L., Ip, D.Y.K., Lee, H., Chao, C.Y.H. ve Lau, A.K.H., Energy consumption, indoor thermal comfort and air quality in a commercial office with retrofitted heat, ventilation and air conditioning (HVAC) system, **Energy and Buildings**, 201, 202–215, (2019).
- [4] Heracleous, C. ve Michael, A., Experimental assessment of the impact of natural ventilation on indoor air quality and thermal comfort conditions of educational buildings in the Eastern Mediterranean region during the heating period, **Journal of Building Engineering**, 26, 100917, (2019).
- [5] de Abreu-Harbich, L.V., Chaves, V.L.A. ve Brandstetter, M.C.G.O., Evaluation of strategies that improve the thermal comfort and energy saving of a classroom of an institutional building in a tropical climate, **Building and Environment**, 135, 257–268, (2018).
- [6] Teli, D., Bourikas, L., James, P.A.B. ve Bahaj, A.S., Thermal performance evaluation of school buildings using a children-based adaptive comfort model, **Procedia Environmental Sciences**, 38, 844–851, (2017).
- [7] Gupta Rajat, A.H. C.T. ve John, O'Brien., Improving productivity in the workplace –lessons learnt and insights from the whole life performance plus project, (2018).
http://www.bco.org.uk/Research/Publications/Improving_Productivity_in_the_Workplace.aspx, (05.09.2020).
- [8] Duarte, R., Glória Gomes, M. ve Moret Rodrigues, A., Estimating ventilation rates in a window-aided room using Kalman filtering and considering uncertain measurements of occupancy and CO₂ concentration, **Building and Environment**, 143, 691–700, (2018).
- [9] M. Griffiths ve M. Eftekhari, Control of CO₂ in a naturally ventilated classroom, **Energy and Buildings**, 40, 556–560, (2008).
- [10] Nguyen, A.T., Singh, M.K. ve Reiter, S., An adaptive thermal comfort model for hot humid South-East Asia, **Building and Environment**, 56, 291–300, (2012).
- [11] Corgnati, S.P., Filippi, M. ve Viazzo, S., Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort, **Building and Environment**, 42, 951–959, (2007).
- [12] Sarbu, I. ve Pacurar, C., Experimental and numerical research to assess indoor environment quality and schoolwork performance in university classrooms, **Building and Environment**, 93, 141–154, (2015).
- [13] Mishra, A.K. ve Ramgopal, M., A thermal comfort field study of naturally ventilated classrooms in Kharagpur, India, **Building and Environment**, 92, 396–406, (2015).
- [14] Zaki, S.A., Damiati, S.A., Rijal, H.B., Hagishima, A. ve Abd Razak, A., Adaptive thermal comfort in university classrooms in Malaysia and Japan, **Building and Environment**, 294–306, 122, (2017).
- [15] Singh, M.K., Kumar, S., Ooka, R., Rijal, H.B., Gupta, G. ve Kumar, A., Status of thermal comfort in naturally ventilated classrooms during the summer season in the composite climate of India, **Building and Environment**, 128, 287–304, (2018).
- [16] Mustapa, M.S., Zaki, S.A., Rijal, H.B., Hagishima, A. ve Ali, M.S.M., Thermal comfort and occupant adaptive behaviour in Japanese university buildings with free running and cooling mode offices during summer, **Building and Environment**, 105, 332–342, (2016).

- [17] López-Pérez, L.A., Flores-Prieto, J.J. ve Ríos-Rojas, C., Adaptive thermal comfort model for educational buildings in a hot-humid climate, **Building and Environment**, 150, 181–194, (2019).
- [18] 15251 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, (2007).
- [19] ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy, (2010).
- [20] ISO 7730: Moderate thermal environments - determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, (2005).
- [21] ANSI/ASHRAE Standard 62.1: Ventilation for acceptable indoor air quality, (2007).
- [22] CEN - CR 1752 Ventilation for buildings - design criteria for the indoor environment, (1998).
- [23] http://izmir.mgm.gov.tr/FILES/iklim/balikesir_iklim.pdf, (10.08.2020).