

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI MEKANLARDA HAVA KALİTESİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisi Sena SAĞLAM

HAZİRAN 2019

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI MEKANLARDA HAVA KALİTESİNİN İNCELENMESİ

Sena SAĞLAM

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

"MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 / 05 / 2019

Tezin Savunma Tarihi : 20 / 06 / 2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ertan BAYDAR

Trabzon 2019

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Sena SAĞLAM Tarafından Hazırlanan**

FARKLI MEKANLARDA HAVA KALİTESİNİN İNCELENMESİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 11 / 06 / 2019 gün ve 1806 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ertan BAYDAR

Üye : Prof. Dr. Yücel ÖZMEN

Üye : Doç. Dr. Lütfü NAMLI

Baydar
Özmen
Lütfü Namlı

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışmada değişik mekânlarda iç ortam hava kalitesi ve ısıl konfor durumu deneysel olarak incelenmiştir.

Yüksek lisans eğitimim süresince mesleki engin bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Ertan BAYDAR' a en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu süreçte yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarıma, hayatta daima dayanışma içinde olduğum aileme, sevgili anneme, meslektaşları olarak hep yanımda yer alan sevgili babama, canım ablama sonsuz teşekkür ederim.

Sena SAĞLAM
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Farklı Mekânlarda Hava Kalitesinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ertan BAYDAR’ ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili mekânlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/06/2019

Sena SAĞLAM

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. İç Ortam Hava Kalitesi	2
1.2.1. Yapı Bileşenlerinden Kaynaklanan Kirleticiler.....	2
1.2.2. Gaz Kirleticileri	4
1.3. İç Ortam Hava Kalitesi Parametreleri.....	5
1.3.1. Sıcaklık	5
1.3.2. Bağıl Nem.....	6
1.3.3. Karbon dioksit (CO ₂) Konsantrasyonu.....	7
1.3.4. Hava Akış Hızı, Türbülans ve Çekme Oranı	8
1.3.5. PMV/PPD Konfor Seviyesi	9
1.4. İç Hava Kalitesi Standartları.....	12
1.5. Literatür Araştırması.....	14
1.6. Tezin Amacı, Kapsamı ve Özgün Değeri	18
2. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	20
2.1. Deneyde Kullanılan Cihazının Tanımı ve Hassasiyeti	20
2.2. Ölçüm Sistemi	21
3. BULGULAR VE İRDELEME	22
3.1. Akademisyen Odasında İç Ortam Hava Kalitesinin İncelenmesi.....	24
3.2. Sınıflarda İç Ortam Hava Kalitesi Parametrelerinin İncelenmesi	24

3.3. Konularda İç Ortam Hava Kalitesi Parametrelerinin İncelenmesi	48
3.4. Gürültü Seviyesi Ölçümleri	50
3.5. Hava Gereksinimi	54
4. SONUÇLAR.....	56
5. ÖNERİLER.....	57
6. KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

FARKLI MEKANLARDA HAVA KALİTESİNİN İNCELENMESİ

Sena SAĞLAM

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ertan BAYDAR
2019, 60 Sayfa

İnsanlar aktivitelerinin çoğu kısmını mevsimlere de bağlı olarak kapalı ortamlarda yapmaktadırlar. Bu ortamlardaki hava kalitesi ve ısı konfor koşulları, sağlık ve memnuniyet açısından önem arz etmektedir. İç ortam havasındaki sıcaklık, nem ve karbondioksit konsantrasyonlarının uygun olmayan değerleri insanların performansını azaltmaktadır. İç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi; insan sağlığının korunmasının yanı sıra, iş gücünü de artıracaktır. Bu çalışmada iç hava kalitesi ile ilgili farklı mekânlardaki sıcaklık, bağıl nem, karbondioksit, gürültü ve PMV-PPD parametreleri zamana bağlı olarak ölçülerek konfor seviyeleri belirlenmiştir. Ölçümler Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü dersliklerinde ve konutlarda gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, kış ve yaz aylarında belirli periyodlarla tekrarlanarak mevcut durumlar tespit edilmiş, standart değerlerle karşılaştırılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır. Dersliklerin ısı konfor açısından yeterli olduğu ancak dersliklerde temiz hava girişine ihtiyaç duyulduğu ve doğal yollarla yapılan havalandırmanın yeterli olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, gürültü seviyelerinin sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İç ortam hava kalitesi, ısı konfor, PMV-PPD indisi, gürültü seviyesi.

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF AIR QUALITY IN DIFFERENT SPACES

Sena SAĞLAM

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ertan BAYDAR
2019, 60 Pages

People do most of their activities in closed environments depending on the seasons. Air quality and thermal comfort conditions in these environments are important in terms of health and satisfaction. Improper values of temperature, humidity and carbon dioxide concentrations in indoor air reduce people's performance. Improving indoor air quality; In addition to protecting human health, it will also increase labor force. In this study, the air quality, temperature, relative humidity, carbon dioxide, noise level and PMV-PPD parameters were measured in time and the comfort levels were determined. The measurements were carried out in the classrooms and residences of the Department of Mechanical Engineering at Karadeniz Technical University. Measurements were repeated at certain periods in winter and summer and current conditions were determined, compared with standard values and evaluations were made. It was determined that the classrooms were sufficient in terms of thermal comfort, but fresh air intake was needed in the classrooms and the natural ventilation was not sufficient. In addition, noise levels were found to be above the limit values.

Key Words: Indoor air quality, thermal comfort, PMV-PPD indices, noise level.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Ortam havası nemi ve sıcaklığına göre konfor bölgesi	6
Şekil 1.2. İç mekan havasında CO2 konsantrasyonu ve memnun olmayan kişi yüzdesi	8
Şekil 1.3. Değişik hava hızları ve türbülans derecelerinde memnuniyetsizlik oranları.....	9
Şekil 1.4. Tipik bir PMV/ PDD ölçüm sonucu	11
Şekil 2.1. İç ortam hava kalitesi ölçüm cihazı	20
Şekil 2.2. Ölçme Sistemi.....	22
Şekil 2.3. Ölçme Sistemi.....	23
Şekil 3.1. Tek kişinin olduğu penceresi kapalı oda sonuçları.....	24
Şekil 3.2. Tek kişinin olduğu penceresi açık oda sonuçları.....	25
Şekil 3.3. D7 sınıfı kış dönemi ölçüm sonuçları.....	28
Şekil 3.4. D7 dersliği kış dönemi konfor seviyesi	28
Şekil 3.5. D7 dersliği yaz dönemi ölçüm sonuçları	29
Şekil 3.6. D7 dersliği yaz dönemi konfor seviyesi	29
Şekil 3.7. D5 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları	30
Şekil 3.8. D5 dersliği yaz dönemi ölçüm sonuçları	31
Şekil 3.9. D5 dersliği yaz dönemi konfor seviyesi	31
Şekil 3.10. R1 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları	32
Şekil 3.11. R1 dersliği kış dönemi konfor seviyesi	32
Şekil 3.12. R1 dersliği yaz dönemi ölçüm sonuçları	33
Şekil 3.13. R1 dersliği yaz dönemi konfor seviyesi	33
Şekil 3.14. MA dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları	34
Şekil 3.15. D8 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları	35
Şekil 3.16. D8 dersliği kış dönemi konfor seviyesi	35
Şekil 3.17. D8 dersliği yaz dönemi ölçüm sonuçları	36
Şekil 3.18. D8 dersliği yaz dönemi konfor seviyesi	36
Şekil 3.19. L2 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları	37

Şekil 3.20. Akademisyen dinlenme salonu kış dönemi ölçüm sonuçları.....	38
Şekil 3.21. Bölüm kantini kış dönemi ölçüm sonuçları.....	39
Şekil 3.22. Bölüm kantini yaz dönemi ölçüm sonuçları	40
Şekil 3.23. Bölüm kantini yaz dönemi konfor seviyesi	40
Şekil 3.24. Bölüm sekreterliği kış dönemi ölçüm sonuçları	41
Şekil 3.25. D3 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları	42
Şekil 3.26. D3 dersliği kış dönemi konfor seviyesi	42
Şekil 3.27. D4 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları	43
Şekil 3.28. MA2 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları	44
Şekil 3.29. D6 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları	45
Şekil 3.30. Bölüm bilgisayar odası yaz dönemi ölçüm sonuçları.....	46
Şekil 3.31. Bölüm çalışma salonu kış dönemi ölçüm sonuçları	46
Şekil 3.32. Bölüm çalışma salonu yaz dönemi ölçüm sonuçları	47
Şekil 3.33. Bölüm çalışma salonu yaz dönemi konfor seviyesi.....	48
Şekil 3.34. Mutfaktaki ölçüm sonuçları.....	49
Şekil 3.35. Salondaki ölçüm sonuçları.....	49
Şekil 3.36. D8 dersliği gürültü seviyesi ölçüm sonuçları	50
Şekil 3.37. Çalışma salonu gürültü seviyesi ölçüm sonuçları.....	50
Şekil 3.38. Kantin gürültü seviyesi ölçüm sonuçları	51
Şekil 3.39. Akademisyen odası gürültü seviyesi ölçüm sonuçları.....	51
Şekil 3.40. D5 dersliği gürültü seviyesi ölçüm sonuçları	52
Şekil 3.41. D7 dersliği gürültü seviyesi ölçüm sonuçları	52
Şekil 3.42. R1 dersliği gürültü seviyesi ölçüm sonuçları	53
Şekil 3.43. Kafeterya gürültü seviyesi ölçüm sonuçları	53
Şekil 3.44. Oyun salonu gürültü seviyesi ölçüm sonuçları.....	54

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Kullanıcı kaynaklı kirleticilerin sınıflandırılması.....	3
Tablo 1.2. Yapıda kullanılan ürün kaynaklı kirleticilerin sınıflandırılması.....	3
Tablo 1.3. Farklı karbondioksit konsantrasyonlarının etkisi.....	7
Tablo 1.4. PMV iklim değerlendirme ölçeği	10
Tablo 1.5. Aktivite ve kıyafet indeksi.....	11
Tablo 1.6. İç ortam hava kalitesi ile ilgili değişik ülkelere ait standartlar.....	13
Tablo 1.7a. TS EN ISO 7730' a göre ısı çevre kategorileri	14
Tablo 1.7b. TS EN ISO 7730' a göre ısı çevre kategorileri	14
Tablo 2.1. Ölçme sistemi problemleri.....	21
Tablo 2.2. Ses seviyesi aralıkları ve etkileri	22
Tablo 2.3. Ülkelere göre gürültü üst seviyeleri.....	23
Tablo 3.1. Penceresi kapalı odada hava kalitesi parametreleri değerleri.....	25
Tablo 3.2. Penceresi açık odada hava kalitesi parametreleri değerleri	26
Tablo 3.3. Çeşitli aktivite seviyeleri için CO2 emisyonu	26
Tablo 3.4. Ölçülmüş türbülans derecesi ve çekme oranları	27
Tablo 3.5. Sınıfların boş olduğu durumda yapılan ölçümler	27
Tablo 3.6. D8 dersliği türbülans derecesi ölçümü	36
Tablo 3.7. Bölüm kantini türbülans derecesi ölçümü	39
Tablo 3.8. Bölüm çalışma salonu türbülans derecesi ölçümü.....	47
Tablo 3.9. Farklı mekanlarda yapılan kış ve yaz dönemi ölçümlerin ortalama değerleri	48
Tablo 3.10. Farklı ortamlarda ölçülmüş ortalama gürültü seviyeleri.....	54
Tablo 3.11. Farklı sınıflarda doğal havalandırmada mevcut hava miktarları	55
Tablo 3.12. Farklı sınıflarda mevcut ve gereken hava miktarları	55

KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ

ACGIH	: Amerikan Kamusal ve Endüstriyel Hijyen Konferansı
ASHRAE	: Amerikan Isıtma Soğutma ve Havalandırma Mühendisliği Topluluğu
EPA	: Çevre koruma ajansı
NIOSH	: Ulusal İş sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü
OSHA	: İş sağlığı ve Güvenliği İdaresi
PM	: Partikül madde
Ppm	: Milyonda parçacık
VOC	: Uçucu organik bileşikler
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
DR	: Çekme oranı [%]
NO _x	: Azot oksitler
PDD	: Tahmini memnuniyetsizlik yüzdesi [%]
PMV	: Tahmini ortalama oy [%]
Rn	: Radon
SO ₂	: Kükürtdioksit
T _O	: Ortam hava sıcaklığı [°C]
T _U	: Türbülans şiddeti [%]
V	: Hava hızı [m/s]

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Hava, insanların hayatlarını sürdürmelerini sağlayan başlıca gereksinimdir. Havanın, sağlıklı ve temiz olması gerekir. Günlük yaşam genellikle kapalı ortamlarda geçtiğinden, iç ortamın hava kalitesi insan sağlığını ve aktivitesini etkilemektedir. Birçok iç ortamın, bazen dış ortamdaki daha kirli ve sağlıksız olduğu saptanmıştır. Bu nedenle, insan sağlığı üzerinde iç ortam hava kalitesinin durumu tespit edilerek, insan sağlığını ve çalışma verimini doğrudan etkileyen iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi ve çevresel olumsuz etkilerin giderilmesi gerekmektedir.

İç hava kirliliği, iç ortam havasında insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen partikül madde, uçucu organik bileşikler, inorganik bileşikler, biyolojik, fiziksel ve kimyasal maddeler gibi kirleticilerin görülmesi olarak tanımlanmaktadır. İç ortamda mevcut kirleticilerin sağlık üzerindeki olumsuz etkilerinden korunulması ve bu etkilerin önlenmesi amacıyla yapılan bilimsel çalışmalar iç ortam hava kalitesi kapsamında değerlendirilmektedir. Günümüzde insanların zamanlarının büyük bir kısmını kapalı alanlarda geçiriyor olması, iç ortam hava kalitesinin önemini artırmaktadır. Kapalı ortam hava kirliliği problemleri güç algılanabilmekte ve her zaman sağlık üzerinde kolayca teşhis edilebilir etkiler ortaya çıkarmamaktadır. Eğitim, sağlık kurumlarında ve insan sayısının ve aktivitesinin fazla olduğu kapalı mekânlarda ortam havası çok kısa sürede bozulmaktadır. Sınıfların kalabalık olması, ders aralarının kısa tutulması, ders aralarında sınıfların havalandırılmaması, tavan yüksekliklerinin yeterli olmayışı, mekanik havalandırmanın bulunmayışı gibi nedenler iç ortam hava kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu durum hastalık yayılma riskini artırabilecek, dikkat dağılmasına ve derse karşı ilgi azalmasına neden olabilecektir.

İç ortam hava kalitesi, konforun yanı sıra, sağlık ve verimlilik için de gereklidir. İç ortamdaki sıcaklık (T), bağıl nem (BN), hava hızı, karbondioksit (CO₂), partikül madde (PM), uçucu organik bileşikler (VOC), azot oksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO), ozon (O₃), kükürtdioksit (SO₂), radon (Rn), formaldehitler (HCHO), bakteri sayısı gibi parametreler ölçülerek iç hava kalitesini bozucu etkenlerin sınır değerleri belirlenmiş ve standartlar geliştirilerek uygulamaya konulmuştur. Ülkelerin çoğunda değişik mekânlarda

iç hava kalitesi açısından durumunun belirlenmesine yönelik araştırmalar yapılmakta, ilgili standartlara uygun hava kalitesinin iyileştirilmesi ve sağlanabilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmekte ve uygulanmaktadır.

İç ortam hava kalitesi yönetimi, ısı koşulların ve yeterli seviyede havalandırmanın sağlanmasını ve kontrolünü kapsamaktadır. İnsanların kendini rahat ve memnun hissedecekleri konfor koşulları ve etkin bir havalandırma ile bazı hastalıkların önlenmesi, öğrenme ve çalışma performansını artıracaktır.

1.2. İç Ortam Hava Kalitesi

İç ortam kalitesini, ortamda bulunan partiküler madde (PM_{2.5}, PM₁₀), karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), sıcaklık, bağıl nem, azot oksitler (NO_x), oksijen miktarı (O₂), kükürt oksitler (SO_x), uçucu organik bileşikler (VOC), çeşitli mikroorganizma ve alerjenler gibi fiziksel ve biyolojik etkenlerin varlığı etkilemektedir.

İç ortam hava kalitesinin insan performansı üzerindeki etkisi bilinen bir gerçektir. İnsan konforu ve üretkenliği için solunan havanın %30-50 bağıl nem içermesi ve çalışma ortamı sıcaklığının 19-20°C' da olması gerekmektedir. Havalandırma hızının ve miktarının az olması iç hava kirleticilerinin seyreltilmesini azaltabilmektedir. Sadece sıcaklık ve nemin bile çalışanların performansını önemli ölçüde etkilediği düşünüldüğünde, muhtemel kirleticiler performans koşullarını daha da olumsuz duruma getirebilecektir [1].

İç ortam hava kalitesini etkileyen kirleticiler; yapı bileşenlerinden ve insanlardan gelen kirleticiler, havalandırma ve hava sızıntısı ile gelen gaz kirleticiler ile partiküler madde kirleticileri şeklinde sınıflandırılabilir.

1.2.1. Yapı Bileşenlerinden Kaynaklanan Kirleticiler

Yapı içinde gerçekleşen eylemlerden ya da kullanılan ürünlerden kaynaklanarak oluşan ve yapı içi havasını olumsuz etkileyen kirleticilerdir. Yapı içinde yaşayan insan, hayvan ve bitki eylemlerinden oluşan kirleticiler, Tablo 1.1' de verilmiştir.

Tablo 1.1. Kullanıcı kaynaklı kirleticilerin sınıflandırılması [2]

Kaynak	Gazlar	Parçacık
İnsan solunumu	Karbondioksit, su buharı	Organizmalar, bakteriler, mikroorganizmalar
Bitki solunumu	Karbondioksit, su buharı	
Hayvan solunumu	Karbondioksit, su buharı	Organizmalar, bakteriler, mikroorganizmalar
Sigara kullanımı	Azot oksitler, karbonmonoksit, karbondioksit, uçucu organik bileşikler, formaldehit	Asılı parçacık, duman, mist

Yapı içi havasını kirleten maddeler, yapının tasarım özelliklerinden, yapı içinde kullanılan ürünlerden, yapı içinde kullanılan teknik hizmetlerden kaynaklanmakta ve insan sağlığını olumsuz olarak etkilemektedir. Bu yapısal malzemeler de Tablo 1.2' de verilmektedir.

Tablo 1.2. Yapıda kullanılan ürün kaynaklı kirleticilerin sınıflandırılması [2]

Yapı ürünleri	Kirleticiler	
	Gazlar	Parçacıklar
Alçı blok levha	Ksilen, Toluen Radon	Asılı parçacıklar, asbest
Beton	Formaldehit, Radon	Asılı parçacıklar asbest
Taş, Tuğla	Radon	
Sıva	Etil benzen, Formaldehit, Toluen	Asılı parçacıklar asbest
Boya, cila, vernik	Asetaldehit, Benzen, Etil benzen, Etil tolüen, Formaldehit, Toluen	Asılı parçacıklar asbest
İşlem görmüş yapay ahşap	Asetaldehit, Benzen, Etil tolüen, Formaldehit, Karbonmonoksit, Metil alkol, Asetik asit	Organizmalar kurt, küf, mantar
Duvar kâğıdı	Toluen, Asetik asit, Formaldehit, Formik asit, Karbonmonoksit	Organizmalar mantar
Halı	Asetaldehit, Etil benzen, Formaldehit, Asit siyandirik	Organizmalar ev tozu akarları mantar
PVC	Benzen, Etil benzen, Formaldehit, Karbonmonoksit, Karbondioksit	

1.2.2. Gaz Kirleticileri

İç ortam hava kalitesini etkileyen gaz kirleticileri, normal sıcaklık ve basınç altında gaz halinde bulunan maddeler ile normal sıcaklık ve basınç altında katı veya sıvı halde bulunan maddelerin buharlaşması ile meydana gelmektedir.

- Uçucu Organik Bileşikler (VOC)

Atmosferde bulunan karbon, karbondioksit ve karbon monoksit dışındaki karbonlu bileşikler olarak tanımlanan uçucu organik bileşikler (VOC) hava kirleticilerinin önemli bir sınıfını oluşturmaktadır. Oda sıcaklığında buharlaşabilen organik bileşiklerden en önemlileri, formaldehit ve benzendir.

Formaldehit, renksiz, keskin kokulu, suda eriyebilen ve uçucu bir gazdır. Endüstride yaygın olarak kullanılan kimyasal bir maddedir. WHO (Dünya Sağlık Örgütü) yapı içindeki formaldehit sınır yoğunluğunu 30 dakikada $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak vermiştir.

Benzen, renksiz, alevlenebilen, kaynama noktası $80,1^\circ\text{C}$, erime noktası $5,5^\circ\text{C}$ olan bir sıvıdır. Endüstriyel bakımdan kıymetli bir uçucu organik bileşikler kaynağıdır. Mobilyalarda, boyalarda, çözücülerde, vernik, cila vb. ürünlerde, sigara dumanında, yapııştırıcılarda, yalıtım ürünlerinde, plastik ürünlerde, kaplamalarda bulunmakta ve böcek öldürücü olarak da kullanılmaktadır.

- Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit, karbon atomu içeren herhangi bir maddenin yanma işleminin tam olarak gerçekleşmemesi sonucu oluşan zehirli bir gazdır. Su ısıtıcıları, gaz veya kömür kaloriferleri, gaz sobaları, sigara dumanı ve egzoz gazlarının bina içine girmesi kapalı ortamdaki CO kaynakları arasında yer alır.

- Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksit, karbonun oksijenle yanması sonucu oluşan, kokusuz, renksiz bir gazdır. Doğada mineral biçiminde (kömür, elmas, gaz olarak), suda çözülmüş durumda (karbondioksit) veya organik biçimde bulunabilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nün yapı içinde belirlediği maksimum karbondioksit oranı %0,5, NASA'nın belirlediği oran ise %1 ya da daha az olarak belirtilmektedir.

- Kükürtdioksit (SO₂)

Kükürtdioksit, keskin kokulu gazdır ve çoğunluğu fosil yakıtların (kömür ve petrol) yanması sonucunda meydana gelen yanma ürünüdür. Fosil yakıtlar (petrol, kömür vb.) % 0,5 ile % 6 arasında kükürt içerir. Petrol ve kömür gibi fosil yakıtların yanması sonucunda

kükürt yoğunlukla kükürt dioksit şeklinde atmosfere yayılır. ASHRAE standartlarında yoğunluk sınırı $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, izin verilebilen en yüksek sınır ise $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.

- Azot oksitler (NO_x)

Azot oksitler; renksiz, kokusuz ve çeşitli oksitler oluşturan bir gazdır. Çok yüksek sıcaklıklarda oksijenle endotermik reaksiyon oluşturur. Azot oksitlerin atmosferde en çok bulunan şekli azotmonoksit ve azotdioksittir. Yapı içinde önemli azot oksit kaynakları yangınlar, gazlı ocaklar, ısıtıcılar, elektrikli bazı ev ve büro donanımları, sigara dumanıdır.

- Radon (Rn)

Radon renksiz, kokusuz bir radyoaktif gazdır. Uranyum parçalanmasıyla ortaya çıkar. Yapıda kullanılan taş, toprak, su gibi yapı ürünlerinden, havalandırma, ısıtma sistemleri ve yalıtım ürünlerinden iç ortama girmektedir. Radon, sigaradan sonra akciğer kanserinin en büyük nedenidir. Radonun etkilerinden korunmak için; yapılarda kullanılacak yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri yapılarak, tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.

- Partikül Maddeler (PM₁₀, PM_{2,5})

Partikül madde, insanların nefes almakla içine alabileceği kadar küçük olan geniş bir aralıkta havada bulunan maddeciklerin genel adıdır. Bunlar, duman is, toz, sis gibi maddelerdir. İnsan sağlığı ile ilgili partikül çapı $10 \mu\text{m}$ (PM₁₀)'den daha küçük, özellikle $2,5 \mu\text{m}$ (PM_{2,5})'den küçük olanlar solunabilir partiküller olarak bilinirler.

