

**T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EĞİTİM BİNALARINDA KULLANILAN KLİMA
SANTRALLERİNİN ENERJİ KAZANCI UYGULAMALI MODELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adem AKPINAR

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Evren ÇAĞLARER

ŞUBAT 2019

**T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EĞİTİM BİNALARINDA KULLANILAN KLİMA
SANTRALLERİNİN ENERJİ KAZANCI UYGULAMALI MODELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Adem AKPINAR
(1158204104)**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Evren ÇAĞLARER

ŞUBAT 2019

Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1158204104 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Adem AKPINAR** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**EĞİTİM BİNALARINDA KULLANILAN KLİMA SANTRALLERİNİN ENERJİ KAZANCI UYGULAMALI MODELİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr.Öğr. Üyesi Evren ÇAĞLARER**
Kırklareli Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr.Öğr. Üyesi Arzum İŞİTAN**
Pamukkale Üniversitesi

Dr.Öğr. Üyesi Fatih SEMERCİ
Kırklareli Üniversitesi

Teslim Tarihi : **10 Ocak 2019**
Savunma Tarihi : **05 Şubat 2019**

ÖNSÖZ

Havalandırma sistemlerinin ana amacı, kirliliği gidermek, iyi bir iç hava kalitesi (IAQ) yaratmak, binaya taze hava salmak ve dolaştırarak sağlık sorunları riskini azaltmaktır. Talep kontrollü havalandırma; sistemin hizmet verdiği alanların doluluk oranı, tasarımın doluluk oranından az olduğunda, dış hava girişinin (hava akış kontrolü) tasarım hızlarının altında otomatik olarak indirilmesini sağlayan bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem gereksiz havalandırmayı azaltmak ve enerji tasarrufu sağlamak için kullanılabilir. CO₂ tabanlı talep kontrollü havalandırma (CO₂ tabanlı DCV) kullanarak dış hava giriş oranlarını kontrol etmek, yeterli havalandırma seviyesini temin ederken, doluluk oranının düşük olduğu dönemlerde aşırı havalandırmanın getirdiği enerji yükünü azaltma olasılığını sunar.

Çalışmanın gerçekleşmesinde tüm kurumsal alanlarını açan, emek ve mesailerini harcayan TEKOLAB Ailesine; maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen KLÜ Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanım İlker TULGA'ya; iş arkadaşlarım Yusuf KÖKTÜRK, Fatih KUTLU ve Neşe MEMİŞOĞLU'na; bir danışman daha fazla emeği geçen Dr. Öğr. Üyesi Evren ÇAĞLARER'e; maddi ve manevi desteklerini esirgemeye çalışmamın her aşamasında yanımda olan dostlarım, Aykut HAVSUT'a, Kazım ZENGİN'e, Gülcan İNER'e, Merve PEHLİVAN ZENGİN'e, ve Cem ATILGAN'a; sevgili eşim Leyla AKPINAR'a verdiği desteklerinden dolayı yürekten teşekkür ederim.

Şubat 2019

Adem AKPINAR
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	1
1.3 Tezin Önemi	22
2. CO₂ TABANLI TALEP KONTROLLÜ HAVALANDIRMA.....	23
2.1 Karbondioksit ve Talep Kontrollü Havalandırma	23
2.2 DCV'nin Tarihsel Gelişimi	24
2.3 İç Hava Kalitesi Standartları	24
2.3.1 ASHARE standart 62	25
2.3.2 Avrupa standart EN 15251.....	25
2.4 Kabul Edilen Varsayımlar	27
2.4.1 Varsayım 1: Kişi başı havalandırma oranına göre.....	27
2.4.2 Varsayım 2: CO ₂ üretim oranına göre.....	28
2.4.3 Varsayım 3: Biyoatık üretim oranına göre.....	29
2.5 Sensör Performansı, Kalibrasyonu ve Konumu	31
2.5.1 Sensör Performansı	31
2.5.2 Sensör Kalibrasyonu	31
2.5.3 Sensör Konumu.....	31
3. MATERYAL VE METOT	35
3.1 Bina ve Havalandırma Sisteminin Açıklanması.....	35
3.2 Klima Santrali	35
3.2.1 Plakalı tip ısı geri kazanım üniteli klima santralleri	35
3.2.2 Fan ve motor grubu	36
3.3 Değişken Hava Debisi Cihazı	36
3.4 Ölçüm Cihazları	37
3.4.1 Hava kalite sensörü	37
3.4.2 Kanal tipi hava hızı ve sıcaklık sensörü.....	38
3.5 Deney Düzenneği	38
3.6 Metodoloji	40
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	43
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR	51
EKLER.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	61

KISALTMALAR

CO₂	: Karbondioksit (Carbon Dioxide)
ASHRAE	: Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri
ANSI	: American Ulusal Standartlar Enstitüsü
DCV	: Talep Kontrollü Havalandırma (Demand Control Ventilation)
IAQ	: İç Hava Kalitesi (Indoor Air Quality)
HVAC	: Isıtma, Soğutma ve Havalandırma
OA	: Dış Hava (Outdoor Air)
VAV	: Değişken Hava Hacmi (Variable Air Volume)
DDC	: Doğrudan Dijital Kontrol (Direct Dijital Control)



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Gözden geçirilen çalışmalar	15
Çizelge 2.1 : Çesitli ülkelerde sınıflar için havalandırma debileri	26
Çizelge 2.2 : Sınıflarda taze hava debisi minimum değerleri (ASHRAE 62.1)	27



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Farklı havalandırma hızlarında standart bir kişinin neden olduğu memnuniyetsizlik.	28
Şekil 2.2 : Bina kokusu yoğunluğu ile metabolik CO ₂ seviyeleri arasındaki ilişki... ..	29
Şekil 2.3 : Fiziksel aktivitenin bir fonksiyonu olarak CO ₂ üretimi ve oksijen tüketimi.	30
Şekil 3.1 : Plakalı tip ısı geri kazanım üniteli klima santrali.	36
Şekil 3.2 : Hava kalite sensörü: (a) Sensör konumu ve kontrolü. (b) Deneylede kullanılan hava kalite sensörü	37
Şekil 3.3 : Kanal tipi hava hız ve sıcaklık sensörü: (a) Deneylede kullanılan kanal tipi hava hız ve sıcaklık sensörü. (b) Sensör konumları.....	38
Şekil 3.4 : DDC panosu: (a) Kat DDC panosu. (b) HVAC-DDC panosu.	39
Şekil 3.5 : Sistemin genel şeması.	39
Şekil 3.6 : HVAC-DDC ölçümleri.....	40
Şekil 3.7 : Karbondioksit seviyesi ile havalandırma arasındaki ilişki.	40
Şekil 4.1 : 12.11.2018 ve 30.11.2018 tarihleri arası CO ₂ grafiği	43
Şekil 4.2 : 07.11.2018 tarihi CO ₂ grafiği.	44
Şekil 4.3 : 07.11.2018 tarihi emiş ve üfleme hava akış hızları grafiği.	45
Şekil 4.4 : 07.12.2018 tarihi enerji tüketimi grafiği.	46
Şekil 4.5 : 07.11.2018 tarihi dersliklerin sıcaklık grafiği	46

KLİMA SANTRALLERİNDE ENERJİ KAZANCI UYGULAMALI MODELİ

ÖZET

Çok bölgeli havalandırma ve iklimlendirme sistemleri hastahane, alışveriş merkezi, sinema, büyük ticari binalar ve eğitim kurumlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Binaların büyük bir bölümünü oluşturan eğitim binaları, bir ülkenin sanayi dışı enerji kullanımında yüksek enerji tüketimine sahiptir. Havanın kalitesizliğinden, öğrencilerin sık sık hastalandığı, devamsızlıklarının arttığı ve astım ve bronşit gibi kalıcı rahatsızlıkların ortaya çıktığı görülmektedir. Bu nedenle, okullardaki iç hava kalitesinin takip edilmesi, kontrolü ve ölçümü son derece önemlidir.

Talep kontrollü havalandırma; sistemin hizmet verdiği alanların doluluk oranı, tasarımın doluluk oranından az olduğunda, dış hava girişinin (hava akış kontrolü) tasarım hızlarının altında otomatik olarak indirilmesini sağlayan bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem gereksiz havalandırmayı azaltmak ve enerji tasarrufu sağlamak için kullanılabilir. Karbondioksit algılama, bir alandaki insan sayısını veya insanlar ile ilgili kirletici kaynakların gücünü tahmin etmek için kullanılabilir. Bu kontrol yaklaşımı CO₂ tabanlı Talep Kontrollü Havalandırma olarak adlandırılır. Bu yaklaşım, ASHRAE Standardı 62.1-2010'a göre gereken havalandırmayı sağlarken havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde enerji tüketimini azaltma için bir fırsat sunmaktadır.