1.3. İç Ortam Hava Kalitesi Parametreleri

İç ortam hava kalitesinin belirlenmesinde sıcaklık, bağıl nem, hava hızı, karbondioksit (CO₂), partikül madde (PM), uçucu organik bileşikler (VOC), karbonmonoksit (CO) gibi parametrelerin ölçümü yapılmaktadır. Ayrıca, ısı konfor seviyesinin değerlendirilmesinde kullanılan Tahmini Ortalama Oy/Tahmini Memnuniyetsizlik Yüzdesi (PMV-PPD) parametreleri de ele alınmaktadır.

1.3.1. Sıcaklık

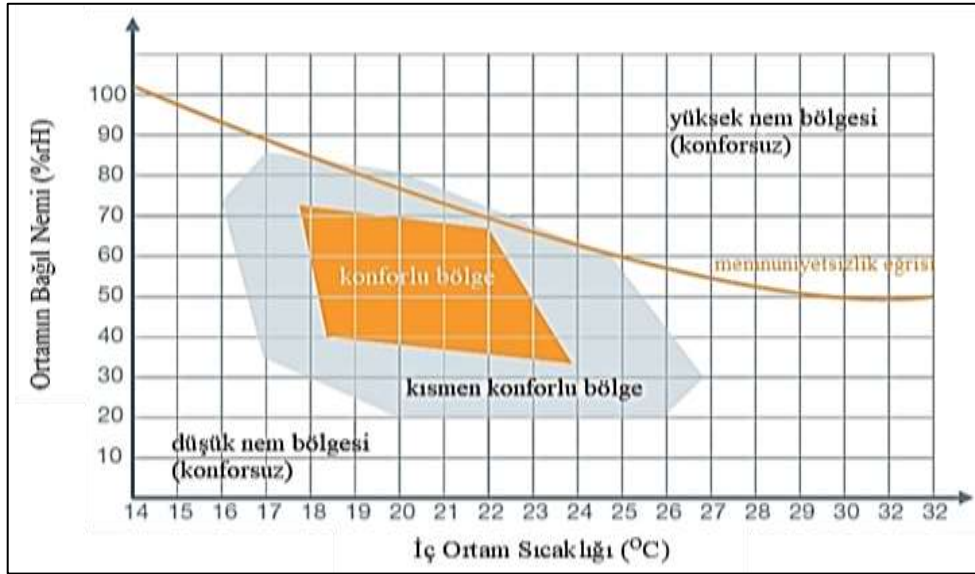
İç ortam sıcaklığı, ısı konfor şartlarının en önemli parametresidir. Kış ve yaz durumuna göre insanların kendilerini rahat hissedebilecekleri bir düzeyde olmalıdır. Yaz şartlarında iç hava sıcaklığı daha çok dış sıcaklığa göre seçilmesine rağmen, kış aylarında

iç ortamın sıcaklığı ortamın kullanım amacı ve tipine göre belirlenmektedir. ASHRAE standartlarına göre ideal şartlar için sıcaklığın 20 ± 25.5 °C olması gerekmektedir.

Küre termometre ile ölçülen ışıyım sıcaklığı, insanla çevre yüzeyler arasında ışıyım yoluyla oluşan ısı transferini belirlemek üzere, çevre yüzeylerin sıcaklıklarının birleşik etkisini ifade eden bir sıcaklıktır. İnsanın mekândaki konumuna, duruş biçimine ve çevre yüzeylerin sıcaklığına bağlıdır.

1.3.2. Bağlı Nem

Atmosferik hava, kuru hava ve su buharının karışımıdır. Havadaki su buharı oranının aynı sıcaklık ve basınçta doyma durumdaki su buharına oranı, bağlı nem olarak adlandırılır. ASHRAE standartlarına göre bağlı nemin %30-60 arasında olması gerekmektedir. Düşük bağlı nem oranı kış aylarında meydana gelmektedir. Onun için kış aylarında iklimlendirme sistemlerinde nemlendirme yapmak gerekmektedir. Düşük bağlı nem burun mukozasında ve boğazda buharlaşmaya neden olduğu için kurumaya sebebiyet vermektedir. Yüksek bağlı nem oranı patojenik ve alerjik organizmaların üremesine neden olmaktadır [3]. Şekil 1.1' de ısı konfor bölgesini göstermektedir.



Şekil 1.1. Ortam havası nemi ve sıcaklığına göre konfor bölgesi [4]

1.3.3. Karbondioksit (CO₂) Konsantrasyonu

Karbondioksit, insan kaynaklı hava kirliliğinin önemli parametrelerinden biri olarak kabul edilmektedir. İç ortamlarda karbon dioksit konsantrasyonundaki artış, insan metabolizmasından kaynaklanan koku yoğunluklarının artmasıyla ilişkilendirilmektedir. Dolayısıyla, iç mekan havasında bulunan CO₂ içeriği bir odanın ne kadar yoğun kullanıldığını doğrudan göstermektedir. İç ortam CO₂ standardı %0.1 vol (= 1000 ppm) olarak belirlenmiştir. Buna Pettenkofer sayısı adı verilir. Farklı karbon dioksit konsantrasyonlarının etkileri Tablo 1.3' de verilmektedir.

Tablo 1.3. Farklı karbondioksit konsantrasyonlarının etkisi [5]

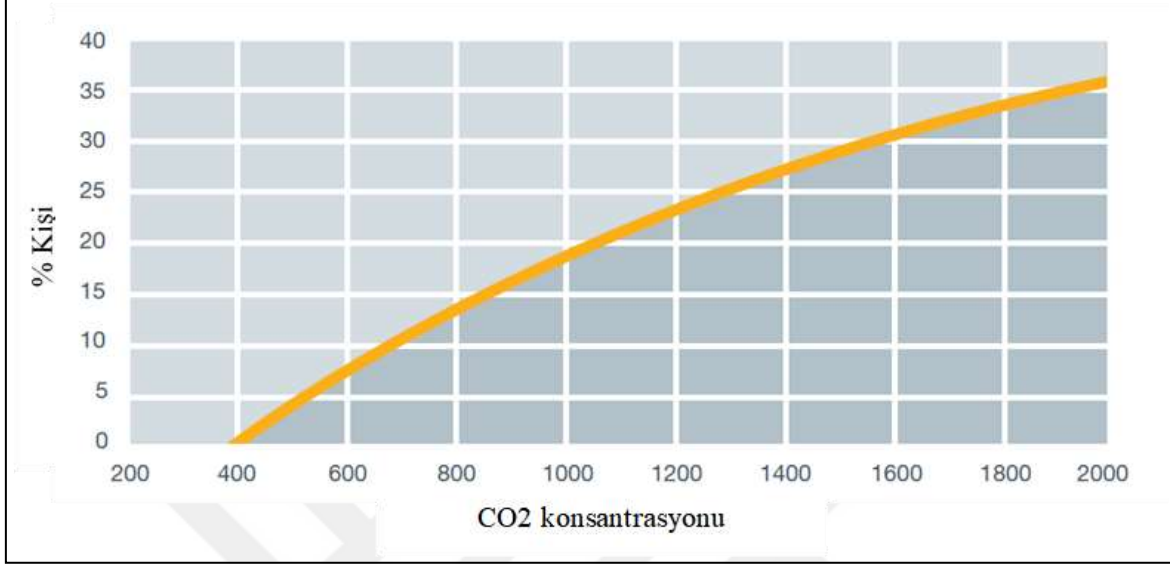
CO ₂ konsantrasyonu	Etkisi
350 ... 450 ppm	Tipik atmosferik konsantrasyon
600 ... 800 ppm	Sağlıklı iç hava kalitesi
1000 ppm	Sağlıklı iç hava kalitesi üst sınırı
5000 ppm	8 saat üzeri maksimum iş yeri konsantrasyonu
6000 ... 30 000 ppm	Yalnızca kısa süreli, kritik maruziyet
% 3 ila 8	Nefes alma sıklığında artış, baş ağrısı
> % 10	Mide bulantısı, kusma, bilinç kaybı
> % 20	Hızlı bilinç kaybı, ölüm

CO₂ bir odadaki insanların kendilerini ne kadar rahat hissettikleriyle doğrudan alakalıdır. Aşırı karbondioksit konsantrasyonundan kaynaklanan düşük hava kalitesi yorgunluk, konsantrasyon eksikliği ile sonuçlanmaktadır. CO₂ konsantrasyonunu etkileyen faktörler ise;

- İç ortam alanındaki kişi sayısı ve aktivite düzeyleri
- Kişilerin iç ortamda harcadıkları süre
- İç ortamdaki yanma süreçleri
- İç ortamın hacmi, hava değişimi ve dış hava akış hacmi

olarak sınıflandırılabilir. Karbondioksit konsantrasyonunun artmasıyla da memnun olmayan kişi yüzdesi Şekil 1.2' de verilmektedir. Konsantrasyon 1000 ppm civarında iken odadaki kişilerin % 20'sinin memnun olmaması beklenirken, 2000 ppm de bu oran

% 36' ya yükselmektedir. Karbondioksit oranının 1000 ppm değerini geçmemesi istenmektedir.



Şekil 1.2. İç mekan havasında CO2 konsantrasyonu ve memnun olmayan kişi yüzdesi [4]

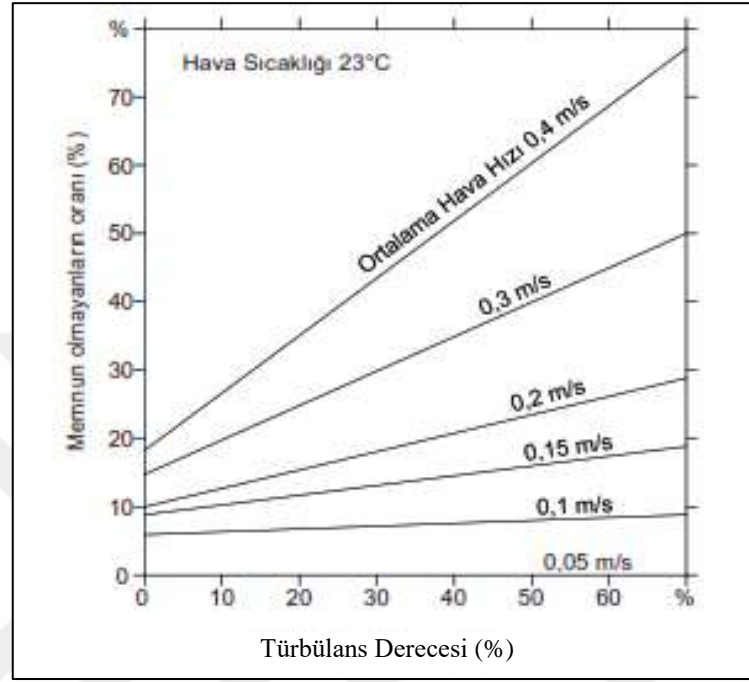
1.3.4. Hava Akış Hızı, Türbülans ve Çekme Oranı

Ortam sıcaklığı konfor şartları içinde iken ideal hava akış hızı 0.15 m/s civarında olmaktadır. Akış hızı 0.51 m/s değerinin üzerine çıktığında iç ortam esintili olarak; 0.1 m/s'nin altında hava değişimi olan yerler ise, havasız olarak kabul edilmektedir. Yeterli bir hava akışını sağlamak kadar iç ortamlardaki hava hareketlerini kontrol etmek de oldukça güç olmaktadır. Odalardaki hava akışı, mevsime bağlı olarak değişmekle birlikte, kış aylarında 0.16 m/s ve yaz aylarında 0.25 m/s değerlerini aşmamalıdır [5].

Türbülans şiddeti, hava akış hızındaki çalkantıların şiddetini ifade eder. Hava akış hızının anlık değerinin standart sapmasının ortalama akış hızına oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [4].

$$T_u = \frac{S_v}{\bar{v}} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

İç ortam hava kalitesine etki eden önemli bir parametre de insanların bulunduğu yerlerdeki hava hızıdır. Değişik hava hızları ve türbülans derecelerinde memnuniyetsizlik oranları Şekil 1.3' te verilmiştir.



Şekil 1.3. Değişik hava hızları ve türbülans derecelerinde memnuniyetsizlik oranları [6]

Çekme oranı (draught ratio), hava hızının çok yüksek olması nedeniyle memnun olmayan oda kullanıcılarının tahmini yüzdesini oluşturmaktadır. Ortam hava sıcaklığı (T_0), ortalama hava hızı (\bar{V}) ve türbülans derecesi (T_u) ile hesaplanmaktadır [4].

$$DR = (34 - T_0)(\bar{V} - 0.05)^{0.62}(0.37 \cdot V \cdot T_u + 3.14) [\%] \quad (2)$$

TS EN ISO 7730 - Kategori B'ye göre izin verilen maksimum çekme oranı % 20'dir.

1.3.5. PMV/ PPD Konfor Seviyesi

Bir odadaki konfor seviyesi, özellikle bir dizi dış unsura bağlanmaktadır. Örneğin, insanlar soğuk duvar veya pencereden kaynaklanan termal radyasyona karşı son derece hassas davranmaktadır. Bu, termal konforsuzluğa neden olmaktadır. Termal konfor, iç

ortam hava sıcaklığı ve radyasyon sıcaklığı, hava hızı ve bağıl nem parametrelerine bağlıdır. Uluslararası standart ISO 7730 PMV / PPD ölçümü (Tahmini Ortalama Oy / Tahmini Memnuniyetsizlik Yüzdesi) içinde tüm parametreleri bir araya getirmektedir.

PMV, büyük bir insan grubunun ortalama termal hissini bir ölçüsüdür. PMV değeri ortam sıcaklığı, radyasyon sıcaklığı, hava akış hızı, bağıl nem ve ayrıca giriş değerleri olarak giyim endeksi, aktivite, kıyafet indeksi değerleri ile hesaplanmaktadır. Tablo 1.4' de PMV iklim değerlendirme ölçeği verilmektedir. Ölçüm sonucu +3 ile -3 arasında bir değerdir ve çevre ile ilgilidir. -0.5 ile +0.5 arasında bir PMV değeri termal konforla eşittir. Değerlendirme grafik veya tablo şeklinde yapılabilmektedir.

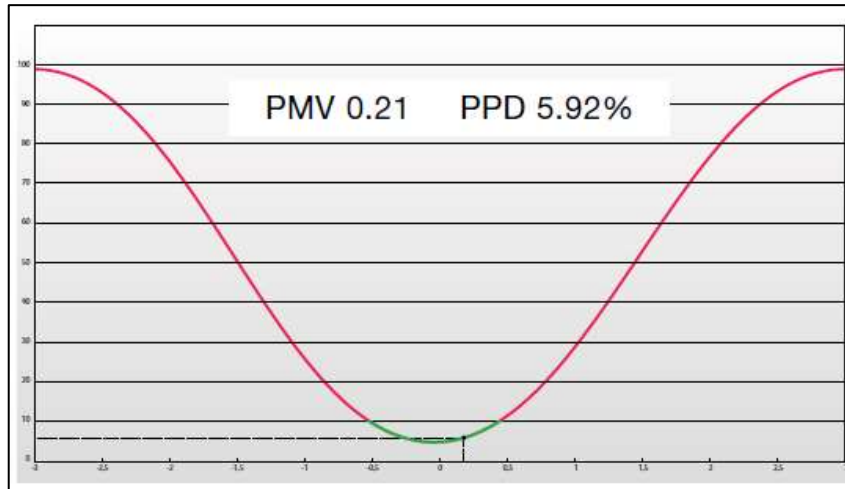
Tablo 1.4. PMV iklim değerlendirme ölçeği [4]

PMV iklim değerlendirme ölçeği	
+3	Çok sıcak
+2	Sıcak
+1	Hafif sıcak
0	Nötr
-1	Hafif soğuk
-2	Serin
-3	Soğuk

PPD, iç ortamda bulunan kişilerin yüzde kaçının o ortamın iklimlendirme koşullarından memnun olmayacağı hakkında bilgi vermektedir. Değer, yüzde olarak ifade edilmekte ve %5 oranında memnun olmayan kişilerin altına düşmemektedir. Çünkü bireyler arasındaki farklılıktan dolayı herkesi tatmin edecek bir iç ortam hava kalitesi belirtmek imkansız olmaktadır. Konfor seviyesinin belirlenmesinde kullanılan aktivite ve kıyafet indeksi Tablo 1.5' te verilmiştir.

Tablo 1.5. Aktivite ve kıyafet indeksi [4]

Ölçüm Parametresi	Ölçüm Aralığı
Aktivite	0.1 ... 4.0 met (met = Metabolik hız, insan aktivitesinin değerlendirilmesi)
Parametre [met]	Açıklama
0.1 - 0.7	Uzanmış, rahat
0.8 - 0.9	Rahat oturma
1.0 - 1.1	Oturarak yapılan iş
1.2 - 1.5	Ayakta durmak
1.6 - 1.7	Ayakta hafif iş yapmak
1.8 - 1.9	Ayakta orta derecede iş yapmak
2.0 - 2.3	Yavaş yürüyüş
2.4 - 2.9	Hızlı yürüyüş
3.0 - 3.4	Yorucu iş yapmak
3.4 - 4.0	Son derece yorucu iş yapmak
Ölçüm Parametresi	Ölçüm Aralığı
Giyim faktörü	0.1 ... 3.0 clo (clo = Giyim faktörü, giysinin değerlendirilmesi)
Parametre [clo]	Açıklama
0 - 0.02	Giysi yok
0.03 - 0.29	İç çamaşırı
0.30 - 0.49	Şort ve tişört
0.50 - 0.79	Pantolon ve tişört
0.80 - 1.29	Hafif iş kıyafetleri
1.30 - 1.79	Sıcak tutan iş kıyafetleri
1.80 - 2.29	Ceket veya manto
2.30 - 2.79	Sıcak tutan kış kıyafetleri
2.80 - 3.00	Aşırı sıcak tutan kış kıyafetleri



Şekil 1.4. Tipik bir PMV/ PDD ölçüm sonucu [4]

Şekil 1.4' te tipik bir konfor seviyesi grafiğinde, PMV değeri 0.21 ve % 5.92' lik PPD değeri yeşil hat üzerinde mavi bir nokta olarak gösterilmektedir. Yeşil hattaki tüm değerler TS EN ISO 7730' a göre ısı konfor Kategorisi B sınıfında bulunmaktadır.

1.4. İç Hava Kalitesi Standartları

ASHRAE 62–1989, 2001 ve 2004 Standardında kabul edilebilir iç hava kalitesi, içinde, bilinen kirleticilerin, yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı konsantrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve bu hava içinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranın havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir memnuniyetsizlik hissetmediği hava olarak açıklanmaktadır. CO₂ iç hava kalitesini kontrol etmek için önerilen önemli bir iç hava kirleticisidir. Normalde atmosfer havasının hacimsel olarak %0.03'ü CO₂'dir. Dış ortam havasında bulunan CO₂, çevre özelliklerine göre 330 ile 500 ppm arasında değişmektedir [7].

Tablo 1.6. İç ortam hava kalitesi ile ilgili değişik ülkelere ait standartlar [10]

Ülkeler	CO ₂	Partikül madde	Bağıl nem	Sıcaklık
ABD ASHRAE	1000 ppm	PM ₁₀ < 75 µg/m ³ (yıllık ortalama)	%30-60	20-25.5°C
ABD/EPA/NAAQS	-	50 gr/m ³ (1 yıl)	-	-
ABD NIOSH	5000 ppm 30000ppm (15dak)	-	-	-
ABD OSHA	10000 ppm 30000 ppm (15 dak.)	5 mg/m ³ (8 saat) solunabilir toz	-	-
ABD ACGIH	5000 ppm 9000 ppm (15 dak.)	3 mg/m ³ (8 saat)	-	-
Almanya MAK	5000 ppm 9000 ppm (15 dak.)	-	%30-70	20-26°C
Kanada	3500 ppm	PM _{2.5} <40 µg/m ³ (8saat) 100µg/m ³ (1 saat)	%30-80 (yaz) %30-55 (kış)	-
Çin	-	PM ₁₀ <150 µg/m ³	-	-
WHO	-	PM ₁₀ <20 µg/m ³ (yıllık ort.) PM ₁₀ < 50 µg/m ³ (24 saat)	-	-
İngiltere	-	PM ₁₀ <50 µg/m ³	-	-
Norveç	-	PM _{2.5} <20 µg/m ³	-	-
Avrupa Birliği	-	PM _{2.5} <35 µg/m ³	-	-
Hong Kong	800 ppm (1. düzey) 1000ppm (2. düzey)	PM ₁₀ <20 µg/m ³ (1. düzey) PM ₁₀ <180 µg/m ³ (2. düzey) (8 saat ortalama)	%40-70	20-25.5°C

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma Soğutma ve Havalandırma Mühendisliği Topluluğu),134
EPA/NAAQS: Environmental Protection Agency/National Ambient Air Quality Standarts (Çevre koruma ajansı),
NIOSH: National Institute of Occupational Safety And Health (Ulusal İş sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü),
OSHA: Occupational Safety and Health Administration (İş sağlığı ve Güvenliği İdaresi),
ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Amerikan Kamusal ve Endüstriyel Hijyen Konferansı),
MAK: German Maximale Arbeitsplatz Konzentrationen

Ülkemizde, TS EN ISO 27243 (TS EN 27243, 2002) ve TS EN ISO 7730 standartları, termal konfor şartlarının hesaplanabilmesi için kullanılabilecek başlıca standartlardır. 7730 standardı ılıman ortamlarda kullanılabilecek bir standarttır. İki ana kısımdan oluşan bu standardın ilk kısmı kişisel, ikinci kısmı bölgesel memnuniyetsizlik başlıkları altında toplanabilir. Günümüzde PMV (Tahmini Ortalama Oy) ve buna bağlı olarak elde edilen PPD (Tahmini Memnuniyetsizlik Yüzdesi) indeksleri kişisel

memnuniyetsizlik kısmını oluşturmaktadır ve İş Sağlığı ve Güvenliği ölçümlerinde daha sık kullanılmaktadır. Sıcak ortamlar için TS EN ISO 27243 standardı kullanılmaktadır [8, 9]. CO₂, partikül madde, bağıl nem ve sıcaklık değerleri için değişik ülkelere ait standartlar Tablo 1.6'da verilmiştir.

TS EN ISO 7730' a göre A, B ve C olarak sınıflandırılan ısı konfor kategorileri Tablo 1.7a ve 1.7b'de verilmiştir. A, yüksek seviyede; B, orta seviyede ve C, kabul edilebilir seviyede beklentilere karşılık gelmektedir [9].

Tablo 1.7a. TS EN ISO 7730' a göre ısı çevre kategorileri

Kategori	Isıl durum		Yerel konforsuzluk			
	PPD	PVM	Çekme oranı [%]	Düşey sıcaklık farkı nedeniyle memnuniyetsizlik [%]	Döşeme sıcaklığı nedeniyle memnuniyetsizlik [%]	Işınım asimetrisi nedeniyle memnuniyetsizlik [%]
A	<6	-0.2<PVM<0.2	<15	<3	<10	<5
B	<10	-0.5<PVM<0.5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0.7<PVM<0.7	<25	<10	<15	<10

Tablo 1.7b. TS EN ISO 7730' a göre ısı çevre kategorileri

Kategori	Düşey Sıcaklık Farkı [°C]	Döşeme Sıcaklık Aralığı [°C]	Işınım Sıcaklık Asimetrisi [°C]			
			Sıcak Tavan	Soğuk Duvar	Soğuk Tavan	Sıcak Duvar
A	<2	19-29	<5	<10	<14	<23
B	<3	29-29	<5	<10	<14	<23
C	<4	17-31	<7	<13	<18	<35

1.5. Literatür Araştırması

İç çevre kalitesi; ısı konfor, iç hava kalitesi, aydınlanma, akustik konfor, koku ve titreşimi kapsamaktadır. İç hava kalitesi, bilinen kirleticilerin hava içinde yasal limitleri aşmadığı ve ortamda bulunan kişilerin yaklaşık %80'inin bir memnuniyetsizlik hissetmediği ortam olarak tanımlanmaktadır. Kişilerin ısı çevre memnuniyet algısı ısı konfor olarak ifade edilir. Isıl konfor yetişkinler için üretkenliği ve iş verimini, öğrenciler için ise dikkatlerini ve öğrenme düzeylerini direk olarak etkilemektedir [7, 11, 12].

Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'ndeki üç farklı sınıfın termal konfor koşullarının belirlenmesi için deneysel bir çalışma Mihlayanlar ve diğ. [12] tarafından yapılmıştır. Termal konforu analiz etmek için metabolizma hızı, kıyafet direnci değerlerini belirleyerek; hava sıcaklığı, ışınım sıcaklığı, hava hızı, bağıl nem parametreleri ölçülerek PPD-PMV değerleri elde edilmiştir. İç ortam ve çalışma sıcaklık değerlerinin genellikle ASHRAE tarafından önerilen bölgede olduğu görülmüştür. İç ortamlarda ölçülen hava akış hızı değerleri, termal konfor koşulları için uygun değerlerde çıkmıştır. PMV ve PPD değerlerinin bazı sınıflarda sınır değerlerini yalnızca bir kez aştığı görülmüştür.

Lazowc ve diğ.[13], çalışmalarını farklı alanlara ve mimarilere sahip dört okulun sınıflarında gerçekleştirmiştir. Kış ve ilkbahar dönemlerinde yaptıkları ölçümlerde karbondioksit konsantrasyonunun, bağıl nemin ve sıcaklığın iç ortam hava kalitesini büyük ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir. Sınıflardaki yüksek CO₂ konsantrasyonunun doğal havalandırmanın yetersiz olmasından kaynaklandığını ve iç ortam hava kalitesinin düşük olmasının da öğrenci ve personel üzerindeki olumsuz etkiler oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Telejko [14], Polonya'da ki bir lise binasının laboratuvarında doğal ve mekanik havalandırma durumları için ölçümler gerçekleştirmiştir. İç ortam hava kalitesi parametreleri karbondioksit, sıcaklık ve bağıl nem olarak belirlenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda doğal havalandırma kullanılan okul laboratuvarlarında iç ortam hava kalitesinin düşük olduğu saptanmış ve mekanik havalandırma sistemleri kurularak iç ortam hava kalitesinin önemli bir ölçüde iyileştirilebileceğinin mümkün olduğu ortaya koymuşlardır.

Shandong Jianzhu Üniversitesi kampüsündeki Bowen öğretim binasında iç ortam hava kalitesine yönelik ölçümler, Shia ve diğ. [15] tarafından yapılmıştır. Aralık ayında güneşli ve gölgeli tarafta bulunan iki sınıfta sıcaklık, nem ve karbondioksit konsantrasyonu ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Değerlendirmeler sonucunda sınıfların cam kenarı ve orta bölümlerinde iç ortam hava kalitesinin daha iyi olduğu ve doğal havalandırmanın belli aralıklarla yapılmasının iç ortam hava kalitesini büyük ölçüde iyileştirdiği sonucuna varmışlardır.

Pereira ve diğ.[16], Portekiz'de bulunan orta öğretim okulundaki sınıfların dolu olduğu zamanlarda belirli periyotlarda ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Sıcaklık, bağıl nem, CO₂ konsantrasyonu ölçümlerinin yanı sıra. PMV-PPD değerlerini de belirlemişlerdir. Aynı zamanda sınıflarda termal konforun öğrenciler tarafından değerlendirilmesi için anket uygulanmıştır. Anket ve ölçüm sonuçları karşılaştırılarak yapılan değerlendirmeler

sonucunda, öğrenciler normal sıcaklığın üstündeki sıcaklıkları kabul edilebilir saymışlardır. İç ortam hava kalitesiyle ilgili olarak CO₂ konsantrasyonunun limitlerin üstündeki değerlere maruz kaldıkları saptamışlardır.

Öztürk ve Düzovalı [17], okullardaki kapalı ortam hava kalitesinin hangi faktörler tarafından etkilendiği, sebepleri ve bu ortamları kullananlarda oluşturabileceği sağlık problemlerine yönelik çalışmışlardır. Okullardaki kapalı ortam havası kirleticilerini, partikül madde, karbondioksit, karbon monoksit, nem, sıcaklık, uçucu organik bileşikler ve alerjenler olarak belirlenmiştir. Ölçümler Samsun'da farklı bölgelerdeki okulların sınıflarında gerçekleştirilmiştir. TSE ve ASHRE standartlarına göre değerlendirmeler yapılmış ve karbondioksit konsantrasyonlarının standartların üstünde değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Karbon monoksit, partikül madde değerlerinin standartların altında kaldığı; nem ve sıcaklık değerlerinin ise kabul edilebilir düzeylerde olduğu saptamışlardır.

Ana okullarındaki iç mekân hava kalitesiyle ilgili literatürün derlenmesi ve konuya karşı bir farkındalığın oluşturulması ile ilgili bir çalışma, Babaroğlu [18] tarafından yapılmıştır. Anaokulu ve ilköğretim okullarında çocuklar zamanlarının %60-80'ini kapalı ortamlarda geçirmekte ve iç ortam kirleticilerine yüksek oranda maruz kalabilmektedirler. İç ortam hava kalitesini etkileyen faktörlerin başında iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin yer aldığı belirtilmiştir. Bina içindeki hava hareketlerinin ısıl konfor ve hava kalitesi açısından önem arz ettiğini vurgulamışlardır.

Fuoco ve diğ. [19], İtalya'da üç okulun doğal olarak havalandırılmış altı sınıfında iç ortam hava kalitesini belirlemek için, kış ve ilkbahar mevsimlerinde iç ve dış ortamda partikül miktarı, siyah karbon, CO₂ ve radon konsantrasyonu ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. İç hava kirletici seviyelerinin değişkenliğini açıklamak için iç ve dış kaynakların yanı sıra havalandırmanın etkisi de tartışılmıştır. İç ve dış partikül yoğunluğu ortalamalarının araç trafiğine yakın olan okulda daha yüksek seyrettiğini ve kışın CO₂ oranının daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Sınıflarda yapılan havalandırmanın, hem kış hem de ilkbahar aylarında gün boyunca hava kalitesini (CO₂ <1000 ppm) muhafaza etmede etkili olmadığını gözlemişlerdir.

Korinek ve Frana [20], kapalı bir alanda bir karbondioksit oluşumunun ve dağılımının sayısal simülasyonlarını yapmışlardır. Simülasyonlar Reynolds ortalama Navier-Stokes (RANS) yaklaşımıyla gerçekleştirilmiştir. CO₂ konsantrasyonunun değerlerinin CFD kullanılarak hesaplamışlardır. Sayısal simülasyonlardan elde edilen CO₂ konsantrasyon değerlerinin deneysel sonuçlarla iyi bir uyum sağladığını ve. CO₂

konsantrasyonunun CFD tarafından daha kolay bir şekilde tahmin edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Katar'da farklı konumlarda bulunan mekanik havalandırma sistemine sahip 16 okulda iç ortam hava kalitesinin belirlenmesine yönelik çalışma, Abdel-Salam [21] tarafından gerçekleştirilmiştir. Yerden 1 metre yükseklikte sıcaklık, bağıl nem, karbon monoksit, karbondioksit ve partikül madde ölçümleri yapmışlardır. Yetersiz havalandırma ve sınıflardaki öğrenci sayısının fazla olmasından dolayı, karbondioksit konsantrasyonunun standartların üstünde olduğunu ifade etmişlerdir. Partikül madde miktarının ana yollara ve otoparklara yakın konumda bulunan okullarda yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Lei ve diğ.[22], Pekin'de kış mevsiminde -9°C de bir öğrenci yurdunda çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. İç hava kalitesinin değerlendirmesinde parametreler sıcaklık, CO_2 konsantrasyonu, O_2 konsantrasyonu, termal konfor ve bağıl nem ölçmüşler ve ısıl konforun değerlendirilmesi için öğrencilere anket uygulamışlardır. Oluşturdukları matematiksel modele göre; öğrenci sayısının artmasıyla birlikte, doğal havalandırmayı artırmayı ve kişi başına düşen hacim $6,5\text{ m}^3$ 'ten az olduğu durumlarda CO_2 konsantrasyonunun, sıcaklığın, bağıl nemin ve termal konforun standart değerlerin üstünde olacağı sonucuna varmışlar ve iç hava kalitesinin sadece doğal havalandırma ile standartlara uygun hale gelemeyeceği belirtmişlerdir.

Stabile ve diğ. [23], farklı sınıflarda, partikül sayısı ve CO_2 konsantrasyonu bakımından iç ortam hava kalitesi değerlendirmesi yapmışlardır. Önceden belirlenmiş bir havalandırma stratejisi uygulanarak ölçümler yapılmıştır. Isıtma döneminde, belirlenen pencere açılış süreleri nedeniyle genellikle çok yüksek karbondioksit konsantrasyonları ortaya çıkmıştır. Isıtma olmayan dönemde ise karbondioksit konsantrasyonunun standartlara uygun değerlere yaklaştığı, doğal havalandırmanın ısıtma dönemlerinde yeterli olmadığını gözlemlemişlerdir.

Polonya ve İspanya'da bulunan iki farklı iklim şartlarında yer alan okullardaki sınıflarda iç ortam hava kalitesi belirlenmesine yönelik deneysel bir çalışma, Krawczyka ve diğ. [24] tarafından gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık, basınç ve karbondioksit konsantrasyonu ölçümleri yaparak, sınıfların mevcutlarının tam olması halinde CO_2 konsantrasyonunun 1000 ppm seviyesini aştığı gözlemlemişlerdir. Öğrencilere sınıflarda hava kalitesinin değerlendirilmesi için memnuniyet anketi yapılmıştır. Ölçümlerin yanı sıra karbon dioksit konsantrasyonunun belirlenmesi için geliştirdikleri model ile deneysel verilerin uygunluk

gösterdiğini belirtmişlerdir. Sınıflarda hava değişim oranının 2.5÷4.5 saat arasında, tam dolulukta ise 6 ÷ 9 saat arasında değişmesi gerektiği ifade etmişlerdir.

Hou ve diğ. [25], Çin Pekin'de iki ilköğretim okulunun sınıflarındaki iç ortam hava kalitesinin belirlenmesine yönelik; havalandırma oranları, CO₂ ve PM_{2.5} ölçümleri yapmışlardır. Ölçüm sonuçlarında doğal olarak havalandırılan sınıflarda pencere ve kapıların kapalı olduğu durumda CO₂ konsantrasyonunun çok yüksek seviyelere çıktığını tespit etmişlerdir. Doğal olarak havalandırılan sınıflarda havalandırma oranı kişi başına 5 l/s' den daha yüksek olması ile CO₂ konsantrasyonunun düşük seviyede kalmasını sağlayacağını belirtmişlerdir. Sınıflarda iç ortam hava kalitesinin iyi olmasını sağlamak için, mekanik havalandırma sistemlerinin kullanılması gerektiği ifade edilmiştir.

Abdallah [26], sınıflarındaki termal konfor ve CO₂ konsantrasyonlarının araştırılmasını amaçlamıştır. Fanger modelini kullanarak, PMV-PPD termal konforun belirlenmesi için altı parametre için izleme yapmıştır. Sonuçlar, sınıfların çoğunluğunun nötr ile hafif sıcak arasında değişmekte olup, PPD değeri % 22'dir. Sınıflarda mutlak nem ve CO₂ konsantrasyonunun doğal havalandırmaya ile kabul edilebilir ASHRAE aralığında olduğunu gözlemlemişlerdir. Sınıfların iç ortam sıcaklığını ve CO₂ konsantrasyonunu azaltmak için ise çapraz havalandırma ve bina tasarım stratejileri kullanılması önerilmiştir.

Vilcekova ve diğ. [27], özel eğitim okulu sınıflarında iç ortam hava kalitesinin incelenmesine yönelik olarak sıcaklık, bağıl nem, partikül madde, karbondioksit konsantrasyonu, ses seviyesi ve aydınlatma koşullarının ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. PMV-PPD modeli kullanılarak termal konfor değerlendirilmesi yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarında partikül maddelerin sebep olduğu kirlilikler, düşük aydınlatma, yüksek CO₂ konsantrasyonu ve ses rahatsızlıkları ortaya çıkmıştır. Öğrenciler ve çalışanlardaki çeşitli rahatsızlıkların sebeplerinin de bu parametrelerin standart değerlerin üstünde seyretmesinden kaynaklandığı doğrulanmıştır.

1.6. Tezin Amacı, Kapsamı ve Özgün Değeri

Bu çalışmada farklı mekânlarda iç ortam hava kalitesinin ve ısıl konfor şartlarının deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Isıl konforu etkileyen parametrelerin değişik ortamlarda farklı zamanlarda ölçülerek bir durum tespiti yapılmakta ve çözüm önerileri sunulmaktadır.

İç ortam hava kalitesini etkileyen parametreler sıcaklık, nem, karbondioksit konsantrasyonu, aydınlatma, hava akış hızı ve türbülanstır. Farklı mekânlarda bu parametreler zamana göre ölçülerek PMV-PPD konfor seviyesi değerleri belirlenmiş, sonuçlar standartlarla karşılaştırılmış ve alınan ölçümlerin analizi yapılarak çözüm önerileri sunulmuştur.

Elde edilecek sonuçların, ilgili alanda mevcut bilgi ve veriye katkı sağlayacağı; iç ortam özelliklerinin zamana göre değişimlerinin belirlenmesi ve hava kalitesinin iyileştirilmesi için geliştirilecek yöntemlerin özgün değer oluşturacağı düşünülmektedir.



2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde deneyde kullanılan cihazın tanımı, hassasiyeti, kullanılan probalar ve ölçüm sistemi anlatılmaktadır.





2.1. Deneylerde Kullanılan Cihazın Tanımı ve Hassasiyeti

İç ortamlardaki hava kalitesinin ve konfor seviyesinin belirlenmesine yönelik deneylerde Şekil 2.1' de görülen, TESTO-480 çok fonksiyonlu ölçüm cihazı ile birlikte Tablo 2.1' de gösterilen dijital probalar kullanılmıştır. Cihazla farklı ortamlarda sıcaklık, nem, karbondioksit konsantrasyonu, akış hızı ölçülmüş ve PMV/PPD konfor seviyesi değerleri belirlenmiştir.



Şekil 2.1. İç ortam hava kalitesi ölçüm cihazı

Tablo 2.1. Ölçme sistemi problemleri [28]

Prob	Ölçüm Aralığı	Doğruluk
<p>İç hava kalitesi probu (0632 1543)</p>  <p>Sıcaklık, nem, ortam basıncı ve karbondioksit konsantrasyonunu ölçer.</p>	<p>0... +50 °C</p> <p>0...100 %RH</p> <p>0...+10000 ppm CO₂</p> <p>+700... +1100 hPa</p>	<p>± 0.5 °C</p> <p>±(1.8 %RH + 0.7 % ölç. değ.)</p> <p>±(50 ppm CO₂ + 2% ölç. değ.)</p> <p>0... +5000 ppm CO₂</p> <p>±(100 ppm CO₂ +3% ölç. değ.)</p> <p>5001 ...+10000 ppm CO₂</p> <p>±3 hPa</p>
<p>Nem ve sıcaklık probu (0636 9743)</p>  <p>Yüksek hassasiyette nem ve sıcaklık ölçer.</p>	<p>0...100 %RH</p> <p>-20... +70 °C</p>	<p>±(1.0 %RH + 0.7 % ölç. değ.)</p> <p>0... 90 % RH</p> <p>±(1.4 %RH+0.7% ölç.değ.)</p> <p>90...100 % RH</p> <p>± 0.5 °C</p>
<p>Küre sıcaklık probu (0602 0743)</p>  <p>K-tipi termoelemanlı küre termometre radyasyon sıcaklığını ölçer.</p>	<p>0... +120 °C</p>	<p>Sınıf 1</p>
<p>Türbülans seviyesi probu (0628 0143)</p>  <p>Hava akış hızını, sıcaklık ve ortam basıncını ölçer. Türbülans derecesini belirler.</p>	<p>0... +50 °C</p> <p>0... +5 m/sn</p> <p>+700... +1100 hPa</p>	<p>± 0.5 °C</p> <p>±(0.03 m/sn +4 % ölç.değ.)</p> <p>±3 hPa</p>
<p>RH: Bağıl nem ppm: Milyonda parçacık</p>		

2.2. İç Hava Kalitesi Ölçüm Sistemi

İç ortam hava kalitesinin belirlenmesinde, sıcaklık, nem, akış hızı ve türbülans seviyesi, karbondioksit konsantrasyonu ve PMV/PPD (konfor seviyesi) değerlerini ölçmeye yönelik problemlerin TESTO-480 cihazına bağlanması ile Şekil 2.2' de görülen ölçme sistemi oluşturulmuştur. Ölçüm sonuçlarının takibi, analizi ve raporlanması Testo EasyClimate yazılımı ile yapılmıştır [29]. Ölçümler, standartların öngördüğü şekilde yerden 1.1 m yükseklikte gerçekleştirilmiştir. PMV / PPD ölçümüne başlamadan önce, ışıyım sıcaklığını ölçen küre probun dengelenmesi 30 dakika beklenmiştir. Türbülans derecesi ve çekme oranı ölçümleri 180 s süresince alınmıştır.



Şekil 2.2. İç Hava Kalitesi Ölçme Sistemi

2.3. Gürültü Ölçüm Sistemi

İnsanlar üzerinde olumsuz etki yapan ve hoş gitmeyen seslere gürültü denir. Gürültü; insanların işitme sağlığını ve algılamasını olumsuz etkileyen, fizyolojik, psikolojik dengelerini bozabilen, iş performansını azaltan önemli bir çevre kirliliği türüdür. Gürültü yapı dışı ve yapı içi olarak sınıflandırılmaktadır. Yapı dışı gürültü; ulaşım, endüstri, inşaat ve rekreasyon alanlarından kaynaklanmaktadır. Yüksek sesle konuşma ve müzik dinleme, evsel araçlardan çıkan sesler yapı içi gürültü kaynaklarıdır. Tablo 2.2' de gürültü seviyeleri ve etkileri verilmektedir.

Tablo 2.2. Ses seviyesi aralıkları ve etkileri [30]

Seviye	dBA	Etki
	0-35	Zarar vermeyen gürültü
Birinci	36-65	Uyku ve dinlenmeyi bozabilen rahatsız edici gürültü
İkinci	66-85	Rahatsız edici, ruhsal yönden zarar veren, kulak bozukluklarına yol açan gürültü
Üçüncü	86-115	Ruhsal ve fiziksel yönden zarar veren, psikosomatik hastalıklara yol açan gürültü
Dördüncü	116-130	Tehlikeli gürültü, sağrlık ve buna benzer önemli durumlar
Beşinci	131-150	Çok tehlikeli gürültü, koruyucu bir alet olmadan dayanılmaz. Anında önemli hasarlar veren gürültü

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)' ne ait Topluluk Gürültüsü yönergesinde sınıflarda öğrenme süresince arka plan gürültü seviyesi 35 dBA olarak uygun görülmüştür. Tablo 2.3, çeşitli ülkeler için kabul edilebilir gürültü seviyelerini göstermektedir.

Tablo 2.3. Ükelere göre gürültü üst seviyeleri [31]

Ülke	dBA	Ülke	dBA
Belçika	30-45	İngiltere	40
Fransa	38	İsveç	30
Almanya	30	Türkiye	40
İtalya	36	Avrupa Birliği	45
Portekiz	35	Dünya Sağlık Örgütü	35

Gürültü seviyesi ölçümünde, Şekil 2.3' te görülen, PCE-322A ses seviye ölçer cihazı kullanılmıştır. dBA ve dBC olmak üzere 30-130 dB aralığında 0.1 dB hassasiyetle anlık ve ortalama ses seviyesi ölçülebilmektedir. Genel ses seviyesi ölçümü dBA, akustik bir kaynağın ses seviyesi ölçümü dBC olarak yapılmaktadır.



Şekil 2.3. Gürültü Ölçme Sistemi

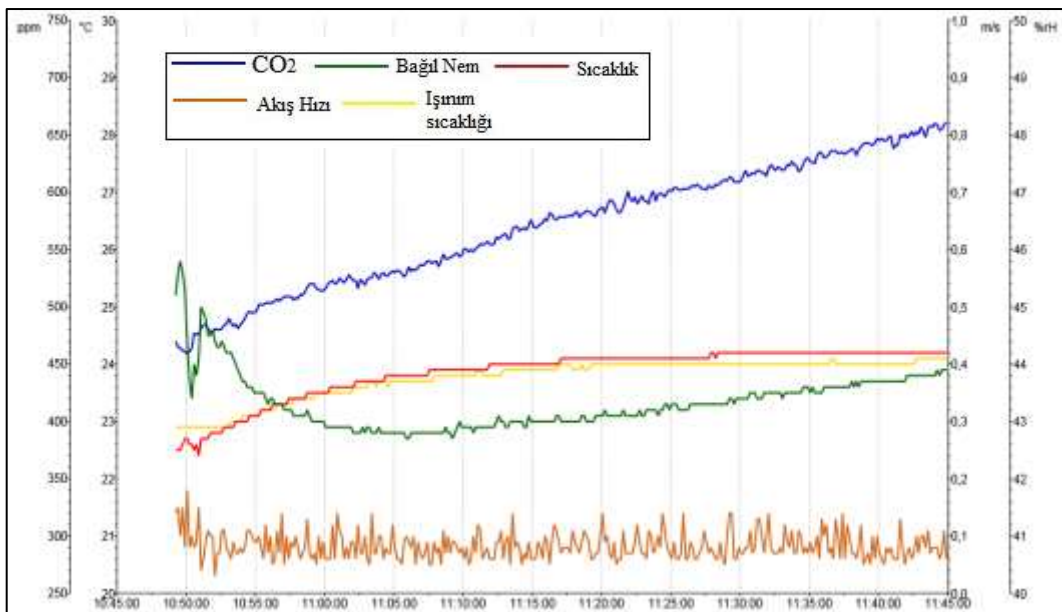
3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu çalışmada farklı mekânlarda iç ortam hava kalitesi parametreleri; karbon dioksit konsantrasyonu, sıcaklık, bağıl nem, hava akış hızı, PMV-PPD konfor seviyesi deneysel olarak incelenmiştir. Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği binasında akademisyen odaları, sınıflar, kafeteryalar ile konutlarda değişik zamanlarda ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmaya ilk olarak odada bir kişi bulunması halinde iç ortam hava kalitesi parametrelerinin değişimlerinin gözlenmesi ile başlanmıştır. Daha sonra kişi sayısının fazla olduğu iç ortamlarda iç ortam hava kalitesi parametrelerinin değişimi ayrıntılı bir şekilde belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerin sonuçları grafik ve tablolarla verilmiştir.

3.1. Akademisyen Odasında İç Ortam Hava Kalitesinin İncelenmesi

Ölçüm yapılan odanın hacmi 64 m³ olup, bir pencere ve bir kapı bulunmakta ve doğal olarak havalandırılmaktadır. Ölçüm öncesi oda havalandırılmıştır. İçinde bir kişinin bulunduğu ve 1 saat süreyle havalandırma yapılmayan odadaki ısı konfor parametrelerinin değişimi Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Tek kişinin olduğu penceresi kapalı oda sonuçları

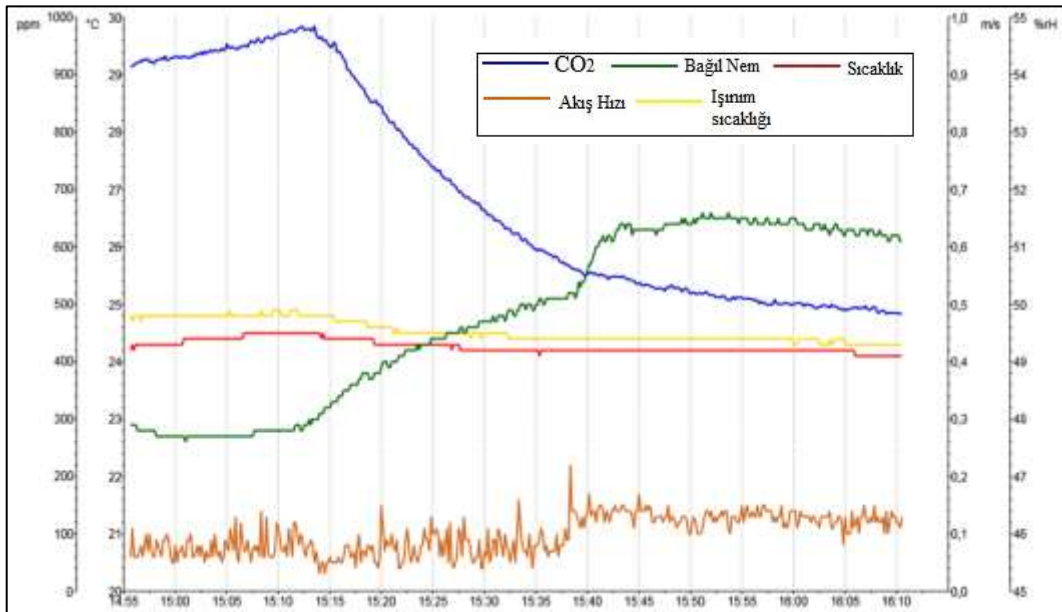
İç ortam hava kalitesi parametreleri olan sıcaklık, bağıl nem, hava akış hızı, ışıma sıcaklığı ve CO₂ konsantrasyonu değişimlerinin ortalama, en yüksek ve en düşük değerleri Tablo 3.1' de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Penceresi kapalı odada hava kalitesi parametreleri değerleri

	Işınım sıcaklığı [°C]	Ortam sıcaklığı [°C]	Bağıl nem [%]	CO ₂ [ppm]	Akış hızı [m/s]
Ortalama	23.8	23.8	43.3	571	0.08
Max	24.1	24.2	45.8	661	0.18
Min	22.9	22.4	42.7	459	0.03

Ölçüm sonuçlarına göre 60 dakikalık süreçte karbondioksit konsantrasyonu 202 ppm, ortam sıcaklığı 1.8 °C artmış ve bağıl nem % 3.1 azalmıştır. Sıcaklık, bağıl nem ve hava akış hızı standart değerlere uygunluk göstermiştir.

Şekil 3.2 odada bir kişi bulunması durumunda ölçüm başladıktan 15 dakika sonra pencere açılarak yapılan ölçüm değerlerini göstermektedir. Sıcaklık, bağıl nem, hava akış hızı, ışıma sıcaklığı ve CO₂ konsantrasyonu değişimlerinin ortalama, en yüksek ve en düşük değerleri Tablo 3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Tek kişinin olduğu penceresi açık oda sonuçları

Tablo 3.2. Penceresi açık odada hava kalitesi parametreleri değerleri

	Işınım sıcaklığı [°C]	Ortam sıcaklığı [°C]	Bağıl nem [%]	CO ₂ [ppm]	Akış hızı [m/s]
Ortalama	24.5	24.3	49.8	694	0.10
Max	24.9	24.5	51.6	985	0.22
Min	24.3	24.1	47.6	483	0.03

Oda penceresinin açılmasından sonra bir saatlik süreçte karbondioksit konsantrasyonunun 502 ppm, ortam sıcaklığının 0.4 °C ve ışınım sıcaklığının 0.6 °C azaldığı ve bağıl nemin % 4 arttığı görülmektedir. Işınım sıcaklığı, ortam sıcaklığından ortalama 0.2 °C daha yüksek değerdedir.

Ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında 1 saatlik süreçte hafif iş yapmakta olan bir kişinin ürettiği CO₂ miktarı ortalama 200 ppm civarındadır. 1ppm= % 1×10^{-4} m³ dür. Bir kişinin 1 saatlik süreçte ürettiği CO₂ miktarı yaklaşık olarak saniyede 5.5×10^{-6} m³/s olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.3' de kişi başına üretilen karbondioksit miktarına göre iç ortamda hangi aktivitede bulunduğu bilgisi verilmektedir. Ölçümlerden hesaplanan CO₂ miktarına göre de bir kişinin ortamdaki aktivite türü hafif iş yapma aralığına yakındır.

Tablo 3.3. Çeşitli aktivite seviyeleri için CO₂ emisyonu [14]

Aktivite Türü	Kişi başına üretilen CO ₂	
	[dm ³ /s· kişi]	[m ³ /s· kişi]
Dinlenmek	0.004	$4 \cdot 10^{-6}$
Hafif işler yapmak	0.006÷0.012	$(6 \div 12) \cdot 10^{-6}$
Orta-zor iş yapmak	0.012÷0.020	$(12 \div 20) \cdot 10^{-6}$
Zor iş yapmak	0.020÷0.026	$(20 \div 26) \cdot 10^{-6}$
Çok zor iş yapmak	0.026÷0.032	$(26 \div 32) \cdot 10^{-6}$

Açık pencere önünde ve oturma seviyesinde, yerden 1.1 m yükseklikte oda içinde ölçülmüş türbülans derecesi ve çekme oranları Tablo 3.4' te verilmiştir. Pencere önünde türbülans derecesi ve çekme oranı, sırasıyla %65 %45 civarlarında iken oda ortasında pencerenin kapalı olması durumunda %29 ve %2.5 civarlarına inmektedir. Kapalı ortamlarda hava hızının çok yüksek olması nedeniyle memnun olmayan oda kullanıcılarının tahmini yüzdesi olarak tanımlanan çekme oranı, TS EN ISO 7730 - Kategori B'ye göre en çok % 20 olmalıdır.

Tablo 3.4. Ölçülmüş türbülans derecesi ve çekme oranları

	15.05.2019 16:11 Pencere önü	15.05.2019 16:20 Pencere açık oda ortası	15.05.2019 16:48 Pencere kapalı oda ortası
Ortalama akış hızı [m/s]	0.26	0.07	0.06
Ortalama sıcaklık [°C]	21.09	21.91	22.34
Türbülans derecesi [%]	64.6	50.3	28.8
Çekme oranı [%]	44.9	4.2	2.6

3.2. Sınıflarda İç Ortam Hava Kalitesi Parametrelerinin İncelenmesi

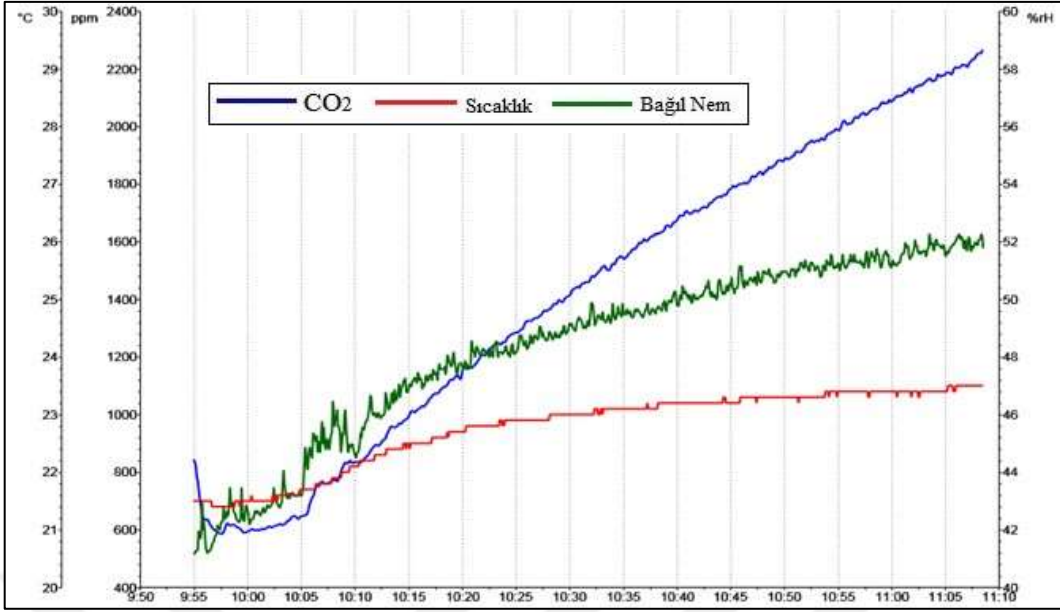
KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü sınıflarında iç ortam hava kalitesinin belirlenmesine yönelik ölçümler yapılmıştır. İlk olarak sınıflarda sabah saatlerinde derslikler boş durumda iken yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.5'te verilmiştir. Karbondioksit konsantrasyonu, sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre sabah saatlerinde dersler başlamadan önce sınıflardaki iç ortam hava kalitesinin standartlara uygun olduğu görülmüştür.

Tablo 3.5. Sınıfların boş olduğu durumda yapılan ölçümler

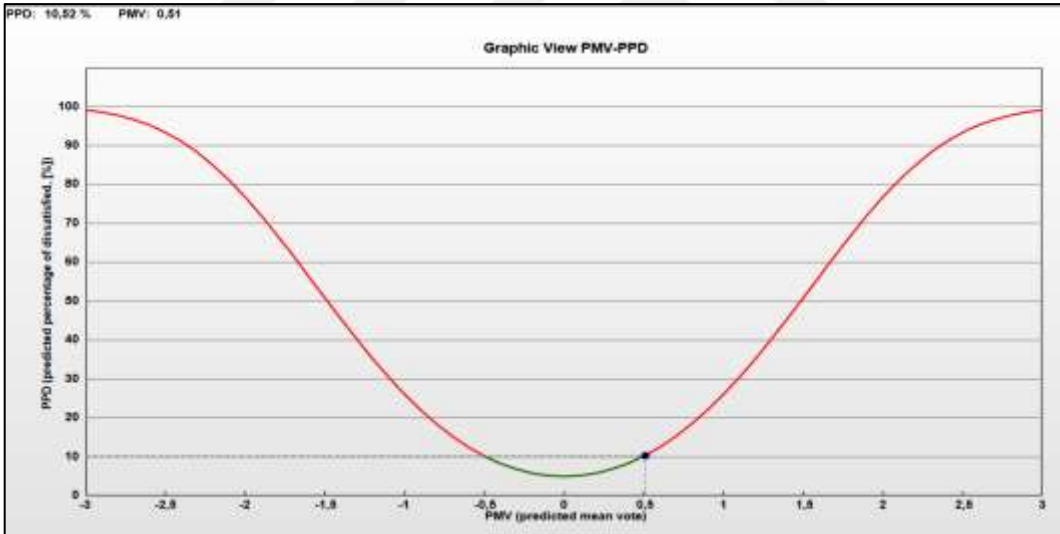
	CO ₂			Sıcaklık			Bağıl nem		
	min	max	ort	min	max	ort	min	max	ort
D5	476	539	504	22.7	23.2	22.9	29.3	31.8	30
D6	485	530	510	21.8	22.5	22.1	39.1	42.8	40.4
D7	460	568	495	21.5	21.8	21.7	34.7	35.7	34.9
D8	476	526	491	20.6	21.2	21	38.4	39.6	38.8
MA	459	520	487	22.2	22.7	22.4	33.1	36.9	35

- D7 dersliğinde ölçüm

KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü D7 dersliğinde kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.3' te verilmiştir. Pencere kapalı olduğu sınıfta 42 kişi bulunmaktadır. 1 saatlik sürede CO₂ konsantrasyonunun 600 ppm değerinden 2000 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 21.4 °C'dan 23.2 °C'a, bağıl nem % 43'ten % 56' ya yükselmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 22.8 °C, bağıl nem % 48.4, karbondioksit konsantrasyonu 1423 ppm dir. Şekil 3.4' de konfor seviyesi belirlenmesinde PPD: % 10.52, PMV: % 0.51 dir. Değerler konfor bölgesi olan yeşil hattın sınırında yer almıştır.



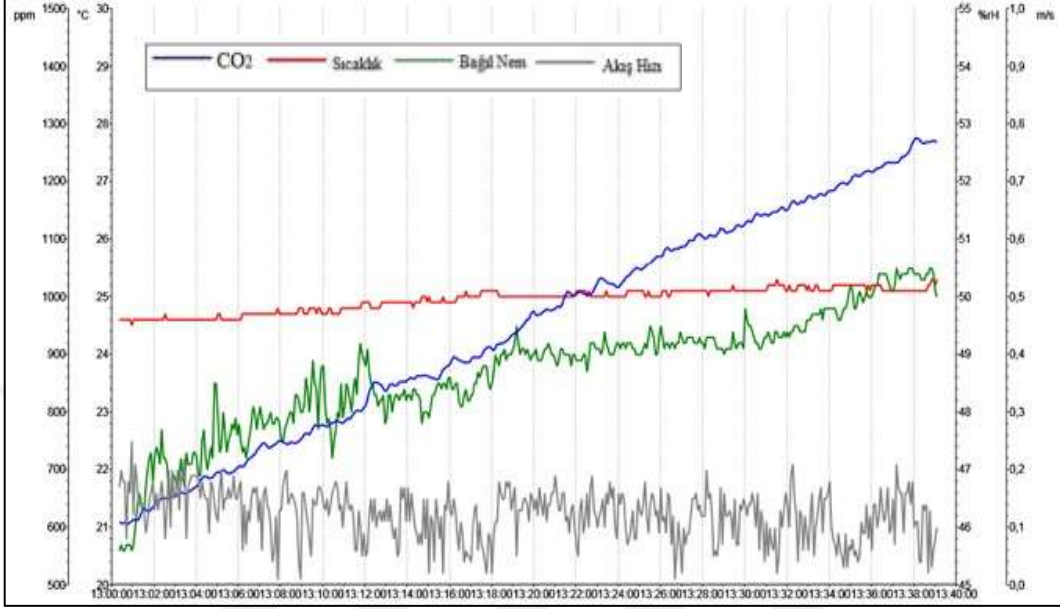
Şekil 3.3. D7 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları



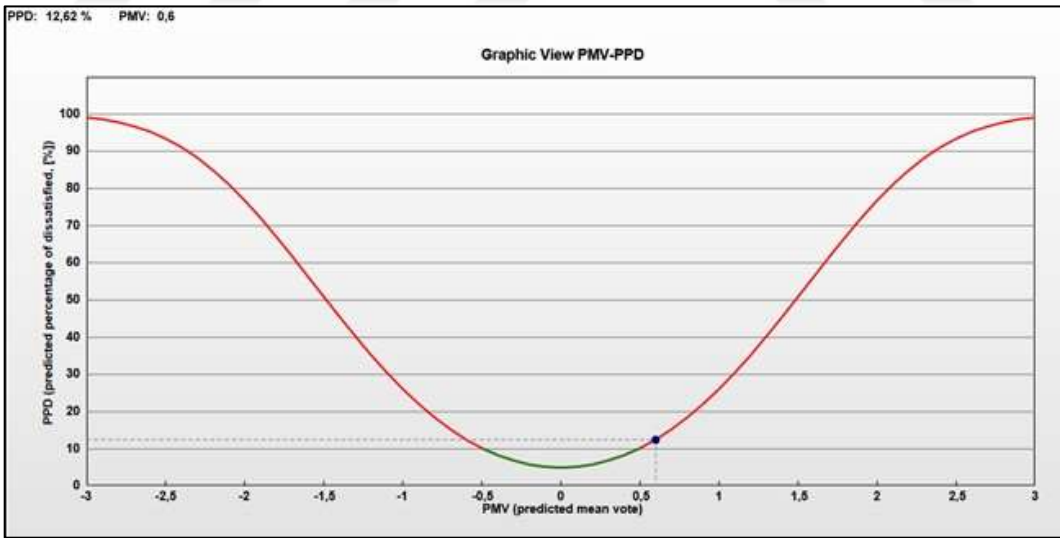
Şekil 3.4. D7 dersliği kış dönemi konfor seviyesi

D7 dersliğinde yaz dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.5' te verilmiştir. Üç pencerenin yarı açık ve derslik kapısının kapalı olduğu durumda sınıfta 32 kişi bulunmaktadır. 40 dakikalık ölçüm süresinde CO₂ konsantrasyonunun 600 ppm değerinden 1200 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 24.6 °C civarındadır. Bağıl nem % 46 dan % 50.5 değerine yükselmiştir. Ortalama akış hızı 0.1 m/s değerindedir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 25 °C, bağıl nem % 48.7, karbondioksit konsantrasyonu

948 ppm dir. Şekil 3.6' da konfor seviyesi belirlenmesinde PPD: % 12.62, PMV: % 0.6' dır. Değerler konfor bölgesi olan yeşil hat bölgesinin dışında kalmıştır.



Şekil 3.5. D7 dersliği yaz dönemi ölçüm sonuçları

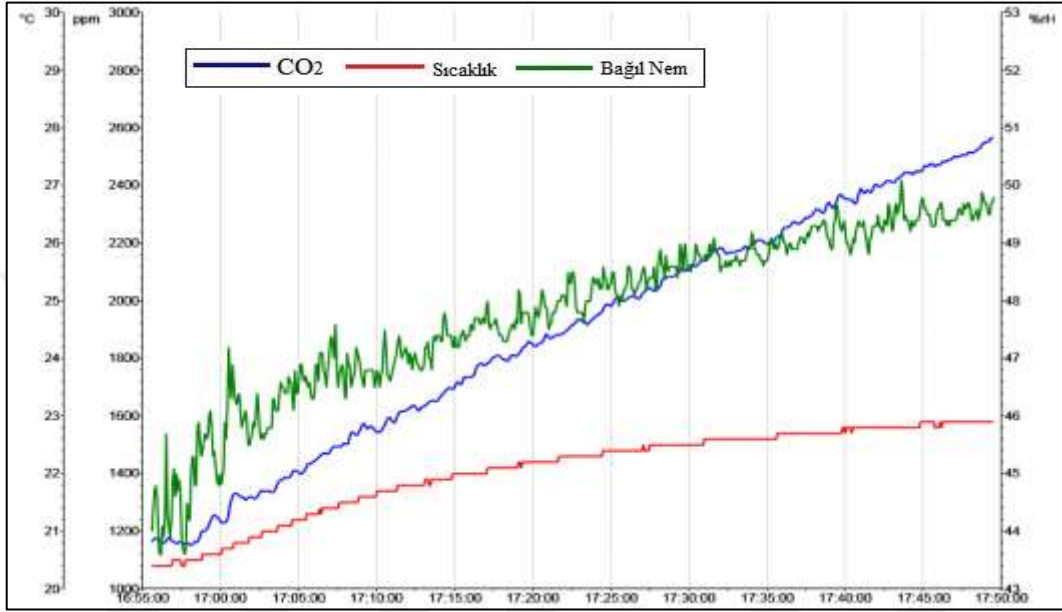


Şekil 3.6. D7 dersliği yaz dönemi konfor seviyesi

- D5 dersliğinde ölçüm

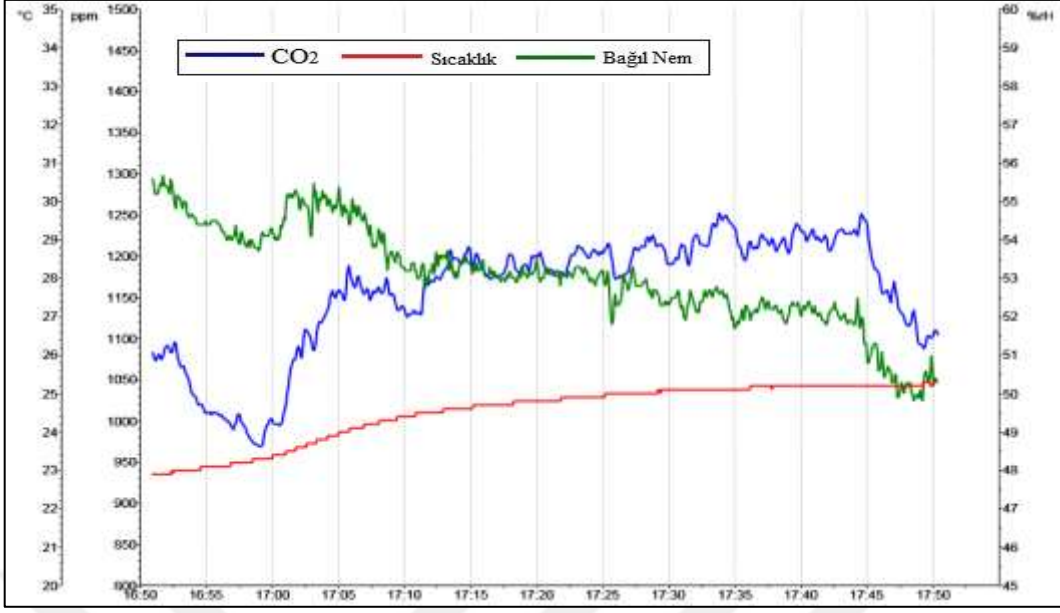
KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü D5 dersliğinde kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.7' de verilmiştir. Pencere kapalı olduğu sınıfta 40 kişi bulunmaktadır. 1 saatlik

sürede CO₂ konsantrasyonunun 1152 ppm değerinden 2567 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 20.4 °C'dan 22.9 °C'a, bağıl nem % 43.6'dan % 50.1'e yükselmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 22 °C, bağıl nem % 47.8, karbondioksit konsantrasyonu 1888 ppm dir.

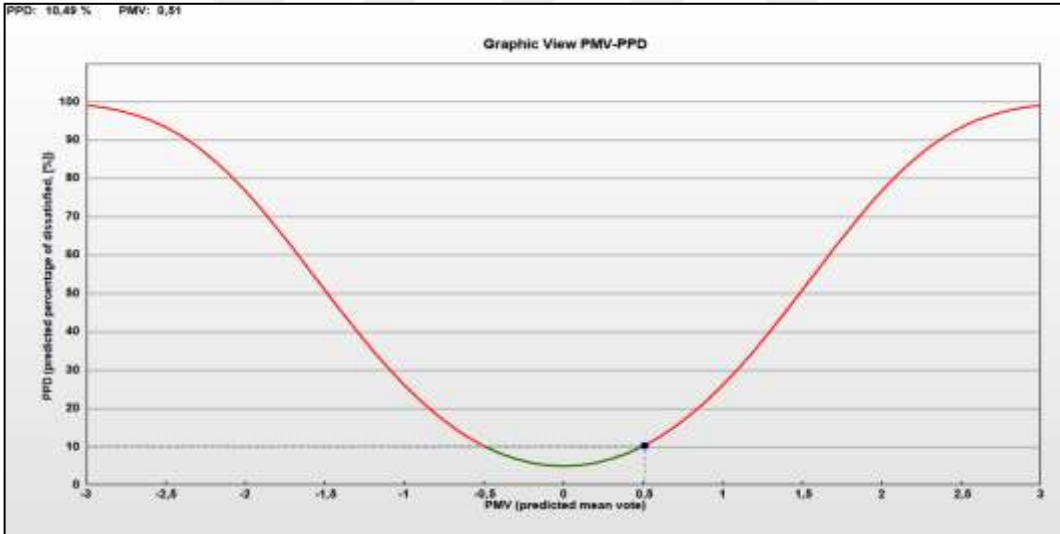


Şekil 3.7. D5 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları

D5 dersliğinde yaz dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.8' de verilmiştir. Üç pencerenin yarı açık ve derslik kapısının açık olduğu durumda sınıfta 39 kişi bulunmaktadır. 1saatlik ölçüm süresinde CO₂ konsantrasyonunun 969 ppm değerinden 1254 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 24 °C civarındadır. Bağıl nem % 50 den % 55.7 değerine yükselmiştir. Ortalama akış hızı 0.11 m/s değerindedir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 24.5 °C, bağıl nem % 53.1, karbon dioksit konsantrasyonu 1156 ppm dir. Şekil 3.9' da konfor seviyesi belirlenmesinde PPD: % 10.49, PMV: % 0.5' dir. Değerler konfor bölgesi olan yeşil hat bölgesinin sınırında kalmıştır.