Bu çalışmada esas alınan konu havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde verimliliği düşürmeden maliyeti azaltmak için yapılabilecek çalışmaları esas almaktır. Hava akış kontrolü yapılarak, CO₂ tabanlı Talep Kontrollü Havalandırma sisteminin optimal kontrol çalışma çözümlerini belirlemek amacıyla Türkiye'de bir üniversite kampüsü çok bölgeli bir eğitim binasında CO₂ tabanlı Talep Kontrollü Havalandırma sisteminin yerinde uygulanması ve geçerliliği üzerine bir çalışma yapılmıştır.

ENERGY CAPITAL APPLIED MODEL IN AIR CONDITIONING PLANTS

SUMMARY

Multi-zone ventilation and air-conditioning systems are widely used in hospitals, shopping centers, cinemas, large commercial buildings and educational institutions. Educational buildings, which make up a large part of buildings, have high energy consumption in a country's non-industrial energy use. As a result of the poor quality of the air, it is observed that the students frequently get sick of illness, their absences increase and permanent diseases such as asthma and bronchitis occur. Therefore, monitoring, control and measurement of indoor air quality in schools is extremely important.

Demand controlled ventilation; when the occupancy rate of the areas served by the system is less than the occupancy rate of the design, it is defined as a system that allows the automatic lowering of the external air inlet (air flow control) below the design speeds. This system can be used to save energy by unnecessary ventilation. Carbon dioxide detection can be used to estimate the number of people in a field or the power of human-related pollutant sources. This is called control-based demand controlled ventilation. This approach provides an opportunity to reduce energy consumption in air conditioning systems while providing the necessary ventilation according to ASHRAE Standard 62.1-2010.

The aim of this study is to take lessons from the studies that can be done to reduce the cost without reducing the efficiency in ventilation and air conditioning systems. Taken as a basis, issues of ventilation and air conditioning work that can be done to reduce costs without reducing the efficiency of the system by making essential trade-offs. In this study, the subject is based on the studies that can be done to reduce cost without reducing efficiency in ventilation and air conditioning systems. In order to determine the optimal control methods of air flow control based demand-controlled ventilation system, a study was carried out on the application and validity of demand-controlled ventilation system in a university campus multi-zone training building in Turkey.

1. GİRİŞ

Havalandırma sistemlerinin ana amacı, kirliliği gidermek, iyi bir iç hava kalitesi (IAQ) yaratmak, binaya taze hava salmak ve dolaştırarak sağlık sorunları riskini azaltmaktır. Talep kontrollü havalandırma; sistemin hizmet verdiği alanların doluluk oranı, tasarımın doluluk oranından az olduğunda, dış hava girişinin (hava akış kontrolü) tasarım hızlarının altında otomatik olarak indirilmesini sağlayan bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem gereksiz havalandırmayı azaltmak ve enerji tasarrufu sağlamak için kullanılabilir. CO₂ tabanlı talep kontrollü havalandırma (CO₂ tabanlı DCV) kullanarak dış hava giriş oranlarını kontrol etmek, yeterli havalandırma seviyesini temin ederken, doluluk oranının düşük olduğu dönemlerde aşırı havalandırmanın getirdiği enerji yükünü azaltma olasılığını sunar.

1.1 Tezin Amacı

HVAC sistemlerinde doluluk oranı, tasarım doluluk oranının altına düştüğünde aşırı havalandırma olacaktır. Bu nedenle, sistem dış hava oranının mevcut doluluk sayısına dayalı gerçek zamanlı hava akış hızı kontrol edilebilir. İç Hava Kalitesi korunurken enerji tüketiminden tasarruf edinilebilir.

Bu çalışmada esas alınan konu havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde verimliliği düşürmeden maliyeti azaltmak için yapılabilecek çalışmaları esas almaktır. Hava akış kontrolü yapılarak, CO₂ tabanlı DCV sisteminin optimal kontrol çalışma çözümlerini belirlemek amacıyla Türkiye’de bir üniversite kampüsü çok bölgeli bir eğitim binasında CO₂ tabanlı Talep Kontrollü Havalandırma sisteminin yerinde uygulanması ve geçerliliği üzerine bir çalışma yapılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Cablé, A. ve arkadaşları, Pasif Ev Standardında Norveç’te bir okulu için yaptıkları çalışmasında, İki havalandırma kontrol stratejisini karşılaştırmışlardır. Mevcut strateji, havalandırma hızını değiştirerek sınıfta 800 ppm’lik sabit karbondioksit

konsantrasyonunu sağlamaktır (sabit CO₂ kontrolü). Birleştirilmiş CO₂ ve sıcaklık kontrolünden oluşan yeni bir strateji uygulayarak, Regresyon analizi, kombine CO₂ ve sıcaklık kontrolünün, mevcut strateji (sabit CO₂ kontrolü) ile karşılaştırıldığında iç sıcaklıktaki değişmelerle rahatsızlığı azalttığını ortaya koymuştur. Doğru şekilde uygulanırsa, kombine CO₂ ve sıcaklık DCV, pasif ev standardına göre inşa edilen okullar için uygun bir çözüm gibi görüldüğünü söylemişlerdir [1].

Lin, X. ve Lau, J. Talep kontrollü havalandırmada ile ilgili çalışmalarında, “1- CO₂ algılama, işgal edilen ilgili kirletici kaynakların gücünü tahmin etmek için kullanılabilir. 2- Bu tür kontrol yaklaşımına CO₂ tabanlı DCV denir.” Çok bölgeli HVAC sistemlerinde CO₂ tabanlı DCV kontrol stratejisinin uygulanması anlatılmıştır. Bu kontrol stratejilerini uygulamak için, denklemleri çözmek ve dış hava emme hava akışı ayar noktasını sıfırlamak için bölge seviyesinde ve hava emniyetli sistem seviyesinde doğrudan dijital kontrol gerekliliğini, hava akışı ölçüm sistemi ve modüle OA kontrol damperi de gerekliliğini ve solunum zonlarındaki CO₂ konsantrasyonları ve merkezi klima santralindeki bir lokasyondaki birincil hava ve her bölgeye ait primer hava akımı oranı ölçülmesi gerektiğini söylemişlerdir [2].

Ahmed, K. ve arkadaşları, talep kontrollü oda şartlandırma ve havalandırma sisteminin optimal kontrol ve çalışma çözümlerini belirlemek amacıyla, Finlandiya'nın düşük enerjili ofis binasının kapalı iklim ve enerji performansı incelendikleri çalışmada, talep kontrollü havalandırma sistemi, kullanılan kontrol ve operasyon stratejisine bağlı olarak sabit hava hacmi sistemine kıyasla % 7-8 daha az toplam birincil enerji kullandığını, DCV sistem tasarrufunun, yalnızca ısıtma, soğutma, fanlar ve birincil enerji düşünülen pompalar için %33-41 olduğunu söylemişlerdir [3].

Cho, W. ve arkadaşları, Kore'deki evler için talep kontrollü ve enerji tasarruflu havalandırma için yaptıkları simülasyon sonuçlarında, gerekli iç hava kalitesi seviyesinin sağlanmasında önerilen havalandırma sisteminin, çalışma saatinin % 50'sinden biraz daha az dış hava indüksiyonunun çalışma hızını düşürdüğünü ve havayı boşalttıkça enerji kullanımını yaklaşık % 20 düşürdüğünü ölçmüşlerdir [4].

Li, S. Çin'de kullanıcılara dayalı bir havalandırma standardında gerçekleştirilen talep kontrollü havalandırma geliştirme potansiyelini incelemek için, CO₂ tabanlı DCV ve radyo frekansı tanımlama tabanlı DCV yöntemlerini, bir fan coil sistemi ile

birleştirilmiş bir dış hava sistemi tarafından sunulan bir ofis binası modelinde simüle etmiştir. Simülasyonları, örnek olarak, mevcut Çin havalandırma standardıyla yürütmüştür. Sonuçlarında, mevcut Çin standartının CO₂ tabanlı DCV stratejisi altında ciddi dalgalanmalara neden olduğunu, havalandırma oranını sadece doluluk sayısı ile ilişkili bir işlev olarak tanımladığı için DCV kontrolünü dengesiz kılacak sonucuna varmıştır. Geliştirme olarak, mevcut Çin havalandırma standardı, Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Topluluğu'nun, kullanıcıyı ve binayı ayrı ayrı ele aldığı standartlara benzer şekilde değiştirmiştir. Değiştirilen standartta, “çeşitli DCV yaklaşımlarına uygulanabilir ve kabul edilebilir bir konsantrasyonunu koruyabilir.” Değişikliğin, mevcut Çin havalandırma standardının CO₂ tabanlı DCV'ye uygulanabilirliğini önemli ölçüde geliştireceğini ve benzer havalandırma standartlarına kolayca genişletilebileceğini söylemiştir [5].

Lin, X. ve Lau, J., Çok bölgeli HVAC sistemleri için CO₂ tabanlı talep kontrollü havalandırma için yaptıkları çalışmada, “tasarlanan minimum bölge birincil hava akışı hızı değişken hava hacmi terminal kutusu minimum ayar noktalarında kullanılan normal ayar noktasından daha düşük olarak tasarlanabilir. Bu yeni ayar, sistem besleme fanının enerji tüketimini ve ayrıca terminalin yeniden ısıtılması için enerji tüketimini azaltır. Hem enerji simülasyonu hem de hava akımı simülasyonu bir binanın farklı yerlerinde gerçekleştirildi. Bu yazıda sonuçlar, Bölüm 1'de sunulan CO₂ tabanlı dinamik sıfırlama ve DCV temel durumdaki ile karşılaştırıldığında, bölge temel hava akımı ayar noktası sıfırlaması ile CO₂ tabanlı dinamik sıfırlama stratejilerinin önerilen enerji tasarruflarını tükettiğini göstermektedir. Önerilen talep kontrollü havalandırma için iki seçenek için yıllık ortalama dış hava akışı oranı %44.1 ve %45'dir. DCV olmayan durumdaki dış hava akışı oranından daha düşüktür.” Önerilen talep kontrollü havalandırma kontrol stratejilerinin, terminal tekrar ısıtılmalı çok kanallı tek kanal VAV sistemleri için CO₂ temelli talep kontrollü havalandırma için düşünülmesi önermişlerdir [6].

Hesarakı, A. ve arkadaşları, iki havalandırma düzeyinin iç hava kalitesi ve enerji tasarrufu üzerindeki etkisini deneysel ve analitik olarak incelemek için, İsveç'teki Borlänge'de bulunan iki yetişkin ve bir bebek tarafından kullanılan tek ailelik bir ev üzerinde çalışmışlardır. Kabul edilebilir IAQ'nun göstergesi olarak 1000 ppm'lik CO₂ eşliğini kullanılmış, Deneysel sonucunda normal havalandırma hızının 0.5 ach yüksek

olduğunu ve 0,3 ach'lık havalandırma oranı kabul edilebilir IAQ sağlamak için yeterli olduğunu ve bu düşük havalandırma oranının normal oranla karşılaştırıldığında % 43 enerji tasarrufu sağladığını söylemişlerdir [7].

Zhuang, RN. ve arkadaşları, kısa süreli kullanılan odaları için enerji tasarrufu stratejisi için yaptıkları çalışmada, teorik ve hesaplamalı akışkanlar dinamikleri yaklaşımları ile gazlı kontaminantların konsantrasyonunun zamana bağlı doğasını araştırmış, CO₂ tabanlı bir model oluşturmuşlardır. Bu modele dayanarak, kısa süreli işgal edilmiş odalar için bir enerji tasarrufu stratejisi önermiş ve havalandırma hızlarının standart oranlarda % 50 ile % 80'e düşürülebileceğini göstermişlerdir [8].

Lin, X. ve Lau, J. çalışmalarında çok bölgeli HVAC sistemleri için CO₂ tabanlı ve doluluk-sensör tabanlı dinamik OA oranı sıfırlaması için, mevcut koşullarda çok bölmeli sistem denklemlerini çözerek minimum OA hızını hesaplamak ve dinamik olarak sıfırlamak için sabit durum varsayımıyla biyolojik etkin yük tahminini kullanarak bir kontrol stratejisi önermişlerdir (CO₂ tabanlı DR). Bu kontrol stratejisinin enerji performansını ve iç hava kalitesini değerlendirmek için enerji ve hava akımı simülasyonları oluşturulmuşlardır. Simülasyon sonuçları, CO₂ tabanlı DR için ortalama yıllık sistem OA hızının DCV olmadan OA oranından % 14.6 daha düşük olduğunu ortaya koymuşlardır [9].

Fan, Y. ve Ito, K. binalarda kapalı ve kapsamlı iç mekan çevresel tasarımlar oluşturmak için, özellikle tasarım aşamasında, termal ve hava kalitesi performansının doğru ve bilgilendirici tahminini sağlamak için bir bina enerji simülasyonu (BES) - computational fluid dinamikleri (CFD)-entegre simülasyon kullanarak havalandırma oranı için bir optimizasyon prosedürü geliştirmeyi amaçladıkları çalışmada; BES ve CFD'yi CO₂ talep kontrollü havalandırma sistemiyle bütünleştiren ve bunların havalandırma hızını optimize etmek için Japonya'daki bir ofis alanına uygulamışlar. Ofis iki farklı hava akışı koşuluna uygulanır: geleneksel bir tavan sistemi ve bir zemin hava dağıtım sistemi. Bu sistemler sabit havalı hacim havalandırma olarak adlandırılan sabit dış hava alım oranı ile karşılaştırıldığında, bir CO₂-DCV ile ilişkili optimize edilmiş havalandırma sistemleri, sırasıyla % 11.6 ve % 24.1 enerji tasarrufu sağlayacağını ve uygun bir hava akışı düzenine sahip bir CO₂-DCV sistemine göre havalandırma oranını optimize etmek, enerji tasarrufuna ek

olarak, hem sağlıklı, hem de konforlu bir ortamın yaratılmasına ve korunmasına katkıda bulunabileceğini söylemişlerdir [10].

Fan, Y. ve arkadaşları, paket klima cihazlarında ısı geri kazanım içeren tavan tipi HVAC sistemlerinin termal performansını incelemek ve CO₂ talep kontrollü havalandırma sistemlerinin enerji tasarrufu verimliliğini test etmek için yaptıkları saha çalışmalarında; Kullanım altındaki bölgeye (0-1.8 m) ve üst havalandırma alanına (tavan yüksekliğine) yerleştirilen algılayıcılardan alınan ölçümler, sıcaklık, bağıl nem ve CO₂ konsantrasyonu dağılım senaryoları için değerlendirilmiş. Ölçümler sonucunda ısı geri kazanımın bina için belirlenen bir havalandırma oranı ile sürekli olarak çalıştırıldığı koşulla karşılaştırıldığında CO₂-DCV sisteminin yaklaşık % 30 enerji tasarrufu sağladığını söylemişlerdir [11].

Wang, Z., uçak elektronik ekipman eğitim salonu için yaptığı çalışmada, taze havanın miktarını kontrol etmek için CO₂ konsantrasyonunu almıştır. Matematiksel model kurarak, oransal-integral-türev (PID) aritmetiği uygulayarak ve MATLAB yazılımını kullanarak, temiz hava miktarını kontrol etmek ve sağlıklı bir kapalı ortam sağlamak amacıyla, CO₂ konsantrasyonunun kontrolü hakkında emülasyon uygulamış ve uçak elektronik ekipman eğitim salonunda IAQ'yu geliştirmek için teorik temeller sunmuştur [12].

Lin, X. ve arkadaşlar, CO₂ tabanlı talep kontrollü havalandırma için yaptıkları bir literatür (review) çalışmasında şunları söylemişlerdir, “Talep kontrollü havalandırma, alanın tasarım düzeyinden daha az bir mesafede işgal edilmesi durumunda, gereksiz havalandırmayı azaltmak ve enerji tasarrufu yapmak için kullanılabilir. Karbon dioksit algılama, bir alandaki insan sayısını veya yolcu ile ilgili kirletici kaynakların gücünü tahmin etmek için kullanılabilir. Bu kontrol yaklaşımı, CO₂ tabanlı DCV olarak adlandırılır. CO₂ tabanlı DCV'nin uygulanması için doğrulanması gereken çeşitli varsayımlara dayanmaktadır. Bu varsayımları gözden geçirmek için yapılan bir literatür araştırmasının sonuçlarını açıklamaktadır. Çalışma, varsayımların geçerli olduğuna ve CO₂ tabanlı DCV'nin ANSI / ASHRAE Standardı 62.1-2010'nun hedeflerini karşılayabileceğine karar verir [13].”

Lü, X. ve arkadaşları, binalarda planlanmamış çalışma saatleri için yaptıkları çalışmada, CO₂ için en sık kullanılan orantısal-arti-integral (PI) ve oransal-integral-

türev (PID) kontrollere alternatif olarak kullanılmak üzere yeni ve verimli bir CO₂ tabanlı talep kontrollü havalandırma stratejisini önermektedir. Benzetimli ve deneysel CO₂ üretim oranları kullanılarak bir spor antrenmanı merkezi için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. DCV'nin PID'ye benzer performans gösterdiğini ancak oransal kontrolden daha iyi enerji tasarrufu performansı sağladığını söylemişlerdir [14].

Norbäck, D. ve arkadaşları, bilgisayar sınıflarında CO₂ talep kontrollü havalandırma sisteminin (değişken akış) algılanan hava kalitesi ve hasta yapı sendromu üzerine etkilerini araştırmak için yaptıkları çalışmada; artan CO₂ düzeylerini düşüren, CO₂ kontrollü bir havalandırma sisteminin kullanılması, baş ağrısı ve yorgunluğu hafifçe azaltabileceğini ve algılanan hava kalitesini artırabileceğini söylemişlerdir [15].