Şekil 3.8. D5 dersliği yaz dönemi ölçüm sonuçları

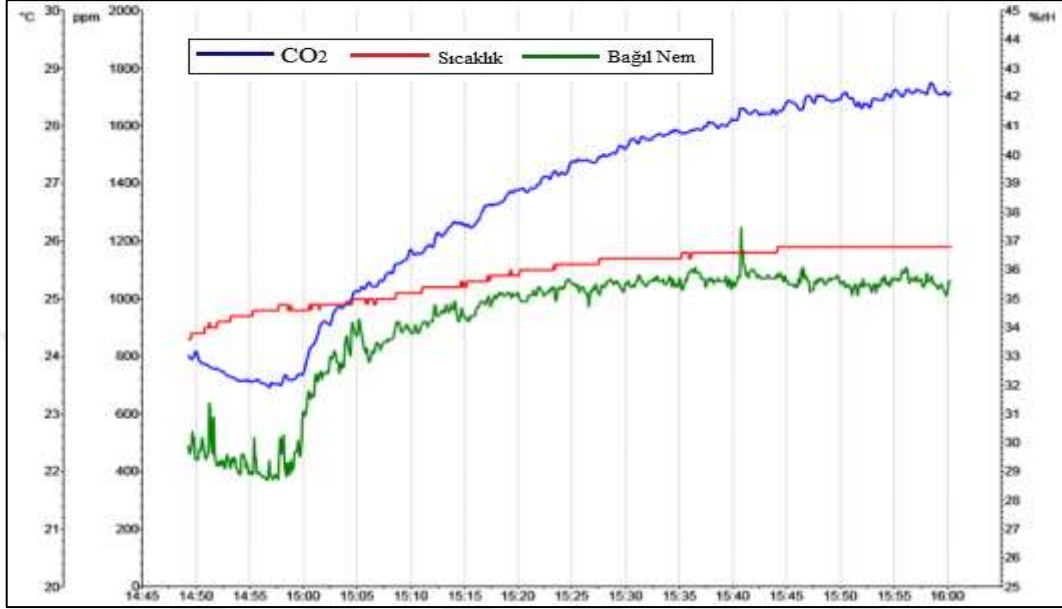


Şekil 3.9. D5 dersliği yaz dönemi konfor seviyesi

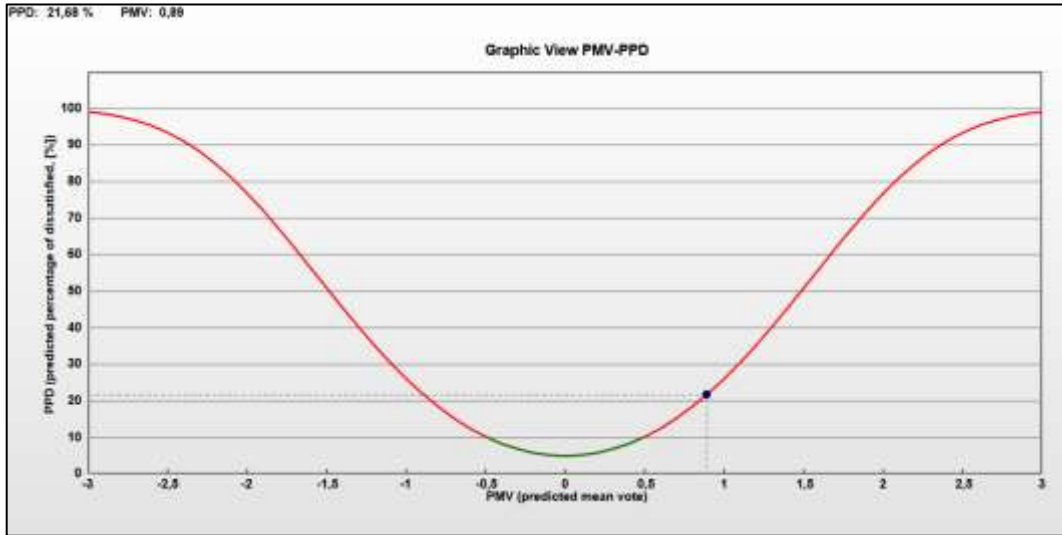
- R1 dersliğinde ölçüm

KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü R1 dersliğinde kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.10' da verilmiştir. Pencerelerin kapalı, derslik kapısının açık olduğu sınıfta 118 kişi bulunmaktadır. 1 saatlik sürede CO₂ konsantrasyonunun 690 ppm değerinden 1750 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 24.2 °C' dan 26.1 °C' a, bağıl nem % 28.7' den % 37.5' a yükselmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 25.4 °C, bağıl

nem % 34.1, karbondioksit konsantrasyonu 1338 ppm dir. Şekil 3.11’ de konfor seviyesi belirlenmesinde PPD: % 21.68, PMV: % 0.8’ dir. Değerler konfor bölgesi olan yeşil hattın dışında kalmıştır.



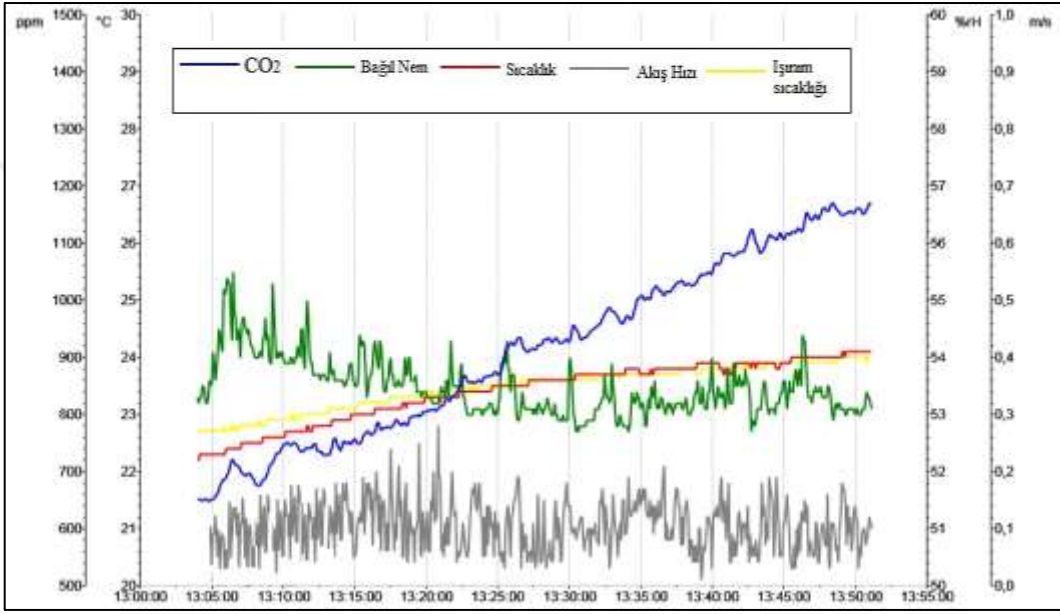
Şekil 3.10. R1 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları



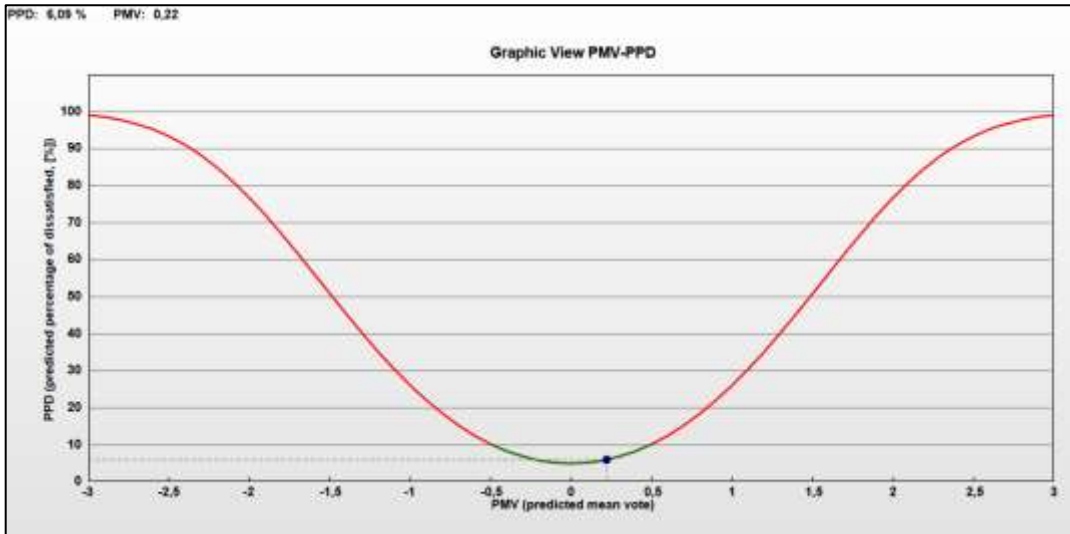
Şekil 3.11. R1 dersliği kış dönemi konfor seviyesi

R1 dersliğinde yaz dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.12’ de verilmiştir. Dört pencerenin yarı açık olduğu durumda sınıfta 70 kişi bulunmaktadır. 55 dakikalık ölçüm süresinde CO₂

konsantrasyonunun 647 ppm değerinden 1171 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 23 °C civarındadır. Bağıl nem % 52.7' den % 55.5 değerine yükselmiştir. Ortalama akış hızı 0.11 m/s değerindedir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 23.4 °C, bağıl nem % 53.5, karbon dioksit konsantrasyonu 911 ppm dir. Şekil 3.13' de konfor seviyesi belirlenmesinde PPD: % 6.49, PMV: % 0.5' dir. Değerler konfor bölgesi olan yeşil hatta yer almıştır.



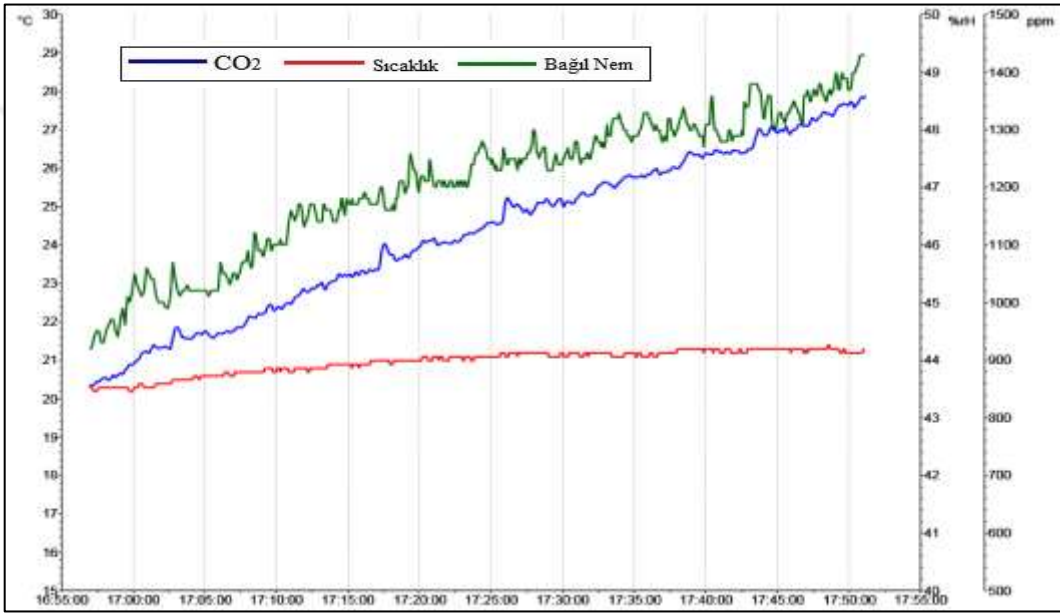
Şekil 3.12. R1 dersliği yaz dönemi ölçüm sonuçları



Şekil 3.13. R1 dersliği yaz dönemi konfor seviyesi

- MA dersliğinde ölçüm

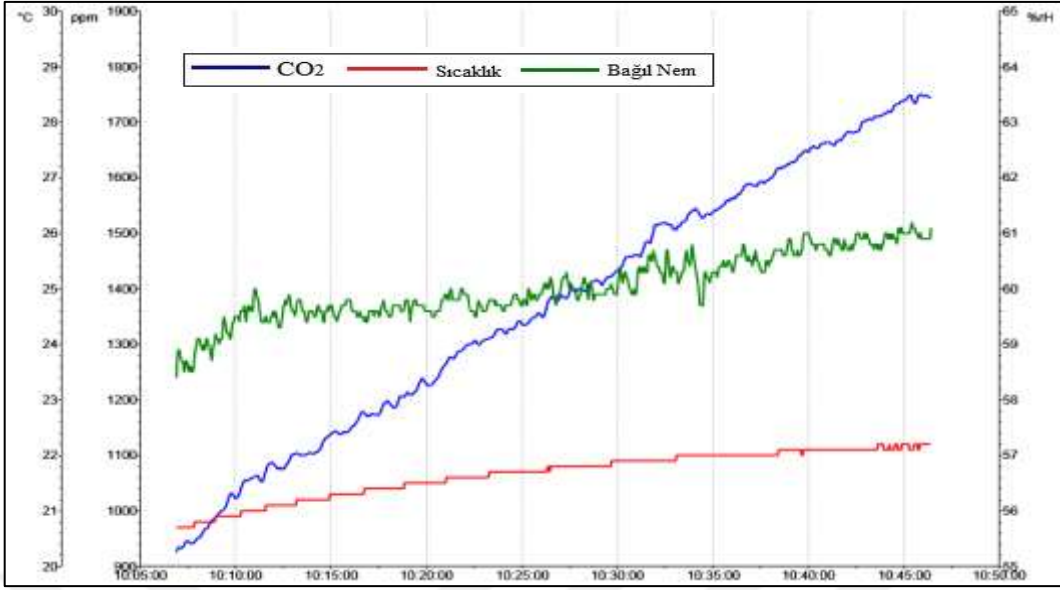
KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü MA dersliğinde kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.14' te verilmiştir. Pencere kapalı olduğu sınıfta 50 kişi bulunmaktadır. 1 saatlik sürede CO₂ konsantrasyonunun 856 ppm değerinden 1360 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 20.3 °C' dan 21.3 °C' a, bağıl nem % 44.2' den % 49.3' e yükselmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 21 °C, bağıl nem % 47.2, karbon dioksit konsantrasyonu 1139 ppm dir.



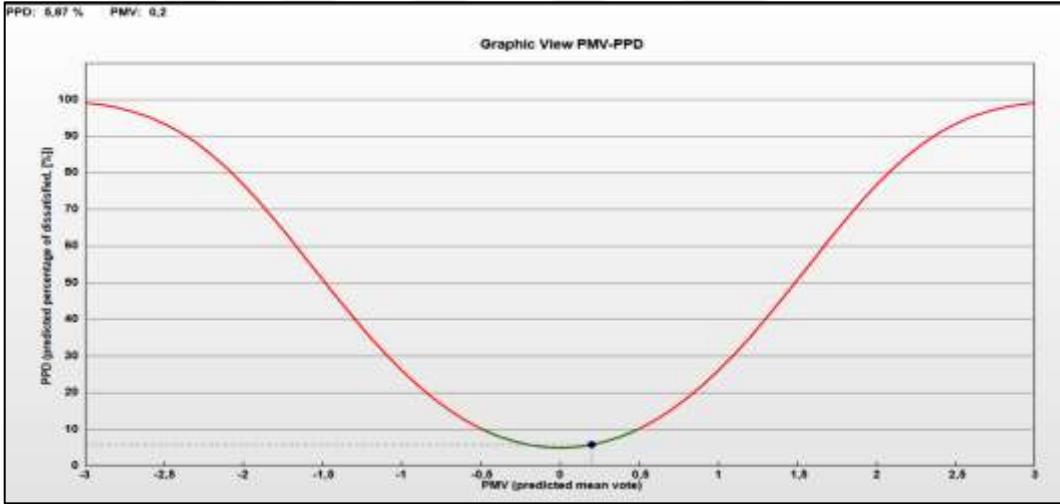
Şekil 3.14. MA dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları

- D8 dersliğinde ölçüm

KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü D8 dersliğinde kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.15' te verilmiştir. Pencere kapalı olduğu sınıfta 55 kişi bulunmaktadır. 45 dakikalık sürede CO₂ konsantrasyonunun 926 ppm değerinden 1751 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 20.7 °C' dan 22.2 °C' a, bağıl nem % 58.4' den % 61.2' ye yükselmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 21,7 °C, bağıl nem % 60, karbon dioksit konsantrasyonu 1370 ppm dir. Şekil 3.16' da konfor seviyesi belirlenmesinde PPD: % 5.87, PMV: % 0.2 dir. Değerler konfor bölgesi olan yeşil hatta yer almıştır.



Şekil 3.15. D8 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları

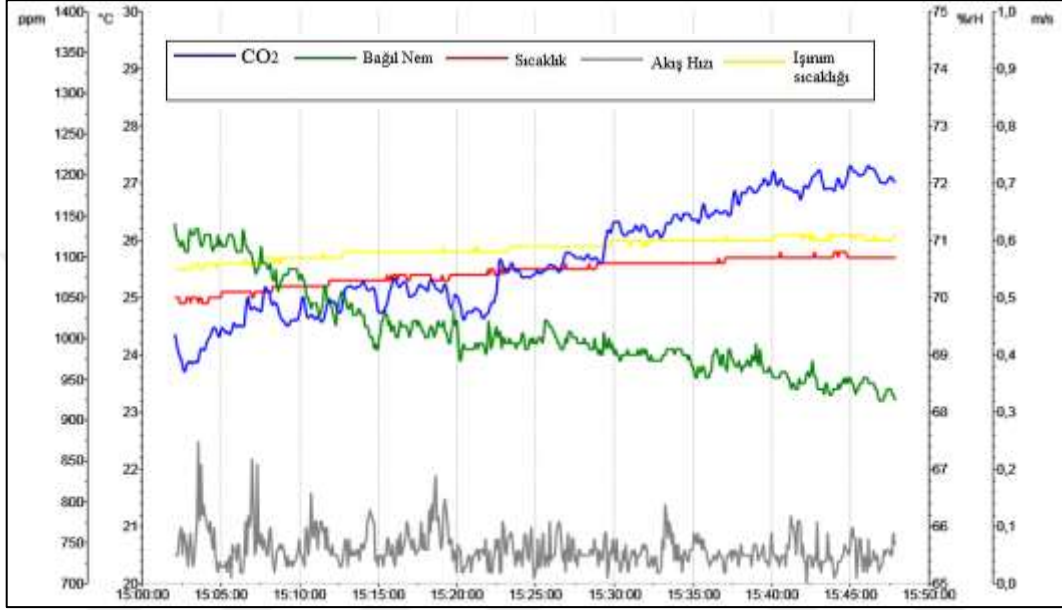


Şekil 3.16. D8 dersliği kış dönemi konfor seviyesi

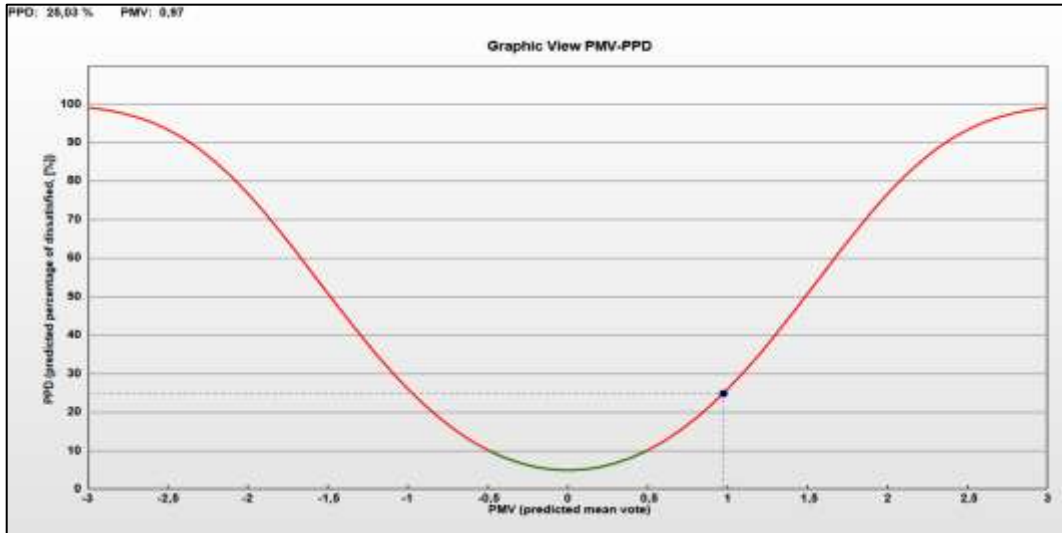
D8 dersliğinde yaz dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.17' de verilmiştir. Kapının ve dört pencerenin yarı açık olduğu durumda sınıfta 46 kişi bulunmaktadır. 45 dakikalık ölçüm süresinde CO₂ konsantrasyonunun 960 ppm değerinden 1212 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Bağıl nem % 68.2' den % 71.3 değerine yükselmiştir. Ortalama akış hızı 0.06 m/s değerindedir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 25.7 °C, bağıl nem % 69.4, karbondioksit konsantrasyonu 1097 ppm dir. Şekil 3.18' de konfor seviyesi belirlenmesinde PPD: % 25.03, PMV: % 0.97' dir. Değerler konfor bölgesi olan yeşil hattın dışında yer almıştır. Tablo 3.6' da türbülans derecesi ölçüm sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.6. D8 dersliği türbülans derecesi ölçümü

Ortalama akış hızı	0.09 m/s
Ortalama sıcaklık	24.82 °C
Türbülans	% 34.8
Çekme oranı	% 5.5



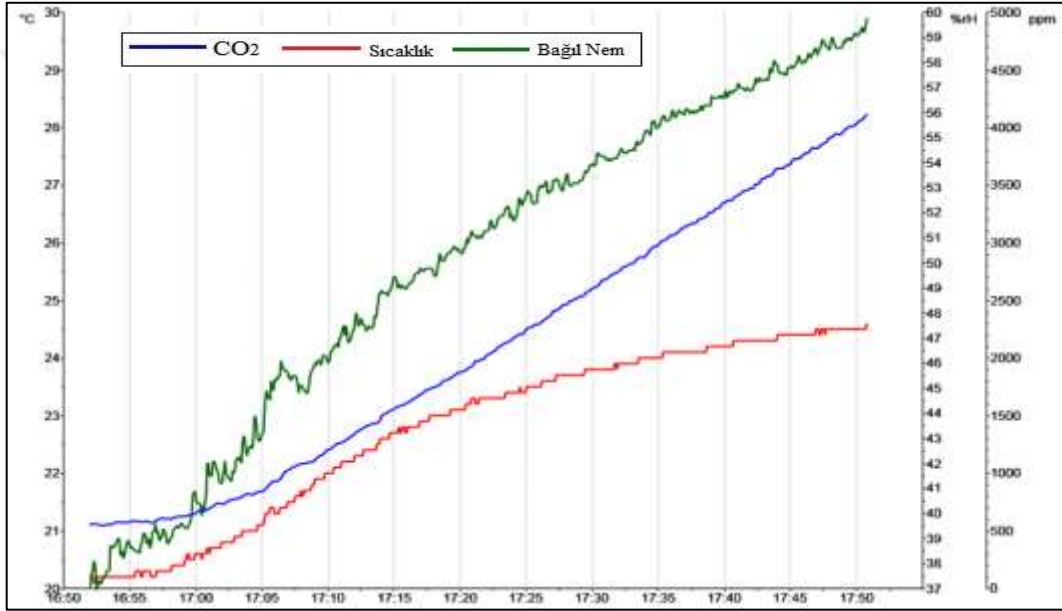
Şekil 3.17. D8 dersliği yaz dönemi ölçüm sonuçları



Şekil 3.18. D8 dersliği yaz dönemi konfor seviyesi

- L2 dersliğinde ölçüm

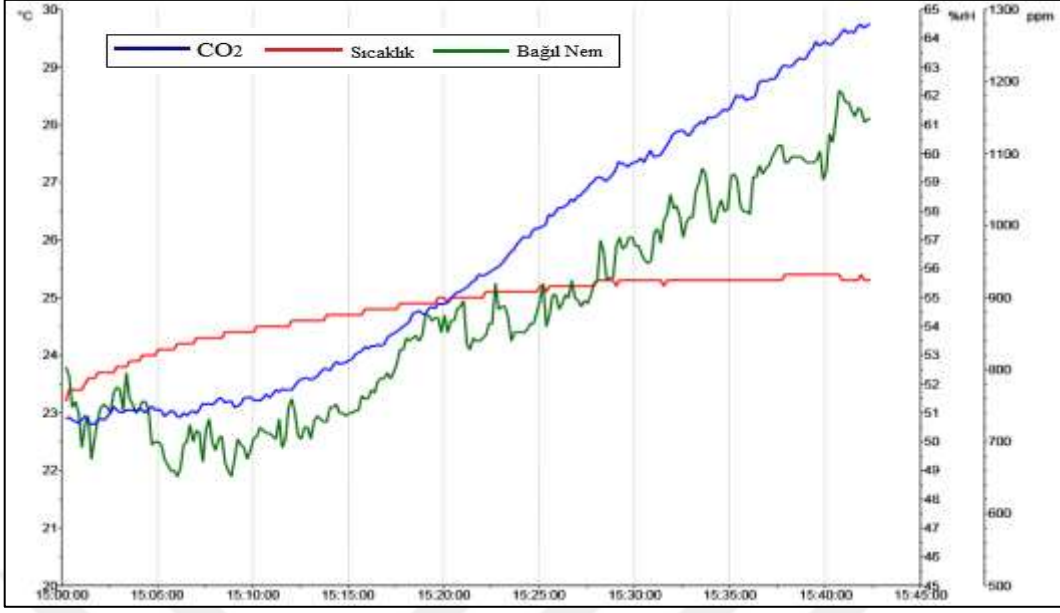
KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü L2 dersliğinde kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.19' da verilmiştir. Pencere ve kapıları kapalı durumdaki sınıfta 35 kişi bulunmaktadır. 1 saatlik sürede CO₂ konsantrasyonunun 551 ppm değerinden 4123 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 20.1 °C' dan 24.6 °C' a, bağıl nem % 37' den % 59.8' e yükselmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 22.8 °C, bağıl nem % 49.9, karbondioksit konsantrasyonu 2067 ppm dir. CO₂ konsantrasyonu kritik seviye olan 1000 ppm değerine göre 4 katı artış göstermiştir. Ayrıca bağıl nem % 62 oranında artmıştır.