Lau, J. ve Lin, X. çok bölgeli bir VAV sistemi için CO₂ tabanlı DCV kontrol mantığı önermişler ve bu DCV kontrol mantığının performansını değerlendirmek için hava akımı simülasyonu yapmışlardır. DCV kontrol mantığının ASHRAE Standardı 62.1-2010'daki havalandırma gereksinimini karşılayacağını ve enerji tüketimini azalttığını göstermişlerdir [16].

Nassif, N. çok bölgeli HVAC sistemleri için besleme havası CO₂ konsantrasyonuna dayanan yeni bir havalandırma kontrol stratejisi için yaptığı çalışmada, bir VAV sistemi ile çeşitli ABD bölgelerinde klimalı çok alanlı ofis binası simülasyonları ile değerlendirmiştir. Strateji ASHRAE Standart 62.1 2010 prosedürü ile karşılaştırıldığında, önemli bir tasarruf elde edilebileceğini ve bu tasarrufun asıl doluluk profiline ve bina yerlerine bağlı olduğunu söylemiştir [17].

Shan, K. ve arkadaşları, çok bölgeli ofislerin talebe bağlı havalandırması için sınırlı sensörleri kullanan yeni bir strateji sunmuşlardır. Geliştirilen strateji, Hong Kong'daki yüksek katlı bir ofis binasında uygulamışlardır. DCV stratejisi kabul edilebilir DCV'yi korurken önemli enerji tasarrufu sağladığını, Stratejinin tam sensörlü çok bölgeli DCV stratejisi ile benzer performansı gösterdiğini ve stratejinin yalnızca sınırlı sensörlerin bulunduğu durumlarda kabul edilebileceğini söylemişlerdir [18].

Ng, M. O. ve arkadaşları, CO₂ temelli talep kontrollü havalandırma kontrol stratejilerini, elde edilen enerji tasarrufu ve iç hava kalitesi açısından yeni ASHRAE Standardı 62.1-2010 ve eski havalandırma standartları altında CO₂-DCV'nin uygulanmasını karşılaştırmak için bir Amerikan ilkokuldaki spor salonunda bir

çalışma sunmaktadırlar. Çalışmalarının sonucunda, havalandırma hızının daima toplam besleme hava akışının mevcut sabit havalandırma oranı stratejisine kıyasla %5'i olduğu, yeni ASHRAE 62.1 kapsamında bir doluluk algılama kontrol stratejisi kullanılarak termal konfor ve kapalı hava kalitesini korurken % 0.03 ve % 1.86'lık bir soğutma enerji tasarrufu sağlanabileceğini söylemişlerdir [19].

Lu, T. ve arkadaşları, saatlik olarak planlanan binalar için yeni ve dinamik bir kontrol stratejisi geliştirmişlerdir. Strateji, boş saatler için bir taban havalandırma oranı belirleyerek ve kapatılan periyot boyunca CO₂'yi ayar noktasına yakın tutmak için bir spor eğitim merkezinde simülasyon ve deneysel CO₂ üretim oranı kullanmışlardır. Deneysel simülasyonları sonucunda, yeni stratejinin, orantılı kontrol ile karşılaştırıldığında havalandırma havasıyla ilgili enerjinin % 34'ünü kurtarabileceğini göstermişlerdir. Yeni strateji, hemen hemen tüm çalışma saatlerinde işgal edilen ortak binalara da genişletmişlerdir. Ortak bina söz konusu olduğunda, yeni strateji orantılı kontrol ile karşılaştırıldığında havalandırma havasıyla ilgili enerjiden yaklaşık % 26 tasarruf sağlayabileceğini söylemişlerdir [20].

Sun, Z. ve arkadaşları, çok bölgeli ofis binası CO₂ tabanlı uyarlanabilir talep kontrollü havalandırma için yaptıkları çalışmada, Hong Kong'daki gerçek bir binada uyarlanabilir bir talep kontrollü havalandırma stratejisinin uygulanması ve geçerliliğini doğrulamışlardır. Bu stratejinin performansı, orijinal olarak gerçekleştirilen sabit dış hava akış hızı kontrol stratejisi ile karşılaştırılarak test etmişlerdir. Simülasyon çalışmasının sonuçlarında, DCV stratejisinin memnuniyet verici iç hava kalitesini korurken sistemin işletme maliyetini düşürmesine yardımcı olabileceğini, DCV stratejisinin sıcak yaz ve orta mevsimlerde genel enerji tüketimini önemli ölçüde Hong Kong'da düşürmesine yardımcı olabileceğini ancak kış koşullarında dış hava kontrolü için uygun bir yöntem olmayabileceğini söylemişlerdir. Kış dönemlerinde, DCV stratejisi kullanmak yerine entalpi kontrol stratejisinin daha iyi bir seçim olacağını önermişlerdir [21].

Li, J. ve arkadaşları, sensör temelli talep kontrollü havalandırma kullanılarak bir HVAC sisteminin dinamiklerine uyan bir kontrol algoritmasının geliştirilmesi ve onaylanmasını sundukları çalışmalarında; CO₂ konsantrasyonuna karşı havalandırma oranı modeline ve gerçek zamanlı iç mekan doluluk tahminine dayanan dinamik bir iç hava kalitesi kontrol algoritması geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda gerekli iç hava

kalitesini korurken enerji tüketimini de azaltabilir ve aynı zamanda öngörülemeyen geçici olarak doluluk oranı veya kirletici emisyon için de yararlı olacağını söylemişlerdir [22].

Jeong, J.W. ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, gerçek zamanlı kişi sayısını, gereken havalandırma miktarını, CO₂ ve formaldehit (HCHO) konsantrasyonlarını tahmin etmek için, ticari bir denklem çözücü programı kullanılarak sayısal bir model geliştirmişlerdir. Kore'de kullanılan geçerli havalandırma standardı, kişi bazlı havalandırma standartlarının bir örneği olarak uygulanmıştır. Mevcut standardın özellikle CO₂-DCV altında dengesiz DCV simülasyon sonuçlarına neden olabileceği bulmuşlardır. Bunun nedeni olarak, standartta belirtilen havalandırma oranı (kişi başına), hem kişilerin hem de binaların kendileri tarafından üretilen hava kirleticilerinin uzaklaştırılması veya seyreltilmesi için gereken dış hava toplamı olmadığını söylemişlerdir. Bu sorunu çözmek için mevcut kişi bazlı havalandırma standardı, çeşitli DCV yaklaşımlarına uygulanabilirliğini gösteren ASHRAE Standardı 62.1-2007 formunda değiştirmişlerdir. Bu modifikasyonun mevcut havalandırma standardının CO₂-DCV'ye önemli ölçüde uygulanabilirliğini arttırdığı ve tüm çalışma süresi boyunca kabul edilebilir HCHO konsantrasyonlarını koruyabileceği bulmuşlardır [23].

Kusiak, A. ve Li, M. tek bir tesisin iki modlu bir havalandırma kontrolü için yaptıkları çalışmada, CO₂ konsantrasyonunu büyük kapalı alan hava kalitesi endeksi ve beklenen oda doluluk programı kullanarak, CO₂ konsantrasyonunu ve enerji maliyetlerini düşüren optimum çözümleri, çalışmalarında formüle edilen çok amaçlı optimizasyon modelinin çözülmesi ile elde etmişlerdir. Kullandıkları strateji sonucunda, optimize edilmiş havalandırma programlarının, enerji tasarrufu ve kabul edilebilir bir seviyedeki CO₂ konsantrasyonunu sağladığını söylemişlerdir [24].

Xu, X. ve arkadaşları, çalışmalarında termal konforu, iç hava kalitesini ve toplam enerji tüketimini kullanarak toplam taze hava akış oranını optimize etmeyi amaçlayan çok bölgeli VAV iklimlendirme sistemleri için modele dayalı optimal bir havalandırma kontrol stratejisini sunmuşlardır. Bu strateji iki plan içerir. Biri dinamik çok bölgeli havalandırma denklemi şemasıdır. Diğeri, kritik bölgelerin dinamik sıcaklık ayar noktası sıfırlama şemasıdır. Birinci şema, aşırı havalandırma bölgelerinden çıkan taze hava dikkate alınarak toplam taze hava akış oranı ayar

noktasını düzeltmektir. İkinci şema, dinamik basitleştirilmiş modeller kullanılarak öngörülen sistem tepkisine dayalı olarak bölge sıcaklık kontrolü için kritik bölgelerin sıcaklık ayar noktasını optimize etmektir. Bu şema, münferit bölgelerin gerekli taze hava fraksiyonları arasındaki dengesizliği azaltmayı amaçlamaktadır. Çalışmalarının sonucunda, optimal stratejinin çok bölgeli DCV stratejisi ile karşılaştırarak önemli enerji tasarrufu sağlayabileceğini söylemişlerdir [25].

Lawrence, T.M. ve Braun, J.E., küçük ticaret binalarında talep kontrollü havalandırma (DCV) yenilenmelerinin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere simülasyon modellerinin kalibre edilmesi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem, alan verilerinden bireysel bileşen modellerini (HVAC ekipman performansı gibi) ayarlama işlemi yoluyla geliştirilen kalibre edilmiş bir bina simülasyon modelini kullanmışlardır. Yöntem, Kaliforniya'daki farklı iklimlerde bulunan birkaç küçük ticaret binasına uygulanmıştır. Kalibrasyonlu simülasyon modellerinden kaynaklanan tahmini saatlik soğutma sistemi enerji kullanımının ortalama en iyi mühendislik tahminleri ile karşılaştırıldığında genel iyileşme, test yerleri için 0.13 ila 1.2 kWh arasında değişmekte ve ortalama iyileşme % 27.6'dır. Dış hava akım hızlarının ASHRAE Standardı 62.1'de belirtilenlere eşit olduğu durumlarda DCV'nin ekonomik faydalarını değerlendirmişlerdir. Test yapılan yerlerde DCV'nin yenilenmesi için tahmini ekonomik geri ödeme, bir yıldan kısa bir süre ile yaklaşık beş yıl arasında değiştiğini ve ekonomik faydaların belirlenmesinde anahtar faktörler iklim çeşidi ile kurulu olan HVAC ünitelerinin sayısı olduğunu söylemişlerdir [26].

Wachenfeldt, B.J. ve arkadaşları, talep kontrollü yerden havalandırmaya sahip okullarda hava akış hızları ve enerji tasarrufu potansiyelini araştırmak için geleneksel Sabit Hava Hacmi (CAV) karıştırmalı havalandırma sistemi olan Norveç'teki iki okulda yaptıkları çalışma sonucunda; her iki okulda da CAV'ye kıyasla hava akış hızlarının % 65-75 oranında azaldığını söylemişlerdir. Mediå Okulu için Analiz periyodu 11-17 Kasım 2002'de hem hava akış hızları hem de enerji performansı ölçümleri ve ayrıntılı, kalibre edilmiş bir simülasyon modeli kullanılarak analiz etmişlerdir. Bu hafta boyunca, DCDV-CO₂ gündüz çalışması, toplam ısıtma enerjisi talebini % 21, egzoz havalandırma havasındaki geri kazanılan ısı miktarı % 54 ve ortalama hava akışı oranını % 50 oranında düşüğünü ve sabit fan verimliliğini

varsayarak, hafta içi DCDV-CO₂ gündüz çalışmasının, analiz edilen haftada fan enerji tüketimini % 87 oranında düşüğü bulmuşlardır [27].

Lawrence, T.M. ve Braun, J.E., çalışmalarında, paket klima tesisatını kullanan küçük, tek bölge ticari binalarda kullanılan alanlarda CO₂ düzeylerini tahmin etmek için farklı modelleme yaklaşımlarının ayrıntılı bir değerlendirmesini sunmuşlardır. İki bölge ve üç bölge geçici modeller, birbirinden tamamen farklı üç yapı türüne uygulanan yarı statik denge modeli ile karşılaştırılmıştır. Temel veriler, saha alanları için geliştirilen hesaplamalı akışkan dinamik modellerden türetilmiştir. Daha sonra, her bina türüne DCV uygulanması ile ilişkili olarak tahmin edilen enerji maliyeti tasarrufları üzerindeki farklı modelleme yaklaşımlarının etkisini karşılaştırmak için komple bir bina sistemi simülasyon modeli kullanmışlardır. Geçici bir CO₂ modelinin kullanılması, yarı statik modele kıyasla model tahmin kesinliği ve enerji maliyeti tasarrufu tahminleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını söylemişlerdir. “Çeşitli CO₂ modelleme türleri arasındaki tahmin edilen yıllık enerji maliyetleri arasındaki fark azdı ve CO₂ sensörü belirsizliği gibi faktörlerin getirdiği hatalardan kaynaklanabilecek sonuçlardan daha az olabilir.” Bu nedenle, küçük ticari binalar için DCV'nin değerlendirilmesinde bir denge modeli kullanılması yeterli olduğunu söylemişlerdir [28].

Mysen, M. ve arkadaşları, Norveç'in Oslo kentinde rastgele seçilen bir okulda yaptıkları çalışmada farklı kontrol stratejilerini uygulamışlardır. Bunlar, (a) sabit hava hacmi [CAV], (b) CO₂ sensörüne dayalı talep kontrollü havalandırma [DCV-CO₂] ve (c) kızılötesi doluluk sensörü tabanlı havalandırma [DCV-IR] üç havalandırma stratejisi için ilgili havalandırma havası hacmi ve enerji kullanımı analiz edilmişlerdir. Çalışmaların sonucunda, talep kontrollü havalandırma DCV-CO₂ ve DCV-IR, ortalama sınıfta havalandırma nedeniyle enerji kullanımını, 07: 00-17: 00 saatleri arasında tam hava akışı ile çalışan bir CAV sistemi için karşılık gelen enerji kullanımına kıyasla sırasıyla% 38 ve % 51'e düşürdüğünü söylemişlerdir [29].

Mui, K.W. ve Chan, W.T., çalışmalarında, yeni talep kontrollü havalandırma sistemine (nDCV) geçiş konusundaki uygunluğunu incelemek amacıyla, kullanım altındaki bir büroda uzun süren öznel ve objektif ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Fizibilite araştırmasından sonra, dış hava havalandırması için tüketilen enerjiyi optimize ederken arzu edilen termal konfor ve iç hava kalitesini

sağlamak için bir nDCV sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, bu nDCV sisteminin, termal konforu ve iç hava kalitesini tehlikeye atmadan, soğutma enerji tüketiminin % 16'sını azalttığını söylemişlerdir [30].

Chao., C.Y.H. ve Hu., U.S. yaptıkları çalışmada, bir entalpi ve karbondioksit seviyesine dayalı talep kontrol havalandırma (EDCV) algoritması geliştirmişlerdir. Stratejilerinde, hem iç mekan doluluk seviyesini hem de temiz hava beslemesini kontrol ederken temiz havanın ve geri dönüş havasının enerji içeriğini hesaba katmışlardır. İyi bir kontrol performansı elde etmek için oransal, integral ve diferansiyel (PID) parametrelerini ayarlamak için bir geri yayılım sinir ağı kullanmışlardır. Gerçek bir uygulamada gelişmiş EDCV algoritmasının performansını doğrulamak için deneylerini, orta büyüklükte bir konferans salonunda gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonuçlarında, kabul edilebilir iç hava kalitesinin daha az enerji tüketimi ile elde edilebileceğini ve optimum deney koşulları altında, yaklaşık toplam soğutma enerjisinin %15.4'ünün kurtarıldığını söylemişlerdir [31].

Atthajariyakul, S. ve Leephakpreeda, T., çalışmalarında, HVAC sistemi için optimum iç hava koşulunun gerçek zamanlı olarak belirlenmesine alternatif bir metodoloji sunmaktadırlar. CO₂ konsantrasyonu ve soğutma / ısıtma yükü sırasıyla termal konfor, iç hava kalitesi ve enerji tüketimi için parametre endeksleri olarak kullanmışlardır. Tek katlı binanın 24 saat işletim HVAC sisteminde, iç hava sıcaklığı, iç hava nemi, iç hava hızı ve havalandırma oranı belirlenerek bir vaka çalışması seçilmiştir. Deney sonuçlarında, CO₂ konsantrasyonunu istenen seviyelere yakın tutan HVAC sistemine gerçek zamanlı olarak iç hava koşullarının belirlenmesinde etkili bir şekilde uygulanabileceğini söylemişlerdir [32].

Mumma, S.A., karbondioksit tabanlı talep kontrollü havalandırma kontrolü üzerine bir inceleme sunmuştur. CO₂ tabanlı DCV'nin tüm hava VAV sistemlerinin ASHARE Standard 62'yi enerji tasarruflu bir şekilde karşılayabilmelerini sağlamak için gerekli bir yöntem olduğunu söylemiştir. Tüm kritik bölgelerin izlendiğinden emin olmak için birden fazla CO₂ sensörü kullanan düzgün bir şekilde tasarlanmış bir sistem gerektiğini ve CO₂ tabanlı DCV, tüm hava VAV sistemlerinin ASHRAE Standard 62'yi enerji verimliliği açısından karşılayabildiğinden emin olabilmek için gerekli bir yöntem gibi görüldüğünü söylemiştir [33].

Schell, M. ve Int-Hout, D., çalışmalarında, CO₂ tabanlı talep kontrollü havalandırma, teknolojisinin kısa bir tartışması, güvenilirliği ve en iyi uygulanma şekli de dahil olmak üzere CO₂ tabanlı havalandırma kontrolünde günümüzdeki mevcut durumu özetlemektedirler. Sonuçlarında, doğru şekilde monte edilmiş olan CO₂-DCV, hava girişleri maksimum kabul edilen bir doluluk için havalandırma sağlayacak şekilde ayarlandıysa, gerekebilecek fazla havalandırmayı azaltabileceğini ve bu yaklaşımın, yenileme veya yeni yapıya eşit derecede uygulanabilir olduğunu; bu sayede, ASHRAE Standard 62 havalandırma oranlarının her zaman korunması sağlanırken enerji tasarrufu sağlanabileceğini söylemişlerdir [34].