Şekil 3.19. L2 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları

- Akademisyen dinlenme salonu

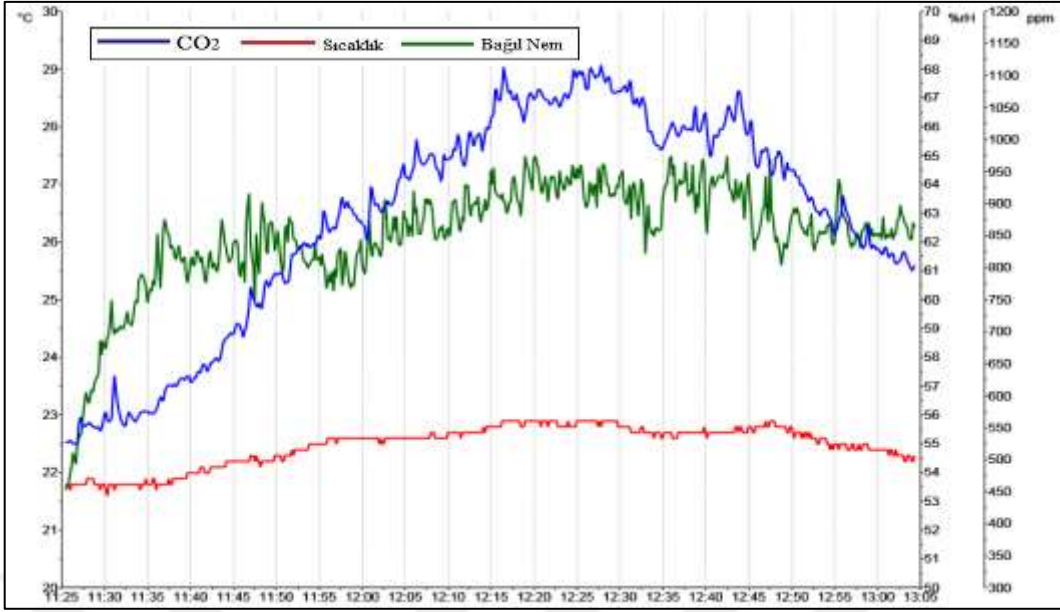
KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü akademisyen dinlenme salonu kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.20' de verilmiştir. Dinlenme salonunda, yapılan ölçüm sırasında çay makinası çalışmaktadır ve salonda 8 kişi bulunmaktadır. 45 dakikalık sürede CO₂ konsantrasyonunun 724 ppm değerinden 1281 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 23.2 °C' dan 25.4 °C' a, bağıl nem % 48.8' den % 62.2' ye yükselmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 24.8 °C, bağıl nem % 54.3, karbondioksit konsantrasyonu 951 ppm dir.



Şekil 3.20. Akademisyen dinlenme salonu kış dönemi ölçüm sonuçları

- Bölüm Kantini

KTÜ Makina Mühendisliği Bölüm kantini kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.21’de verilmiştir. Ölçüm kantinin yoğun olduğu öğle vaktinde yapılmıştır. 1,5 saatlik sürede CO₂ konsantrasyonunun 523 ppm değerinden 1117 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 21.6 °C’ dan 22.9 °C’ a, bağıl nem % 53.5’ ten % 65’ e yükselmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 22.5 °C, bağıl nem % 62.2, karbon dioksit konsantrasyonu 879 ppm dir.

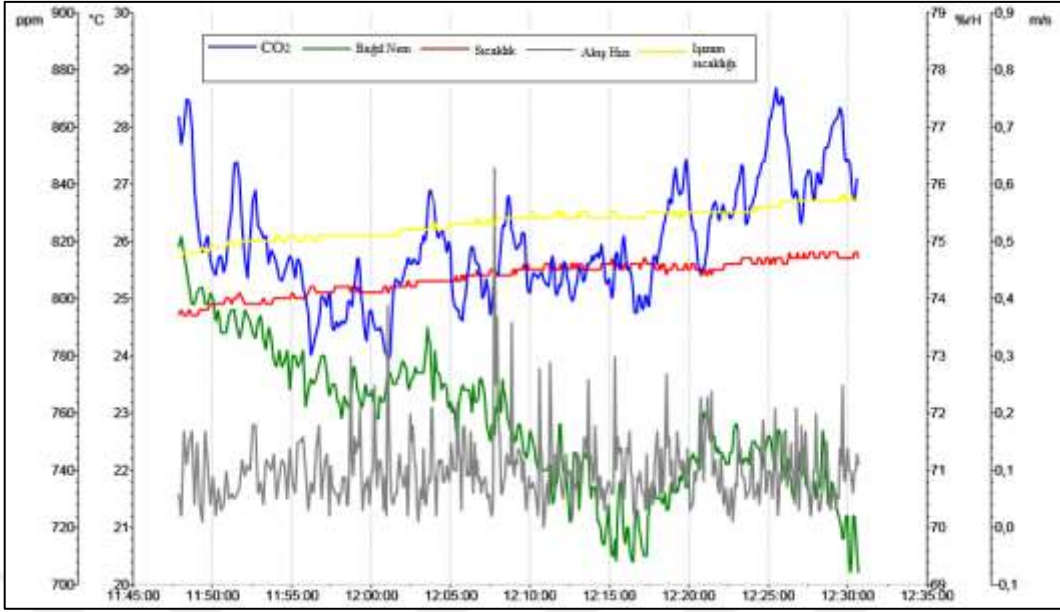


Şekil 3.21. Bölüm kantini kış dönemi ölçüm sonuçları

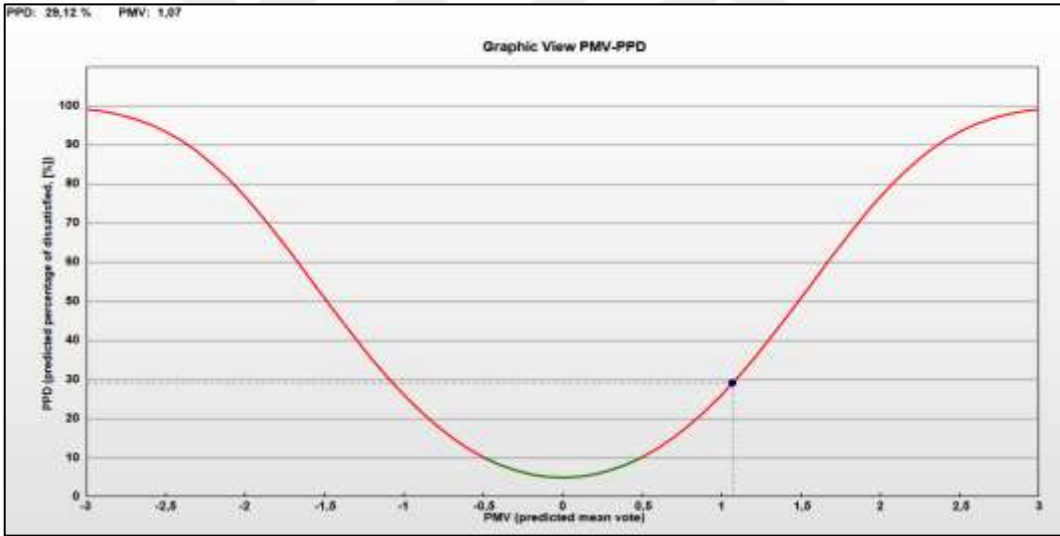
Bölüm kantini yaz dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.22' de verilmiştir. İki pencere tam açık, iki pencerenin yarı açık olduğu bölüm kantininde ortalama 80 kişi bulunmaktadır. 40 dakikalık ölçüm süresinde CO₂ konsantrasyonunun 778 ppm değerinden 874 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 26 °C civarındadır. Bağıl nem %69.2' den %75.1 değerine yükselmiştir. Ortalama akış hızı 0.10 m/s değerindedir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 26.1 °C, bağıl nem % 71.1, karbondioksit konsantrasyonu 820 ppm dir. Şekil 3.23' de konfor seviyesi belirlenmesinde PPD: % 29.12, PMV: % 1.07' dir. Değerler konfor bölgesi olan yeşil hattın dışında kalmıştır. Tablo 3.7' de türbülans derecesi ölçümü sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.7. Bölüm kantini türbülans derecesi ölçümü

Ortalama akış hızı	0.12 m/s
Ortalama sıcaklık	24.45 °C
Türbülans	% 52.4
Çekme oranı	% 10



Şekil 3.22. Bölüm kantini yaz dönemi ölçüm sonuçları

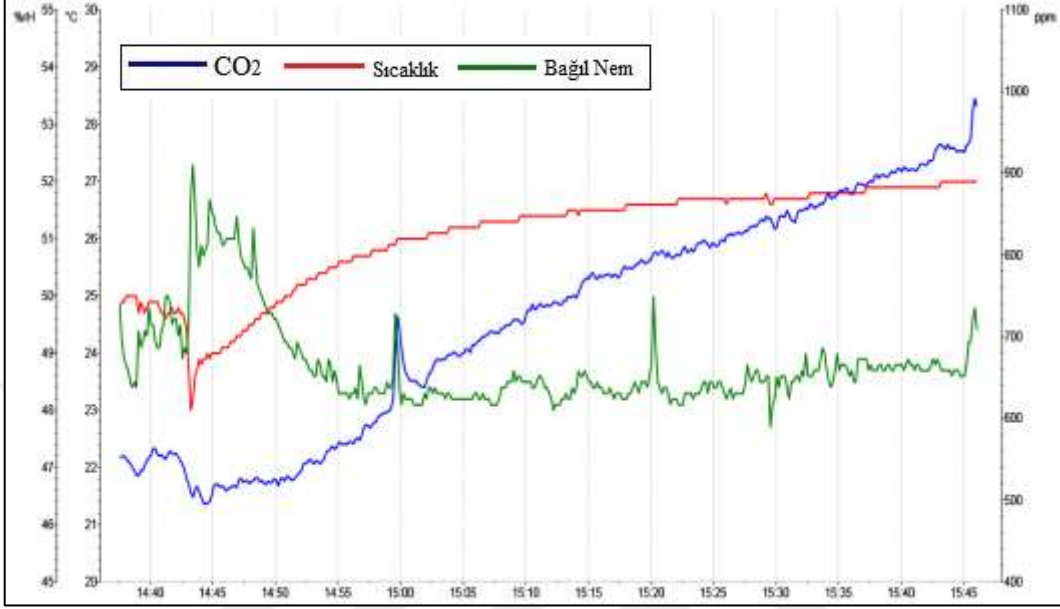


Şekil 3.23. Bölüm kantini yaz dönemi konfor seviyesi

- Bölüm sekreterliği

KTÜ Makina Mühendisliği Bölüm sekreterliği kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.24’te verilmiştir. Ölçüm başladıktan sonra pencere açılarak 10 dakika havalandırma yapılan oda da 3 kişi bulunmaktadır. Odanın hacmi 92 m^3 dür. 1 saatlik sürede CO_2 konsantrasyonunun 495 ppm değerinden 992 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı $23 \text{ }^\circ\text{C}$ ’ dan $27 \text{ }^\circ\text{C}$ ’ a, bağıl nem $\% 47.7$ ’ den $\% 52.3$ ’ e yükselmiştir. Ölçüm

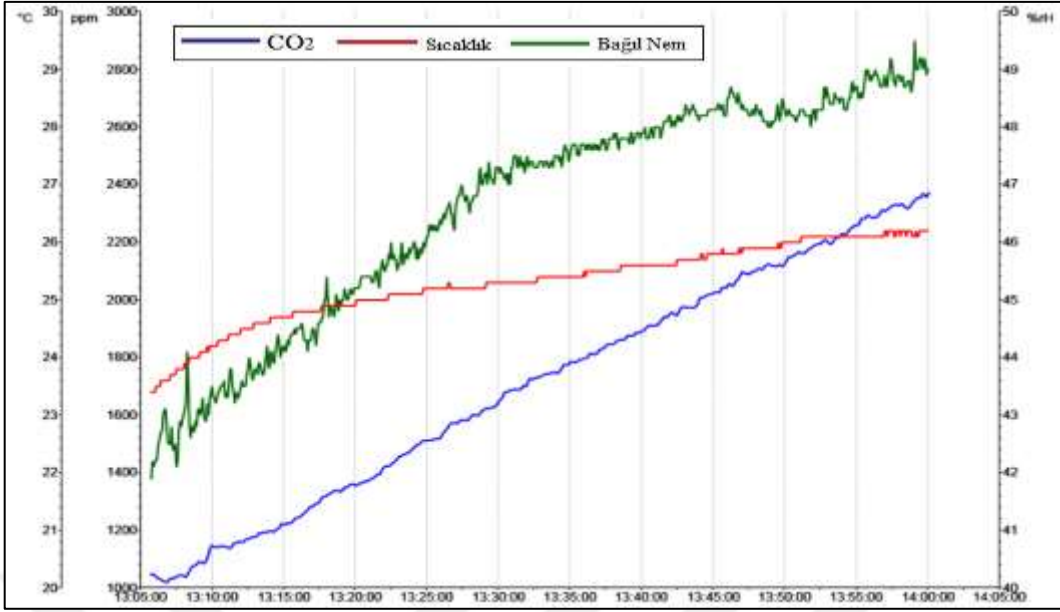
sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 26 °C, bağıl nem % 48.8, karbondioksit konsantrasyonu 720 ppm dir.



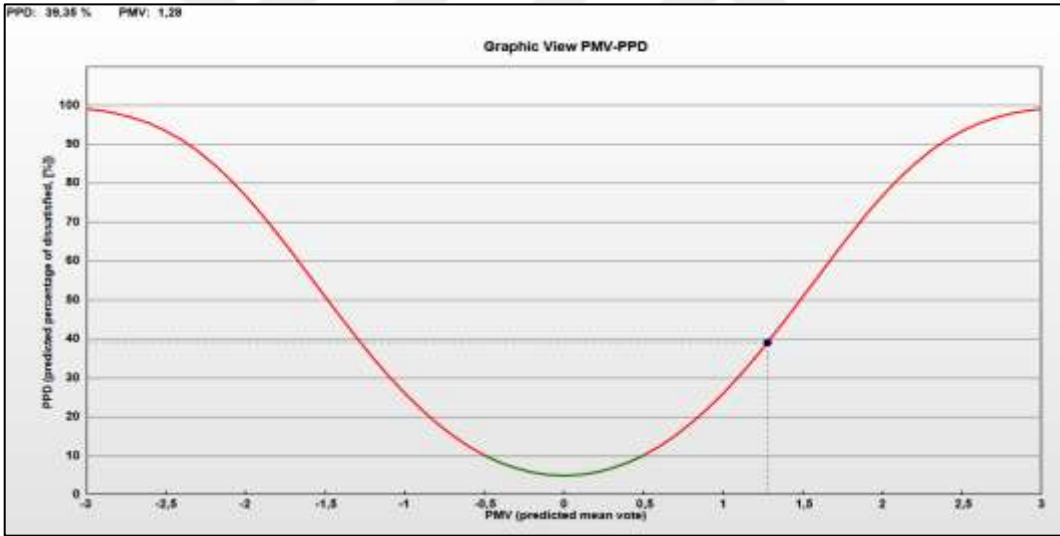
Şekil 3.24. Bölüm sekreterliği kış dönemi ölçüm sonuçları

- D3 dersliğinde ölçüm

KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü D3 dersliğinde kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.25' de verilmiştir. Pencerelerin kapalı olduğu sınıfta 43 kişi bulunmaktadır. 1 saatlik sürede CO₂ konsantrasyonununun 1019 ppm değerinden 2374 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 23.7 °C' dan 27 °C' a, bağıl nem % 42.6' dan % 48.2' ye yükselmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 25,8 °C, bağıl nem % 46.6, karbondioksit konsantrasyonu 1702 ppm dir. Şekil 3.26' da konfor seviyesi belirlenmesinde PPD: %39.35, PMV: % 1.28 dir. Değerler konfor bölgesi olan yeşil hattın dışında kalmıştır.



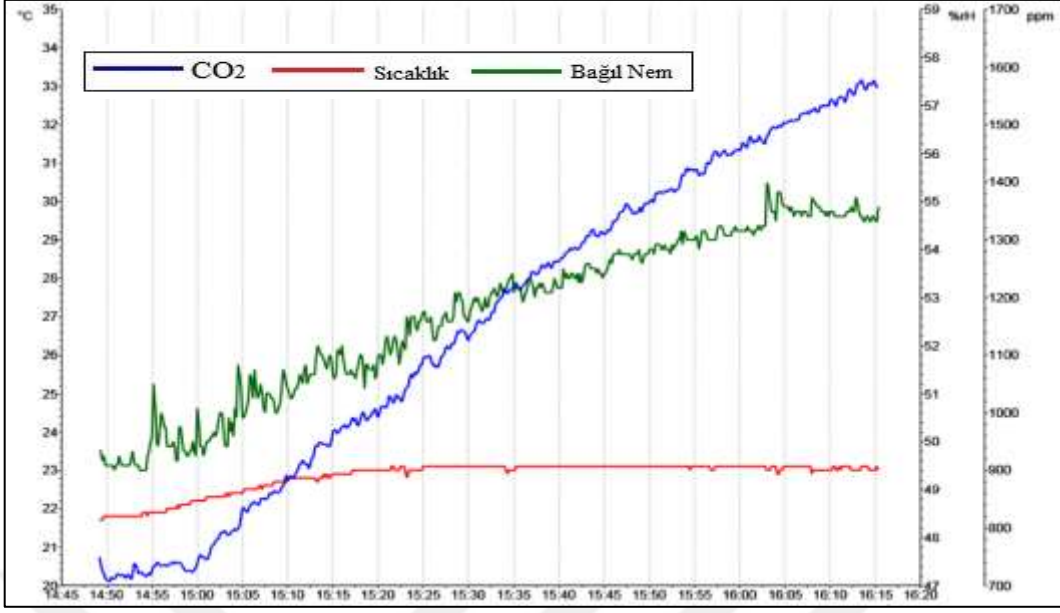
Şekil 3.25. D3 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları



Şekil 3.26. D3 dersliği kış dönemi konfor seviyesi

- D4 dersliğinde ölçüm

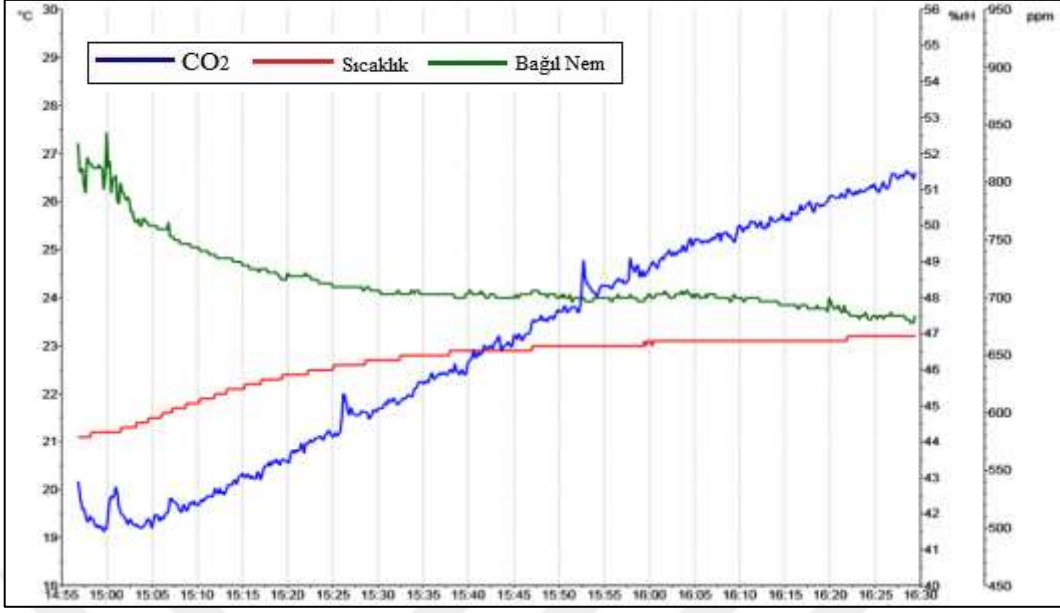
KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü D4 dersliğinde kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.27' de verilmiştir. Pencere kapalı olduğu sınıfta 17 kişi bulunmaktadır. Sınav saati boyunca CO₂ konsantrasyonunun 707 ppm değerinden 1579 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 21.7 °C' dan 23.1 °C' a, bağıl nem % 49.4' den % 55.4' e yükselmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 22.8 °C, bağıl nem % 52.6, karbondioksit konsantrasyonu 1150 ppm dir.



Şekil 3.27. D4 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları

- MA2 dersliğinde ölçüm

KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü MA2 dersliğinde kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.28' de verilmiştir. Pencerele rin kapalı olduğu sınıfta 18 kişi bulunmaktadır. 1,5 saatlik sürede CO₂ konsantrasyonunun 497 ppm değerinden 810 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 21.1 °C' dan 23.2 °C' a, bağıl nem % 47.3' ten % 52.6' ya yükselmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 22.6 °C, bağıl nem % 48.5, karbondioksit konsantrasyonu 655 ppm dir.