Schell, M.B. ve arkadaşları, çalışmalarında ANSI / ASHRAE Standardı 62-1989, Yorumlama IC 62-1989-27'nin yakın tarihli bir yorumu ve CO₂ tabanlı DCV'nin uygulanmasına ilişkin yönergeler sağlanmıştır. Ek olarak, Tahmin edilen CO₂ havalandırma düzeylerini, işgal edilmiş bir alanda kaydedilen CO₂ seviyeleri ile karşılaştırarak, kişi başına gerçek havalandırma oranının mekana etkin bir şekilde makul olarak tahmin edilmesine olanak tanıyan bir yöntem sunulmuştur. Son olarak, çeşitli CO₂ tabanlı DCV stratejilerini, standart tarafından istenen gecikme süreleri içinde hedef kişi başına havalandırma hızlarına ulaşmasını öngörmek için değerlendiren bir model araştırmacılar tarafından sunulmuştur [35].

Fisk, W.J. ve De Almeida, A.T., yaptıkları bir inceleme sensör temelli talebe bağlı havalandırma (SBDCV) sistemi karbondioksit (CO₂) konsantrasyonlarının izlenmesi ve kontrolüne dayandığını söylemişlerdir. SBDCV'nin enerji tasarrufunu ve maliyet etkinliğini nicelleştiren sınırlı sayıda iyi belgelendirilmiş saha incelemesi bulunduğunu ve incelenen saha incelemeleri, uygun uygulamalarda SBDCV'nin tipik olarak birkaç yıl geri ödeme süresi ile önemli düzeyde enerji tasarrufu sağladığını önerdiklerini söylemişlerdir [36].

Emmerich, Steven J. ve Persily, Andrew K., CO₂ temelli talep kontrollü havalandırma üzerine yaptıkları literatür taramasında saha uygulama projeleri, bilgisayar simülasyon çalışmaları, sensör performansı ve konumu ile ilgili çalışmalar ve yaklaşımın uygulanması tartışmaları da dahil olmak üzere, karbondioksit temelli talep kontrollü havalandırma ile ilgili önceki çalışmaları inceleyerek, çalışmalar özetlemiş ve birtakım araştırma ihtiyaçları belirlemişlerdir [37].

Carpenter, Stephen C., çalışmalarında, minimum enerji kullanımı ile yeterli iç hava kalitesini sağlamak için CO₂ esaslı talep kontrollü havalandırma (DCV) kullanmanın etkinliğini incelemiştir. “Ayrıntılı bir bina enerji analizi programı (ENERPASS), analiz gerçekleştirmek için kontaminant düzeyinde bir tahmin programı (CONTAM87) ile birleştirildi. Birleşik program, yıllık ısıtma ve soğutma enerji tüketimini, karbon dioksit ve formaldehit konsantrasyonlarını değerlendirmek için kullanıldı. Değerlendirme, ASHRAE Standardı 90.1'e uyacak şekilde tasarlanmış orta ölçekli bir ticari bina üzerinde yapıldı. Tekli bölge, multizone ve değişken hava hacmi (VAV) olmak üzere üç ayrı ısıtma, havalandırma ve klima (HVAC) sistemi incelendi.” Simülasyonlar beş havalandırma kontrol stratejisi için yapılmıştır: sabit havalandırma; 1000 ppm ve 800 ppm'e kadar kontrol edilen bina dönüş havası; 1.000 ppm'e kadar kontrol edilen kat geri dönüş havası; ve her bölgeyi 1.000 ppm'e kadar kontrol etmiştir [38].

Haghighat, F. ve Donnini, G., çalışmalarında kullanıcılar tarafından üretilen karbondioksiti, havalandırma hızının ve iç hava kalitesinin bir göstergesi olarak kullanılmasıyla havalandırma sisteminin kontrolünün fizibilitesini, on katlı bir ofis binasında araştırılmıştır. Çalışma, iki farklı tür havalandırma kontrol sisteminin oluşturduğu kapalı ortamı karşılaştırır. Test edilen iki havalandırma sistemi: dış ortam sıcaklıkları tarafından kontrol edilen konvansiyonel bir sistem ve kapalı karbon dioksit konsantrasyonu ile düzenlenen talep kontrollü bir sistemden oluşur. Sonuçlarında CO₂ temelli talep kontrollü havalandırma sisteminin iç hava kalitesini ve termal konforu kötüleştirmediğini göstermektedir. Ayrıca, CO₂ kontrol sistemi kullanılarak % 12'lik bir enerji tasarrufuna ulaşıldığı da fark etmişlerdir. Çalışma ortamının tatmin edici seviyelerin üzerinde daha iyi kontrol edilmesi ile daha yüksek üretkenlik oranlarının elde edilebileceğini söylemişlerdir [39].

Warren, B.F. ve Harper, N.C. çalışmalarında, Birleşik Krallık kentsel bir ortamda bulunan bir oditoryuma verilen havalandırma oranları, CO₂ konsantrasyonuna tepki olarak kontrol edildiğinde yapılabilecek enerji tasarruflarını incelemişlerdir. Kademeli entegrasyon ön işlemciden üretilen CO₂ konsantrasyon seviyelerine dayanan havalandırma profilleri, hareketli doluluk seviyelerine sahip bir alanı modelleyen dinamik bir termal simülasyon bilgisayar programına gönderilir. Simülasyonlar, %100 taze hava havalandırma sistemlerini kullanan denetleyicinin, CO₂ kontrollü

havalandırma sistemi dahil etmek üzere yeniden donatılmış olduğu durumlarda, ısıtma enerji tasarruflarının %50 kadarına ulaşılabileceğini önermektedir [40].



Çizelge 1.1 : Gözden geçirilen çalışmalar.

Sıra No	Yayın Yılı	Yazarlar	Yazının Adı	Yayınlandığı Yer	Araştırma Yöntemi		Araştırmada İncelenenler						Uygulama Alanları			Bölge Tipi		
					Saha Çalışması (Uygulama)	Simülasyon	Sensör Performansı	Sensör Konumu	İç Hava Kalitesi	Ekonomik (Enerji Tasarrufu)	Kontrol	Ofis	Rezidans	Okul (Sınıf)	Konferans	Diğer Binalar	Tek Bölgeli	Çok Bölgeli
1	2016	Cablé, A., Hammer, H.L., Mysen, M.	Comparison of Two Ventilation Control Strategies in the First Passive House Standard Norwegian School	International Journal of Ventilation	X	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	X	-
2	2016	Lin, X., Lau, J.	Applying demand- controlled ventilation	ASHRAE Journal	-	X	-	X	X	X	X	X	-	X	X	-	-	X
3	2015	Ahmed, K., Kurnitski, J., Sormunen, P.	Demand controlled ventilation indoor climate and energy performance in a high performance building with air flow rate controlled chilled beams	Energy and Buildings	-	X	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	X
4	2015	Cho, W., Song, D., Hwang, S., Yun, S.	Energy-efficient ventilation with air-cleaning mode and demand control in a multi-residential building	Energy and Buildings	-	X	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-	X	-
5	2015	Li, S.	Applicability Improvement of Demand-Controlled Ventilation under an Occupant-Based Ventilation Standard in China	Journal of Energy Engineering	-	X	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
6	2015	Lin, X., Lau, J.	Demand-controlled ventilation for multiple-zone HVAC systems-part 2: CO ₂ -based dynamic reset with zone primary airflow minimum set-point reset (RP-1547)	Science and Technology for the Built Environment	-	X	-	-	X	X	X	X	-	X	X	X	-	X

Sıra No	Yayın Yılı	Yazarlar	Yazının Adı	Yayımlandığı Yer	Araştırma Yöntemi		Araştırmada İncelenenler							Uygulama Alanları				Bölge Tipi	
					Saha Çalışması (Uygulama)	Simülasyon	Sensör Performansı	Sensör Konumu	İç Hava Kalitesi	Ekonomik (Enerji Tasarrufu)	Kontrol	Ofis	Rezidans	Okul (Sınıf)	Konferans	Diğer Binalar	Tek Bölge	Çok Bölge	
7	2015	Hesaraki, A., Myhren, J.A., Holmberg, S.	Influence of different ventilation levels on indoor air quality and energy savings: A case study of a single-family house	Sustainable Cities and Society	X	-	-	-	X	X	-	-	X	-	-	-	X	-	
8	2015	Zhuang, R.N., Li, X., Tu, J.	An energy saving ventilation strategy for short-term occupied rooms based on the time-dependent concentration of CO ₂	International Journal of Ventilation	-	X	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	X	-	
9	2014	Lin, X., Lau, J.	Demand controlled ventilation for multiple zone HVAC systems: CO ₂ -based dynamic reset (RP 1547)	HVAC and R Research	-	X	-	-	X	X	X	X	-	X	X	X	-	X	
10	2014	Fan, Y., Ito, K.	Integrated building energy-computational fluid dynamics simulation for estimating the energy-saving effect of energy recovery ventilator with CO ₂ demand-controlled ventilation system in office space	Indoor and Built Environment	-	X	-	-	X	X	-	X	-	-	-	-	X	-	
11	2014	Fan, Y., Kameishi, K., Onishi, S., Ito, K.	Field-based study on the energy-saving effects of CO ₂ demand controlled ventilation in an office with application of energy recovery ventilators	Energy and Buildings	X	-	-	X	-	X	X	X	-	-	-	-	X	-	

Sıra No	Yayın Yılı	Yazarlar	Yazının Adı	Yayınlandığı Yer	Araştırma Yöntemi		Araştırmada İncelenenler							Uygulama Alanları				Bölge Tipi	
					Saha Çalışması (Uygulama)	Simülasyon	Sensör Performansı	Sensör Konumu	İç Hava Kalitesi	Ekonomik (Enerji Tasarrufu)	Kontrol	Ofis	Rezidans	Okul (Sınıf)	Konferans	Diğer Binalar	Tek Bölge	Çok Bölge	
12	2014	Wang, Z.	Emulation about the control system of CO ₂ concentration in aircraft electronic equipment training room	Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	X	-	
13	2014	Lin, X., Lau, J., Yuill, G.K.	Evaluation on the validity of the assumptions underlying CO ₂ -based demand-controlled ventilation by a literature review	ASHRAE Transactions															
14	2013	Lü, X., Lu, T., Viljanen, M., Kibert, C.J.	A new method for controlling CO ₂ in buildings with unscheduled opening hours	Energy and Buildings	-	X	-	-	-	X	X	-	-	-	-	X	X	-	
15	2013	Norbäck, D., Nordström, K., Zhao, Z.	Carbon dioxide (CO ₂) demand-controlled ventilation in university computer classrooms and possible effects on headache, fatigue and perceived indoor environment: An intervention study	International Archives of Occupational and Environmental Health	X	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	
16	2012	Lau, J., Lin, X.	Simulation based validation of two CO ₂ -based demand controlled ventilation control logic for multiple-zone VAV system	10th International Conference on Healthy	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	

Sıra No	Yayın Yılı	Yazarlar	Yazının Adı	Yayınlandığı Yer	Araştırma Yöntemi		Araştırmada İncelenenler							Uygulama Alanları				Bölge Tipi	
					Saha Çalışması (Uygulama)	Simülasyon	Sensör Performansı	Sensör Konumu	İç Hava Kalitesi	Ekonomik (Enerji Tasarrufu)	Kontrol	Ofis	Rezidans	Okul (Sınıf)	Konferans	Diğer Binalar	Tek Bölgeli	Çok Bölgeli	
17	2012	Nassif, N.	Supply air CO ₂ -based demand-controlled ventilation for multi-zone HVAC systems	ASHRAE Transactions	-	X	-	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-	X	
18	2012	Shan, K., Sun, Y., Wang, S., Yan, C.	Development and In-situ validation of a multi-zone demand-controlled ventilation strategy using a limited number of sensors	Building and Environment	X	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	X	
19	2011	Ng, M.O., Qu, M., Zheng, P., Li, Z., Hang, Y.	CO ₂ -based demand controlled ventilation under new ASHRAE Standard 62.1-2010: A case study for a gymnasium of an elementary school at West Lafayette, Indiana	Energy and Buildings	X	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	X	-	
20	2011	Lu, T., Lü, X., Viljanen, M.	A novel and dynamic demand-controlled ventilation strategy for CO ₂ control and energy saving in buildings	Energy and Buildings	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	X	-	
21	2011	Sun, Z., Wang, S., Ma, Z.	In-situ implementation and validation of a CO ₂ -based adaptive demand-controlled ventilation strategy in a multi-zone office building	Building and Environment	-	X	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	X	
22	2010	Li, J., Wall, J., Platt, G.	Indoor air quality control of HVAC system	2010 International Conference on Modelling, 2010	-	-	-	-	X	-	X	X	-	-	-	-	-	X	

Sıra No	Yayın Yılı	Yazarlar	Yazının Adı	Yayınlandığı Yer	Araştırma Yöntemi		Araştırmada İncelenenler							Uygulama Alanları				Bölge Tipi	
					Saha Çalışması (Uygulama)	Simülasyon	Sensör Performansı	Sensör Konumu	İç Hava Kalitesi	Ekonomik (Enerji Tasarrufu)	Kontrol	Ofis	Rezidans	Okul (Sınıf)	Konferans	Diğer Binalar	Tek Bölge	Çok Bölge	
23	2010	Jeong, J.-W., Choi, A., No, S.-T.	Improvement in demand-controlled ventilation simulation on multi-purposed facilities under an occupant based ventilation standard	Simulation Modelling Practice and Theory	-	X	-	-	X	X	X	-	-	-	-	X	X	-	
24	2009	Kusiak, A., Li, M.	Optimal decision making in ventilation control	Energy	-	X	-	-	X	X	X	-	-	-	-	X	X	-	
25	2009	Xu, X., Wang, S., Sun, Z., Xiao, F.	A model-based optimal ventilation control strategy of multi-zone VAV air-conditioning systems	Applied Thermal Engineering	-	X	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	
26	2007	Lawrence, T.M., Braun, J.E.	Calibrated simulation for retrofit evaluation of demand-controlled ventilation in small commercial buildings	ASHRAE Transactions	-	X	-	-	-	X	X	X	-	-	-	X	X	-	
27	2007	Wachenfeldt, B.J., Mysen, M., Schild, P.G.	Air flow rates and energy saving potential in schools with demand-controlled displacement ventilation	Energy and Buildings	-	X	-	-	-	X	X	-	-	X	-	-	-	-	
28	2006	Lawrence, T.M., Braun, J.E.	Evaluation of simplified models for predicting CO ₂ concentrations in small commercial buildings	Building and Environment	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	X	-	

Sıra No	Yayın Yılı	Yazarlar	Yazının Adı	Yayınlandığı Yer	Araştırma Yöntemi		Araştırmada İncelenenler						Uygulama Alanları				Bölge Tipi	
					Saha Çalışması (Uygulama)	Simülasyon	Sensör Performansı	Sensör Konumu	İç Hava Kalitesi	Ekonomik (Enerji Tasarrufu)	Kontrol	Ofis	Rezidans	Okul (Sınıf)	Konferans	Diğer Binalar	Tek Bölge	Çok Bölge
29	2005	Mysen, M., Berntsen, S., Nafstad, P., Schild, P.G.	Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in Norwegian primary schools	Energy and Buildings	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	X	-
30	2005	Mui, K.-W., Chan, W.-T.	Pilot study for the performance of a new demand control ventilation system in Hong Kong	Journal of Architectural Engineering	-	-	-	X	-	X	X	X	-	-	-	-	X	-
31	2004	Chao, C.Y.H., Hu, U.S.	Development of an enthalpy and carbon dioxide based demand control ventilation for indoor air quality and energy saving with neural network control	Indoor and Built Environment	-	X	-	-	X	X	X	-	-	-	X	-	X	-
32	2004	Atthajariyakul, S., Leephakpreeda, T.	Real-time determination of optimal indoor-air condition for thermal comfort, air quality and efficient energy usage	Energy and Buildings	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	2002	Mumma, S.A.	Is CO ₂ demand-controlled ventilation the answer?	Engineered Systems	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-	X
34	2001	Schell, M., Int-Hout, D.	Demand control ventilation using CO ₂	ASHRAE Journal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sıra No	Yayın Yılı	Yazarlar	Yazının Adı	Yayınlandığı Yer	Araştırma Yöntemi		Araştırmada İncelenenler						Uygulama Alanları				Bölge Tipi	
					Saha Çalışması (Uygulama)	Simülasyon	Sensör Performansı	Sensör Konumu	İç Hava Kalitesi	Ekonomik (Enerji Tasarrufu)	Kontrol	Ofis	Rezidans	Okul (Sınıf)	Konferans	Diğer Binalar	Tek Bölge	Çok Bölge
35	1998	Schell, M.B., Turner, S.C., Shim, R.O.	Application of CO ₂ -based demand-controlled ventilation using ASHRAE Standard 62: optimizing energy use and ventilation	ASHRAE Transactions	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
36	1998	Fisk, W.J., De Almeida, A.T.	Sensor-based demand-controlled ventilation: A review	Energy and Buildings	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	1997	Emmerich, Steven J., Persily, Andrew K.	Literature review on CO ₂ -based demand-controlled ventilation	ASHRAE Transactions	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	1996	Carpenter, Stephen C.	Energy and IAQ impacts of CO ₂ -based demand-controlled ventilation	ASHRAE Transactions	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	-	-
39	1993	Haghighat, F., Donnini, G.	Conventional vs CO ₂ demand-controlled ventilation systems	Journal of Thermal Biology	-	-	-	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-
40	1991	Warren, B.F., Harper, N.C.	Demand controlled ventilation by room CO ₂ concentration: a comparison of simulated energy savings in an auditorium space	Energy and Buildings	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	X	-

1.3 Tezin Önemi

CO₂ tabanlı DCV hakkında çok sayıda çalışma yapılmış, bu çalışmalar uygulama alanına göre Tek Bölgeli ve Çok Bölgeli sistemler olarak incelenmiştir. Tek Bölgeli DCV sistemleri için yapılan simülasyon ve saha çalışmalarında tek bir bölgeli sistemlerde CO₂ konsantrasyonu OA damperini kontrol etme için kullanılabilir (ASHRAE 2010b) [9].