Şekil 3.28. MA2 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları

- D6 dersliğinde ölçüm

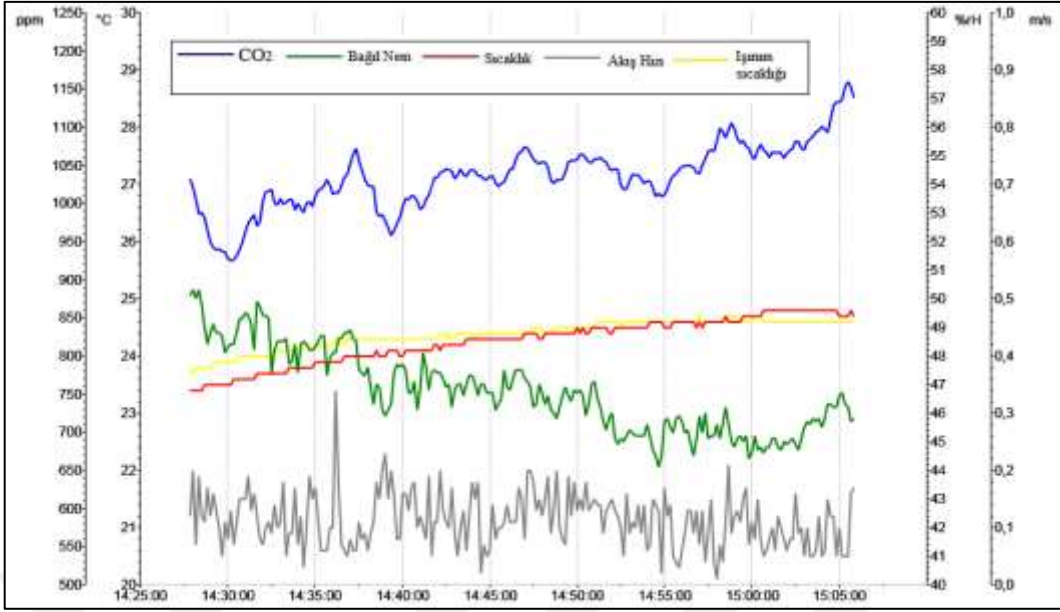
KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü D6 dersliğinde kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.29' da verilmiştir. Pencerelerin kapalı olduğu sınıfta 17 kişi bulunmaktadır. 1 saatlik sürede CO₂ konsantrasyonunun 427 ppm değerinden 721 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 19 °C' dan 20.9 °C' a, bağıl nem % 40.8' den % 44.1' e yükselmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 20.2 °C, bağıl nem % 42.3, karbondioksit konsantrasyonu 543 ppm dir.



Şekil 3.29. D6 dersliği kış dönemi ölçüm sonuçları

- Bölüm bilgisayar odası

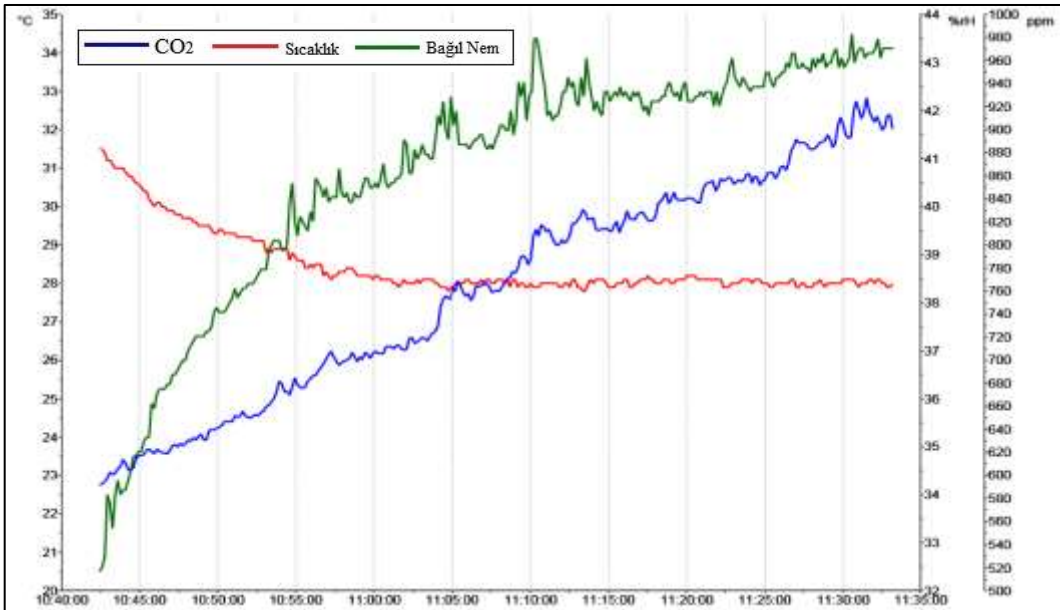
KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü bilgisayar odası yaz dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.30' da verilmiştir. Üç pencerenin yarı açık olduğu sınıfta 25 kişi bulunmaktadır. Yarım saatlik sürede CO₂ konsantrasyonunun 925 ppm değerinden 1160 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 24 °C civarındadır. Bağıl nem % 44.1' den % 50.3 değerine yükselmiştir. Ortalama akış hızı 0.11 m/s değerindedir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 24.3 °C, bağıl nem % 46.7, karbondioksit konsantrasyonu 1035 ppm dir.



Şekil 3.30. Bölüm bilgisayar odası yaz dönemi ölçüm sonuçları

- Bölüm çalışma salonu

KTÜ Makina Mühendisliği Bölüm çalışma salonu kış dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.31' de verilmiştir. 55 dakikalık sürede CO₂ konsantrasyonununun 592 ppm değerinden 928 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 28.5 °C, bağıl nem % 40.7, karbon dioksit konsantrasyonu 762 ppm dir.

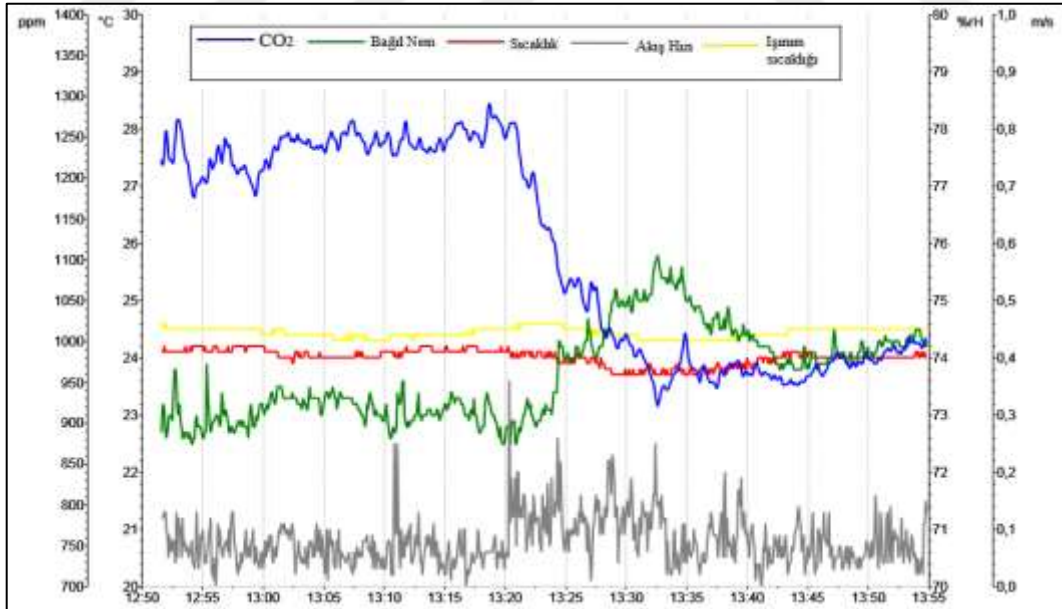


Şekil 3.31. Bölüm çalışma salonu kış dönemi ölçüm sonuçları

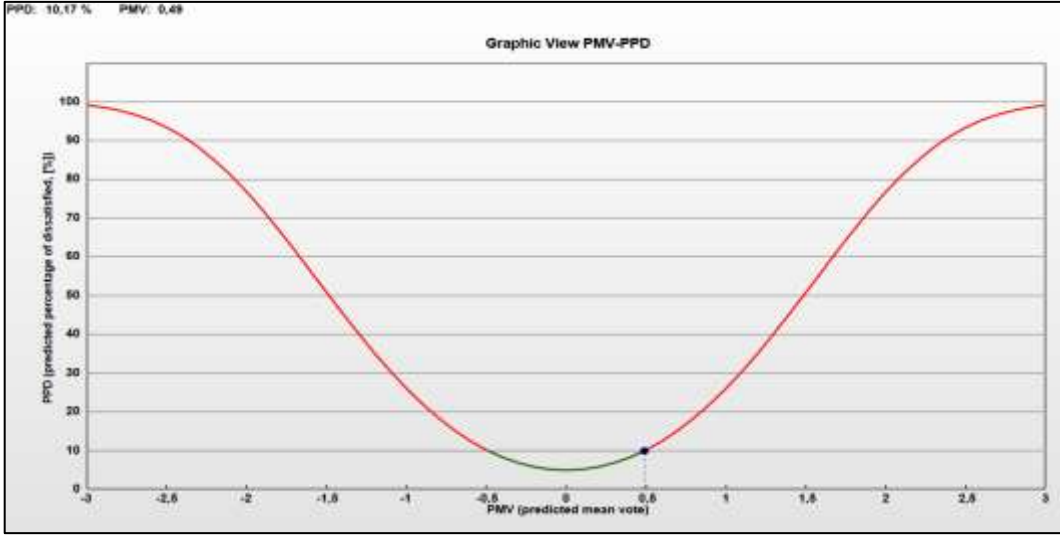
Bölüm çalışma salonu yaz dönemi ölçüm sonucu Şekil 3.32’ de verilmiştir. Çalışma odasında yaklaşık 25 kişi bulunmaktadır. Ölçüm sırasında bir pencere açılarak 5 dakika havalandırma yapılmıştır. 1 saatlik ölçüm süresinde CO₂ konsantrasyonunun 921 ppm değerinden 1292 ppm değerine yükseldiği görülmektedir. Ortam sıcaklığı 24 °C civarındadır. Bağıl nem % 72.5’ den % 75.8 değerine yükselmiştir. Ortalama akış hızı 0.08 m/s değerindedir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 24.2 °C, bağıl nem % 73.7, karbondioksit konsantrasyonu 1112 ppm dir. Şekil 3.33’de konfor seviyesi belirlenmesinde PPD: % 10.17, PMV: % 0.49’ dir. Değerler konfor bölgesi olan yeşil hattın sınırında yer almıştır. Tablo 3.8’ de türbülans ölçümü sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.8. Bölüm çalışma salonu türbülans derecesi ölçümü

Ortalama akış hızı	0,11 m/s
Ortalama sıcaklık	24 °C
Türbülans	% 43.7
Çekme oranı	% 8.9



Şekil 3.32. Bölüm çalışma salonu yaz dönemi ölçüm sonuçları



Şekil 3.33. Bölüm çalışma salonu yaz dönemi konfor seviyesi

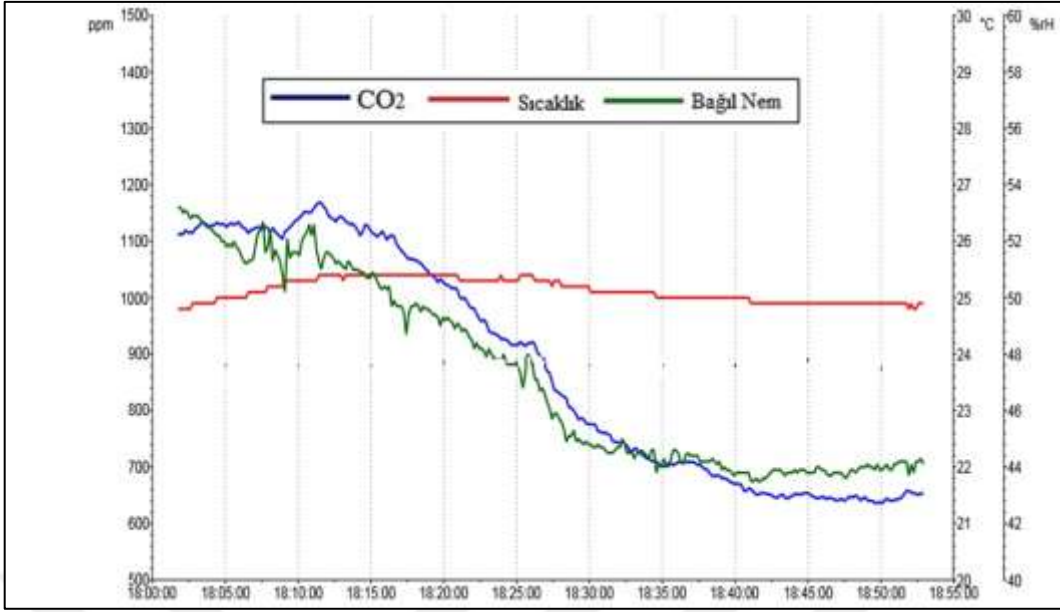
Yaz ve kış dönemi yapılan ölçümler sonucunda iç ortam hava kalitesi parametrelerinin ortalama değerleri Tablo 3.9’ da verilmiştir. Karbondioksit değerlerinin iç ortam hava kalitesi standart değerlerine uygun olmadığı ortaya çıkmıştır.

Tablo 3.9. Farklı mekanlarda yapılan kış ve yaz dönemi ölçümlerin ortalama değerleri

	Kış dönemi			Yaz dönemi		
	CO ₂ [ppm]	Sıcaklık [°C]	Bağıl nem [%]	CO ₂ [ppm]	Sıcaklık [°C]	Bağıl nem [%]
D5	1888	22	47.8	1156	24.5	53.1
D7	1423	22.8	48.4	948	25	48.7
D8	1370	21.7	60	1097	25.7	69.4
R1	1338	25.4	34.1	911	23.4	53.5
Bölüm kantini	879	22.5	62.2	820	26.1	71.6
Bölüm çalışma salonu	762	28.5	40.7	1112	24.2	73.7

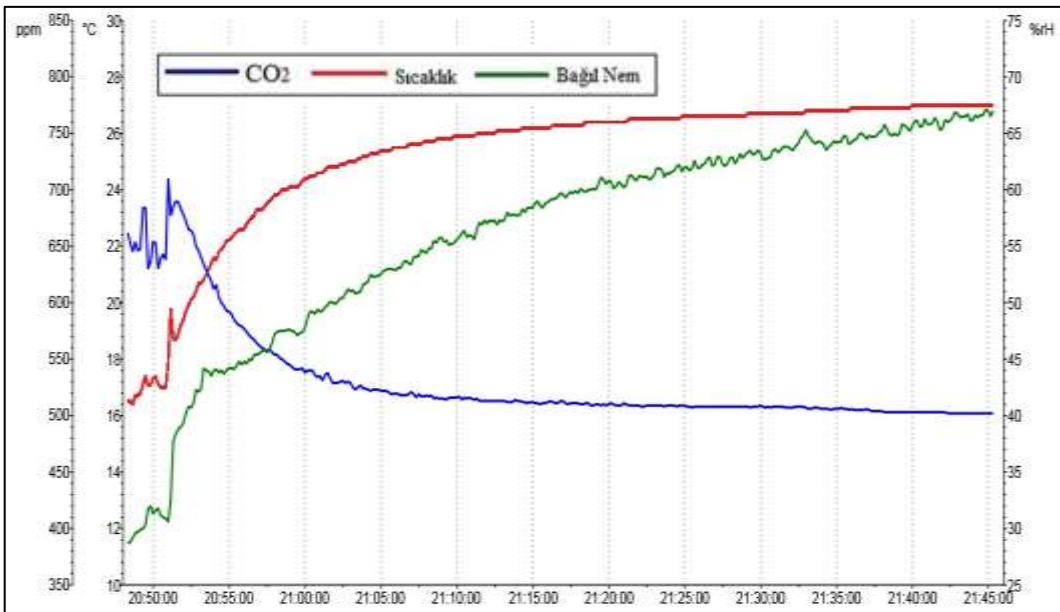
3.3. Konutta İç Ortam Hava Kalitesi Parametrelerinin İncelenmesi

Ölçümler konutun mutfak ve salonunda gerçekleştirilmiştir. Mutfakta yapılan ölçüm sonuçları Şekil 3.34’ te verilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 24.2 °C, bağıl nem % 50.2, karbondioksit konsantrasyonu 715 ppm dir.



Şekil 3.34. Mutfaktaki ölçüm sonuçları

Salonda ölçüm başladıktan 5 dakika sonra pencere açılarak havalandırma yapılmıştır. Ölçüm sonuçları Şekil 3.35’ de verilmiştir. Karbondioksit konsantrasyonu 690 ppm değerinden 510 ppm değerine düşmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama sıcaklık 24,5 °C, bağıl nem % 60,1, karbondioksit konsantrasyonu 560 ppm dir.

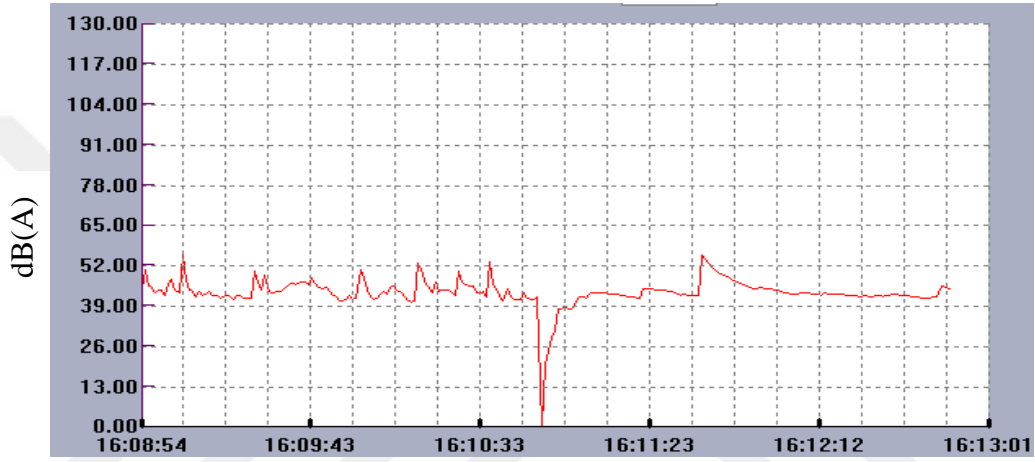


Şekil 3.35. Salondaki ölçüm sonuçları

3.4. Gürültü Seviyesi Ölçümleri

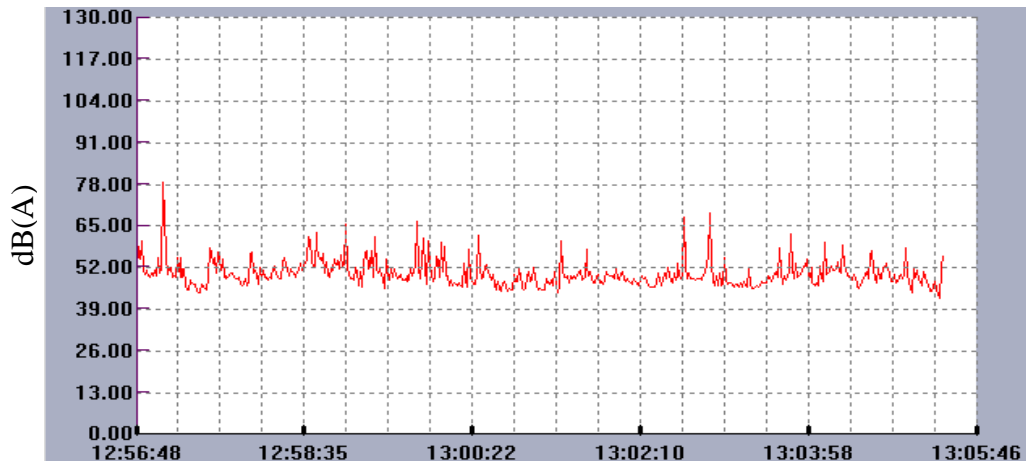
Gürültü seviyesi ölçümleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği binasındaki akademisyen odası, sınıflar, kafeteryalar ile sosyal tesislerde gerçekleştirilmiştir.

D8 dersliğinde yapılan gürültü ölçüm sonucu Şekil 3.36’ da verilmiştir. Sınıfta 46 kişi bulunmaktadır. Ölçüm sonucuna göre ortalama gürültü seviyesi 43.1 dBA dir.



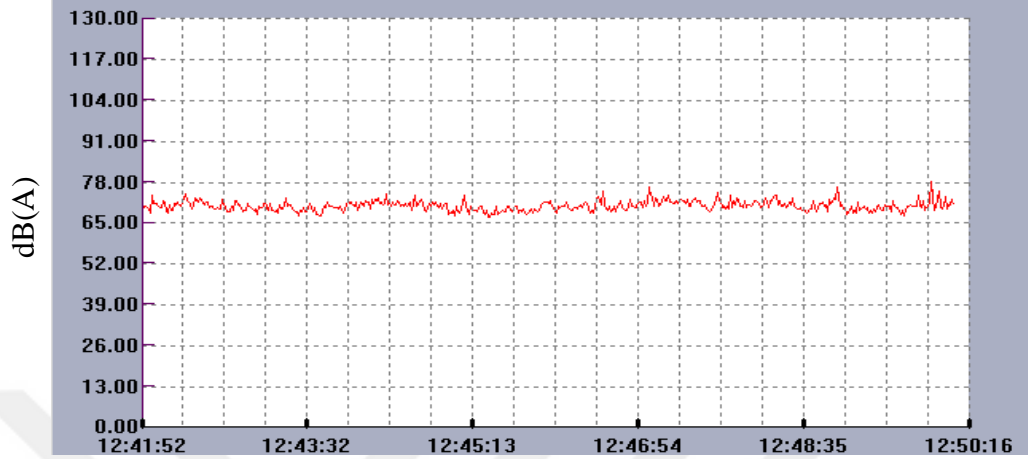
Şekil 3.36. D8 dersliği gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

Çalışma salonunda yapılan ölçüm sonucu Şekil 3.37’ de verilmiştir. Çalışma salonunda 25 kişi bulunmaktadır. Ölçüm sonucuna göre ortalama gürültü seviyesi 49.7 dBA dir.



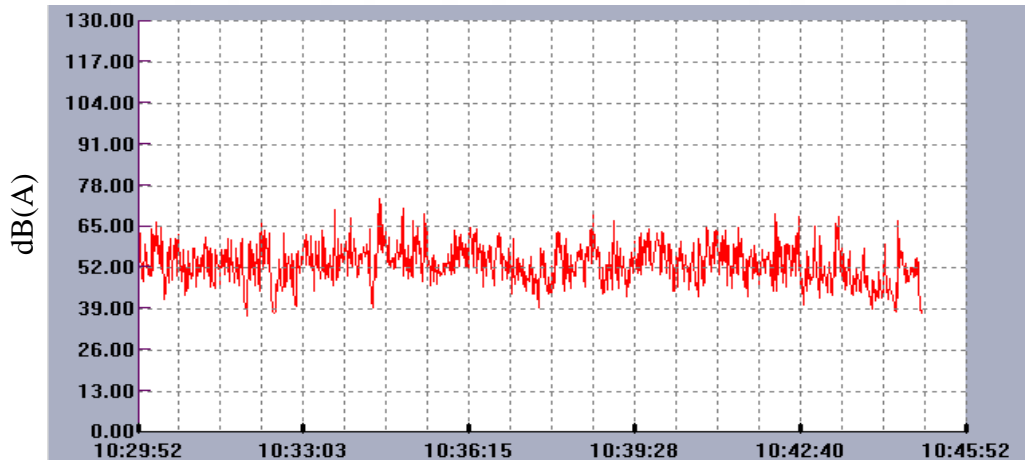
Şekil 3.37. Çalışma salonu gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

Kantinde yapılan ölçüm sonucu Şekil 3.38’ de verilmiştir. Kantinde 80 kişi bulunmaktadır. Ölçüm sonucuna göre ortalama gürültü seviyesi 70.1 dBA dır.



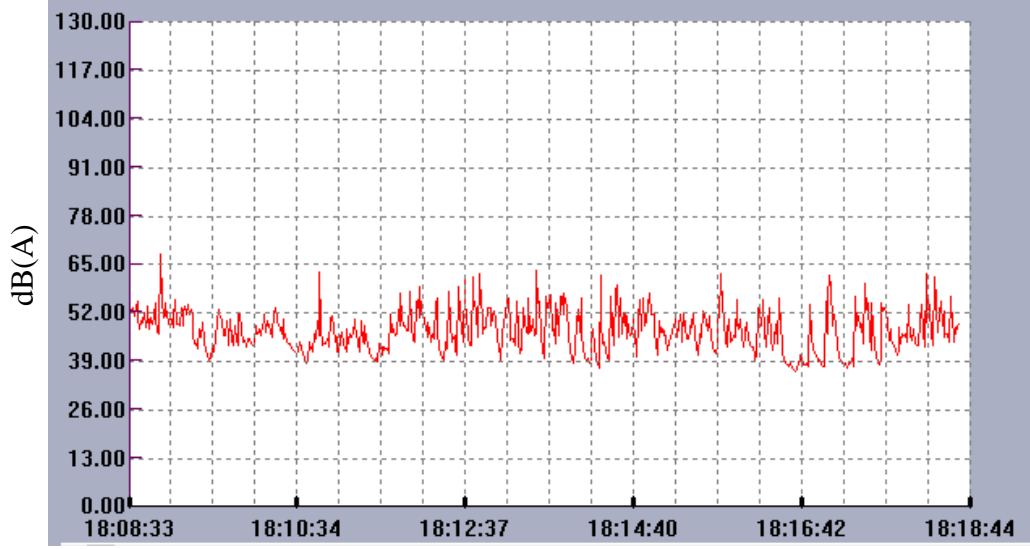
Şekil 3.38. Kantin gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

Akademisyen odasında iki kişi bulunması halinde yapılan ölçüm sonucu Şekil 3.38’ de verilmiştir. Ölçüm sonucuna göre ortalama gürültü seviyesi 52.8 dBA dır.



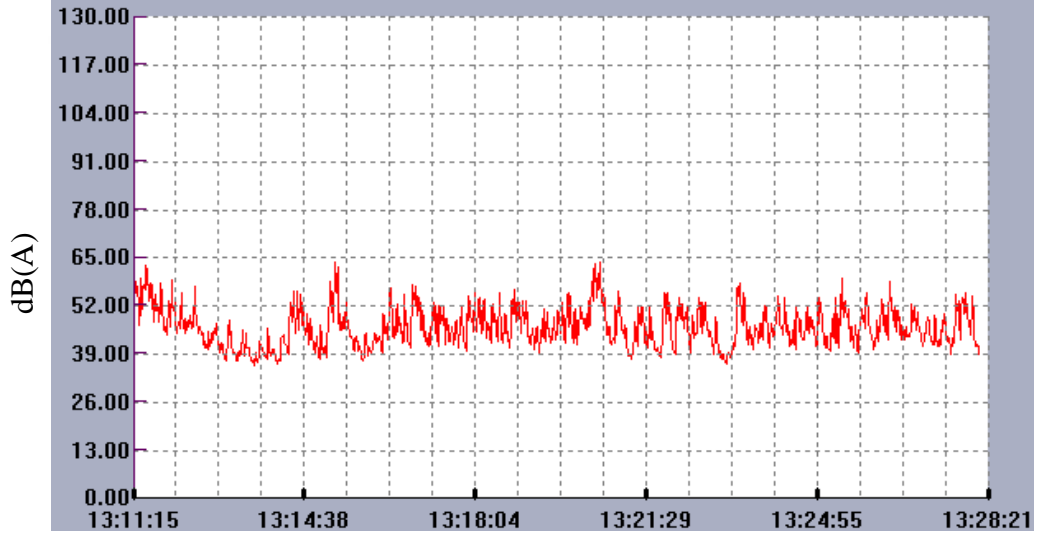
Şekil 3.39. Akademisyen odası gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

D5 dersliğinde yapılan gürültü ölçüm sonucu Şekil 3.36’ da verilmiştir. Sınıfta 39 kişi bulunmaktadır. Ölçüm sonucuna göre ortalama gürültü seviyesi 46.8 dBA dir.



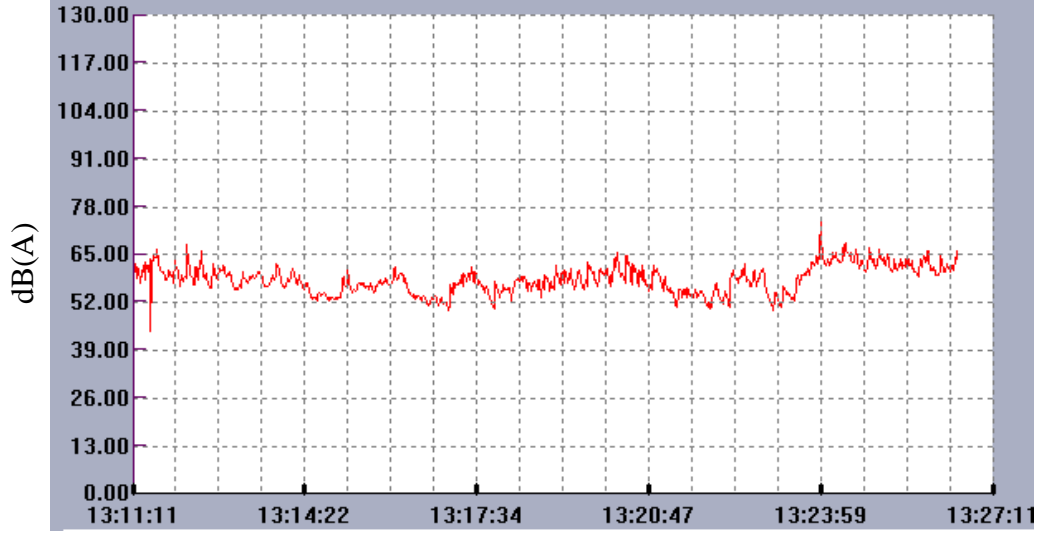
Şekil 3.40. D5 dersliği gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

D7 dersliğinde yapılan gürültü ölçüm sonucu Şekil 3.41’ de verilmiştir. Sınıfta 32 kişi bulunmaktadır. Ölçüm sonucuna göre ortalama gürültü seviyesi 45.9 dBA dir.



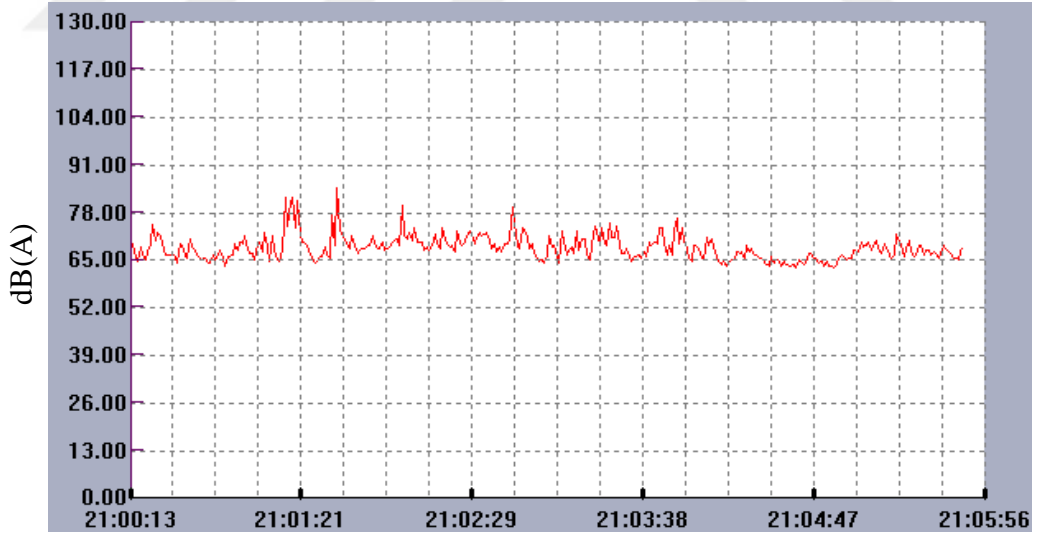
Şekil 3.41. D7 dersliği gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

R1 dersliğinde yapılan gürültü ölçüm sonucu Şekil 3.42’ de verilmiştir. Sınıfta 70 kişi bulunmaktadır. Ölçüm sonucuna göre ortalama gürültü seviyesi 57.9 dBA dir.



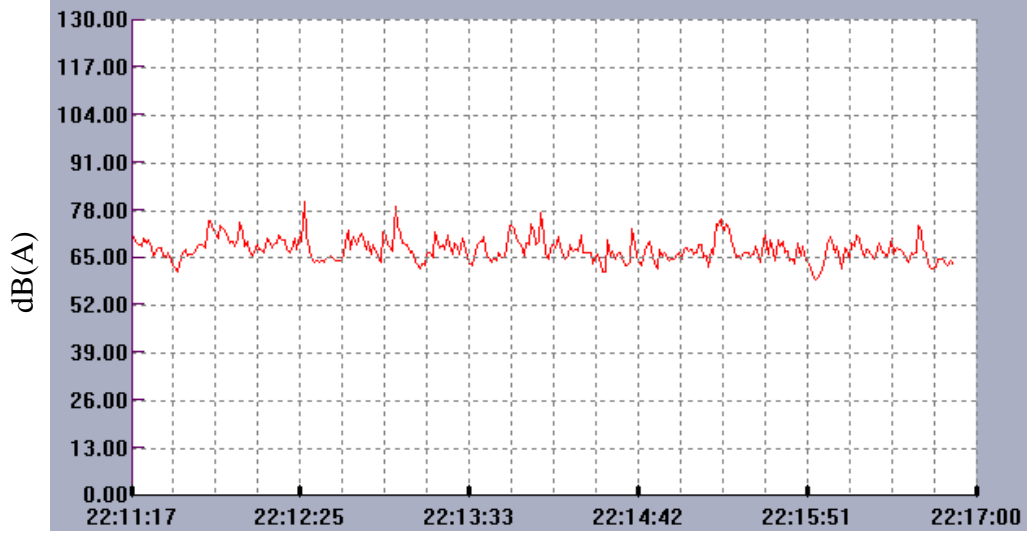
Şekil 3.42. R1 dersliği gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

Üniversite tesislerinin kafeteryasında yapılan ölçüm sonucu Şekil 3.43' te verilmiştir. Kafeteryada 37 kişi bulunmaktadır. Ölçüm sonucuna göre ortalama gürültü seviyesi 68.1 dBA dir.



Şekil 3.43. Kafeterya gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

Üniversite tesislerinin Oyun salonunda yapılan ölçüm sonucu Şekil 3.44' te verilmiştir. Oyun salonunda 25 kişi bulunmaktadır. Ölçüm sonucuna göre ortalama gürültü seviyesi 67 dBA dir.



Şekil 3.44. Oyun salonu gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

Tablo 3.10. Farklı ortamlarda ölçülmüş ortalama gürültü seviyeleri

Gürültü [dBA]	D5 dersliği	D7 dersliği	D8 dersliği	R1 dersliği	Çalışma salonu	Kantin	Kafeterya	Oyun salonu
Ortalama	46.8	45.9	43.1	57.9	49.7	70.1	68.1	67
En çok	67.4	63.5	55.6	74.5	78.4	78	84.5	80
En az	36.2	35.6	39	43.7	42	66.6	62.4	58.7

Bir odada iki kişinin karşılıklı konuşması sırasında gürültü seviyesi ortalama 52.8 dB civarındadır.

3.5. Hava Gereksinimi

Havalandırma, mekanik veya doğal olarak bir mahale hava sağlanması veya mahalden hava alınması olarak tanımlanır. İnsanlar soluk yoluyla iç ortama CO₂ verirler. Normal bir iş ile uğraşan bir insan saatte 0.02 m³ CO₂ üretir. İç ortamda havalandırma yapılmazsa, CO₂ derişimi artar. Havalandırma, kirlenen iç havanın tazelenmesi ve dış hava sağlanmasıdır. Temiz hava için havalandırma miktarı, mahaldeki kişi sayısına, mahal taban alanına ve mahal hava değişimine göre belirlenebilir. İç ortamdaki minimum CO₂ derişikliğini sağlamak için, mahale verilmesi gereken hava miktarı,

$$\dot{V} = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{C_s - C_d} \cdot 10^6 \text{ (m}^3\text{/saat)} \quad (3.1)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. \dot{V}_{CO_2} , mahal içinde insanların ürettiği CO₂ miktarını; C_s ve C_d, sırasıyla ppm olarak mahal içindeki sınır ve dış ortam CO₂ değerlerini göstermektedir. Bir kişinin bulunduğu odada 1000 ppm sınır değerini aşmaması için ortama bir saatte 36 m³ hava verilmelidir. Kapalı mahallerde kişi başına saatte 30 m³ hava gerektiği kabulü yapılmıştır [7].

Sınıflarda yapılan ölçümlerde hava hızının 0.1 m/s civarında olduğu görülmüştür. Tablo 3.11, farklı büyüklükteki sınıfların doğal havalandırma yoluyla mevcut durumunu göstermektedir. Sınıfların dolu olması durumunda mevcut hava miktarı ve olması gereken hava miktarlarının karşılaştırılması Tablo 3.12'de verilmiştir. Sınıflarda doğal olarak yapılan mevcut havalandırmanın oldukça yetersiz olduğu görülmektedir.

Tablo 3.11. Farklı sınıflarda doğal havalandırmada mevcut hava miktarları

Sınıf	Kapasite [kişi]	Hacim [m ³]	Pencere alanı (tam açık) [m ²]	Pencere alanı (yarı açık) [m ²]	Mevcut hava miktarı [m ³ /saat]	
					Tam açık	Yarı açık
D7	72	370	1.92	0.24	691	86
D8	140	720	3.2	0.4	1152	144
R1	100	1000	4.48	0.56	1613	202

Tablo 3.12. Farklı sınıflarda mevcut ve gereken hava miktarları

Sınıf	Mevcut hava miktarı [m ³ /saat]	Gerekli hava miktarı [m ³ /saat]	
	Pencereler tam açık	CO ₂ miktarına göre	Kişi başı 30 m ³ /saat
D7	691	2618	2160
D8	1152	5090	4200
R1	1613	3636	3000

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada KTÜ Makina Mühendisliği binasında seçilen dersliklerde, sosyal tesislerde ve konutlarda iç ortamda hava sıcaklığı, bağıl nem ve hava akış hızı, karbondioksit konsantrasyonu ölçümleri yapılmış, PMV/PPD indisleri hesaplanarak ASHRAE Standart 55-2013 ve TS EN ISO 7730'da önerilen aralıklarına göre uygunluğu incelenmiştir.

İçinde bir kişinin bulunduğu akademisyen odasında yapılan ölçümler sonucunda karbon dioksit konsantrasyonunun bir saat boyunca 200 ppm arttığı tespit edilmiştir.

Aynı oda içinde bir kişinin bulunması durumunda bir pencere ile yapılan havalandırma sonrasında, karbon dioksit konsantrasyonunun 1 saatlik sürede yaklaşık 1000 ppm'lik sınır değerden 500 ppm azalarak serbest ortam değerine yaklaştığı belirlenmiştir.

Kış döneminde dersliklerde yapılan ölçümler sonucunda kısa sürede karbon dioksit konsantrasyonu yükselmekte ve 1000 ppm değerini aştığı görülmektedir. Yaz döneminde ise karbon dioksit konsantrasyonunun belli şartlarda 1000 ppm'in altına düştüğü ancak yeterli olmadığı değerlendirilmektedir.

Dersliklerin ısı konfor açısından yeterli olduğu ancak dersliklerde temiz hava girişine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Doğal yollarla yapılan havalandırmanın yeterli olmadığı belirlenmiştir.

Akademisyen dinlenme salonu, bölüm sekreterliği ve bölüm kantininde yapılan ölçümler sonucunda karbon dioksit konsantrasyonu yükselmekte sınır değer 1000 ppm'e yaklaştığı görülmektedir.

İç ortam hava kalitesinin belirlenmesinde karbondioksit konsantrasyon ölçümünün yeterli bir parametre olduğu görülmüştür. Karbondioksit konsantrasyonu miktarına dayalı bir havalandırma şekli oluşturulabilir.

Kapalı ortamlardaki gürültü seviyelerinin sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir.

5. ÖNERİLER

İç ortam hava kalitesinin insan sağlığını, çalışma verimini doğrudan etkilediği ve iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi gerektiği yapılan ölçümler sonucunda tespit edilmiştir.

Farklı mekanlarda iç ortam hava kalitesi parametreleri olan sıcaklık, bağıl nem, hava akış hızı ve konfor seviyesinin standart değerlere uygun olduğu görülse de insanı doğrudan etkileyen karbon dioksit konsantrasyonunun iç ortamlarda azaltılması için öneriler sunulmuştur.

Öncelikle tek kişinin bulunduğu akademisyen odalarında 2 saatte bir havalandırma yapılarak ortama tekrar temiz hava girişi sağlanmalıdır.

Akademisyen odaları ve çalışma alanlarında 2 saatte bir 15 dakika havalandırma yapılması uygun olacaktır.

Dersliklerde ise öncelikli olarak ders aralarında özellikle kış dönemlerinde havalandırma yapılarak karbon dioksit konsantrasyonunun azaltılması gerekmektedir. Okul personelinin de bu konuda bilgilendirilerek dersliklere temiz hava girişi sağlanmalıdır. Havalandırmanın düzenli olarak yapıldığı dersliklerde ölçümler yapılarak karbon dioksit konsantrasyonunun ne ölçüde azaldığı gözlenebilir. Doğal havalandırmanın yetersiz kaldığı saptanırsa öğrenci yoğunluğu veya karbondioksit konsantrasyon seviyesine göre kontrol edilebilen bir mekanik havalandırma sistemi kullanılmalıdır.

Söz konusu mekanlarda sayısal çalışmalar yapılarak deneysel verilerle karşılaştırılabilir. Doğru sonuçların elde edilmesi durumunda sayısal durum üzerinde farklı konfor şartları sınanarak en uygun havalandırma şartları belirlenebilir.

Sonuçların değerlendirilmesi ve önerilerin uygulanması halinde iç ortam hava kalitesi parametrelerinin değerlendirilmesi tekrar yapılarak havalandırma stratejileri yeniden belirlenebilir.

Ülkemizde iç ortamlarda hava kalitesi konusunda yeterli bilincin oluşturulması için eğitimler verilmesi sağlanmalıdır.

6. KAYNAKLAR

1. Akal, D., İç Ortam hava kirliliği ve çalışanlara olumsuz etkileri, ÇSGB Çalışma Dünyası Dergisi, 1, 1 (2013) 112-119.
2. Saylan G., Yapı içi hava kirleticileri ve risk yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
3. Çilingiroğlu S., İç Hava Kalitesi, TMMOB MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, 115, 1-2 (2010) 23-42.
4. Testo, Comfort level measurement in the workplace, Testo Practical Guide, www.testo.com
5. Testo, CO₂ izleme ve iç hava kalitesi, Testo Whitepaper, www.testo.com
6. Köksal Y., Kapalı Mahallerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi, V. Ulusal Tesisat Kongresi ve Sergisi, Ekim 2001, İzmir, Bildiriler Kitabı: 623-645.
7. Bulut, H., Havalandırma ve iç hava kalitesi açısından CO₂ miktarının analizi, Tesisat Mühendisliği, Sayı 128, Mart/Nisan 2012, 61-70,
8. Yıldırım, H.A. ve Altınsoy H., TS EN ISO 7730 VE TS EN ISO 27243 standartlarına göre termal konfor programı, ÇSGB Çalışma Dünyası Dergisi, 2015/2, 7-17.
9. TS EN ISO 7730, 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 (ISO 7730:2005)
10. Bulut, H., Konutlarda iç hava kalitesi ile ilgili ölçüm sonuçlarının analizi, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ekim 2007, İzmir, Bildiriler Kitabı: 415-427.
11. Toksoy, M., Okullarda iç hava kalitesi ve yönetimi, günümüz bilgi ve pratiği, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Nisan 2015, İzmir, Bildiri Kitabı: 13-46.
12. Mıhlayanlar E., Öztuna S. ve Büyükkakın K., Investigation of thermal comfort conditions in higher education facilities: A case study for engineering faculty in Edirne, TEM Journal, 6, 1 (2017) 71-79.
13. Lazovic I.M., Stevanovic M., Stajanovic M.V., Zivkovic M. ve Banjac M.J., Impact of CO₂ concentration on indoor air quality and correlation with relative humidity and indoor air temperature in school buildings in Serbia, Thermal Science, 20, 1 (2016) 297-307.
14. Telejko M., Attempt to improve indoor air quality in computer laboratories, Procedia Engineering, 172, (2017) 1154-1160.

15. Shia S., Man Y., Wang Z., Wang L. and Zhang X., On Site Measurement and analysis on indoor air environment of classroom in university campus, Procedia Engineering, 205, (2017) 2200-2207.
16. Pereira L.D., Raimondo D., Corgnati S.P. and Silva M.G., Assessment of indoor air quality and thermal comfort in portuguese secondary classrooms: Methodology and results, Bulding and Environment, 81, (2014) 69-80.
17. Öztürk B. Ve Düzovalı G., Okullarda hava kirliliği ve sağlık etkileri, X. Ulusal Tesisat Kongresi, (2011) 1715-1723.
18. Babaroğlu A., Anaokullarında iç ortam hava kalitesi, TMMOB MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, 150, (2015) 5-12.
19. Fuoco F.C., Stabile L., Buonanno G. and Trassiera C.V., Indoor air quality in naturally ventilated italian classrooms, Atmosphere, 6, (2015) 1652-1675.
20. Korinek T. and Frana K., A dispersion study of CO₂ in a closed area, AIP Conference Proceedings 1745, June (2016), 020027-1–020027-7.
21. Abdel-Salam M., Investigation of indoor air quality at urban schools in Qatar, Indoor and Built Environment, 28, 2 (2017) 278-288.
22. Lei Z., Liu C., Wang L. and Li N., Effect of natural ventilation on indoor air quality and thermal comfort in Dormitory during winter, Bulding and Environment, 125, (2017) 240-247.
23. Stabile L., Dell'Isola M., Russi A., Massimo A. and Buonanno G., The effect of natural ventilation strategy on indoor air quality in schools, Science of the Total Environment, 595, (2017) 894-902.
24. Krawczyka D.A., Roderob A., Gładyszewska-Fiedoruka K. and Gajewskiaa Bialystok A., CO₂ concentration in naturally ventilated classrooms located indifferent climates Measurements and simulations, Energy and Buildings, 129, (2016) 491-498.
25. Hou Y., Liu J. and Li J., Investigation of indoor air quality in primary school classrooms, Procedia Engineering, 121, (2015) 830-837.
26. Hassan Abdallah A.S., Thermal monitoring and evaluation of indoor CO₂ concentration in classrooms of two primary governmental schools in New Assiut City, Egypt, Procedia Engineering, 205, (2015) 1093-1099.
27. Vilcekova S., Meciarova L., Kridlova Burdova E., Katunska J., Kosicanova D. and Doroudiani S., Indoor environmental quality of classrooms and occupants' comfort in a special education school in Slovak Republic, Bulding and Environment, 120, (2017) 29-40.
28. Testo 480, Climate measuring instrument, Instruction manual, www.testo.com.tr

29. Testo EasyClimate Software, Instruction manual, www.testo.com.tr
30. Polat S. ve Kırıkkaya E.B., Gürültünün Eğitim-Öğretim ortamına etkileri, XIII. Ulusal Eğitim Bilimleri Kurultayı, Temmuz 2004, Malatya, Bildiriler Kitabı: 1-12.
31. Güremen L., Amasya kentinde ilköğretim okullarında iç ve dış çevre gürültü koşullarının değerlendirilmesi, NWSA Engineering Science, 7, (2012) 415-435.



ÖZGEÇMİŞ

Sena SAĞLAM, 4 Ekim 1993'te Trabzon' da doğdu. Trabzon Yunus Emre Lisesi'nden 2011 yılında mezun oldu. Avrasya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında bölüm ikincisi olarak mezun oldu. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Sağlam Müh.Tic.Ltd.Şti.'de çalışmakta olup Makina Mühendisleri Odası Trabzon Şube yönetim kurulu üyesidir.