Çok bölgeli sistemler için CO₂ tabanlı DCV'nin araştırmaları birkaç araştırmacı tarafında gerçekleştirilmiştir (Wang ve Jin 1998; Xu ve ark. 2009; Sun ve diğeri 2011; Yang ve ark. 2011; Nassif 2012). Temel olarak, ASHRAE Standardı 62.1-2010 (2010c) ile uyumluluk yerine DCV'nin enerji tasarrufuna odaklanmışlardır. Yazarlar [6,9] da ise çok bölgeli HVAC sistemlerinde Standard 62.1-2010 (2010c) uyumlu CO₂ tabanlı talep kontrollü havalandırma uygulamak için kontrol stratejileri önermişlerdir.

Çok bölgeli sistemler için yapılan araştırmalarda modelleme ve simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Çok az sayıda araştırmacı saha çalışması yapmıştır (Çizelge 1.1).

Bu çalışmanın önemi; ASHRAE 62.1 standardına uyumlu bir kontrol stratejisinin enerji verimliliğini, gerçek zamanlı bir saha çalışması yaparak uygulanmasıdır.

2. CO₂ TABANLI TALEP KONTROLLÜ HAVALANDIRMA

2.1 Karbondioksit ve Talep Kontrollü Havalandırma

Talep kontrollü havalandırma (Demand Controlled Ventilation-DCV); sistemin hizmet verdiği alanların doluluk oranı, tasarımın doluluk oranından az olduğunda, dış hava girişinin (hava akış kontrolü) tasarım hızlarının altında otomatik olarak indirilmesini sağlayan bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem gereksiz havalandırmayı azaltmak ve enerji tasarrufu sağlamak için kullanılabilir. Karbondioksit, bir alandaki insan sayısını veya insanlar ile ilgili kirletici kaynakların gücünü tahmin etmek için tercih edilebilir. Bu kontrol yaklaşımı CO₂ tabanlı DCV olarak adlandırılır. Bu yaklaşım, ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) Standardı 62.1-2010'a göre gereken havalandırmayı sağlarken havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde enerji tüketimini azaltmak için bir fırsat sunmaktadır.

DCV, mümkün olan en az enerjiyi harcarken kabul edilebilir iç hava kalitesi (IAQ) sağlamak için ticari veya kamu binalarındaki havalandırma kontrolü için sıklıkla tercih edilir [41]. Yazarlar [19]'de bir ilkokulda CO₂ tabanlı DCV kullanarak CO₂ ölçümleri ve simülasyonları gerçekleştirmiş, gün boyunca dersliklerde kabul edilebilir bir CO₂ seviyesi tespit etmişlerdir. Yazarlar [13]'de CO₂ tabanlı talep kontrollü havalandırma için yaptıkları çalışmada, CO₂ üretim oranının biyolojik kaynaklı üretim oranı ile orantılı olduğu varsayımından, bir alandaki insan sayısı ilgili kirletici kaynakların gücünü tahmin etmek için CO₂ algılaması kullanılabileceğini söylemişlerdir. Karbondioksit, binalardaki bir kirletici madde değil, dolulukta kaynaklanan biyolojik etkinlikler için güvenilir bir veri olduğundan, DCV stratejilerinde, karbondioksit konsantrasyonu, genellikle, havalandırma kontrolü için doğrudan bir parametre olarak kullanılır [42].

2.2 DCV'nin Tarihsel Gelişimi

1970'lere gelene kadar enerjinin bol ve ucuz olması, binalarda enerji tasarrufunun, dolayısıyla da dış hava kontrolünün ikinci planda kalmasına neden oldu. Binalara gerek havalandırma, gerekse hava sızıntısı yoluyla giren dış hava üzerinde sıkı bir kontrol yoluna gidilmemiştir. 1970'li yıllarda ASHRAE ilk defa havalandırma standardı olan Standart 62'yi yayımladı. Daha sonraki yıllarda bu standart birkaç kez değişikliğe uğradı.

Bazı mühendislik tasarımları ve uygulamaları 1970'lerin başlarında gerçekleşmiş olsa da DCV, 1990'lara kadar ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) mühendisleri tarafından pek fazla ilgi görmedi. Bu dönemde CO₂, uçucu organik bileşik (VOC) ve nem konsantrasyonları da dahil olmak üzere doluluk önlemleri için bir dizi seçenek düşünüldü. 1997'de ASHRAE Standardı 62-1989 [41] tarafından yapılan bir yorum, belirli kontrolle ilgili koşullar altında, değişken doluluk gereksinimlerini karşılamak için dış hava giriş oranlarını modüle etmek için CO₂ tabanlı DCV'nin kullanılabilirliğini onayladı. CO₂ tabanlı DCV hem ASHRAE 62.1 Uluslararası Mekanik Kod (IMC) [43] hem de Kaliforniya Enerji Yasası [44] tarafından kabul edildi.

DCV ile ilgili 1970'lerde başlayan çalışmaların sonucunda 1990'lı yıllardan sonra HVAC sistemlerinde kullanılmaya başlandı. 1990'lı yıllardan sonra DCV alanında yapılan çalışmalar, ASHRAE Standardı 62 'nin yenilenmesine ve gelişmesine destek sağlandı.

2.3 İç Hava Kalitesi Standartları

1970'li yıllardan bu yana iç hava kalitesine olan ilgi artmıştır. Bunun ana nedeni, enerji tasarrufu nedeniyle taze hava miktarlarının aşırı ölçüde kısılması ve binaların sızdırmaz hale getirilmesidir. Bunun sonucunda, ortaya çıkan hastalıklar ve çalışanlardaki performans düşüşü iç hava kalitesini ön plana çıkarmıştır.

İç hava kalitesi ve konfor hem Amerika'da (ASHRAE) hem de Avrupa'da (EN Standartları/REHVA) yoğun olarak çalışılmaktadır. Dünyada geçerli ana standartlar:

- ASHRAE Standart 62

- EN 15251 olarak sayılabilir.

Binaların enerji tüketimi, iç ortam koşulları için kullanılan kriterlere (sıcaklık, havalandırma ve aydınlatma) önemli ölçüde bağlıdır. İç ortam aynı zamanda burada yaşayanların sağlığını, üretkenliğini ve konforunu da etkiler. Son yapılan çalışmalar göstermiştir ki, çoğu zaman sağlıklı bir ortamın maliyeti, binada kullanılan enerjinin maliyetinden çok daha düşüktür.

2.3.1 ASHRAE standart 62

İç ortamların sağlıklı olmasına yardımcı olmak üzere ilk geliştirilen standart, ASHRAE Standart 62-1989 “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality” olmuştur. Bu standardın günümüze kadar birçok güncellemesiyle, önemli değişiklikler yapılmıştır. 2007 ve 2010 da yapılan revizyonlar daha anlaşılabilir katkılar sağlamıştır. Önemli konulara açıklık getirilmiş standardın detaylarının geliştirilmesine odaklanılmıştır. Örneğin 2013’de sonuçlandırılan, 2010’daki değişiklikler aşağıdakileri içermektedir:

Standart 62 kabul edilebilir iç hava kalitesinin sağlanabilmesi için iki yöntem tanımlamaktadır.

- Havalandırma miktarı yöntemi
- İç hava kalitesi yöntemi

Havalandırma miktarı yöntemi basittir ve genellikle konvansiyonel dizayn için tercih edilir. Bu yöntem çok sayıda bina tipi ve uygulama için şartlandırılacak hacime, beslenmesi gerekli minimum dış hava miktarını tanımlar. Yeni baskılarda, bu hava miktarlarının yeniden değerlendirilmesi subjektif değerlendirmelere ve profesyonel yargılara dayandırılmıştır.

2.3.2 Avrupa Standardı EN 15251

Binaların enerji performansının hesabı ve dizaynı için iç hava kalitesi, ısıl çevre, aydınlatma ve akustik konularına işaret eden iç ortam girdi parametrelerini belirler. Ancak aşağıdaki konuları ilgilendiren yeni kavramlara ve bazı açıklamalara gereksinim vardır:

- Adapte olmuş veya adapte olmamış oturanların havalandırma ihtiyacı
- İç hava kalitesi göstergesi olarak artırılmış CO₂ seviyesi
- Dış havanın yerine havanın temizlenmesi
- Havalandırma etkenliği
- Kişileştirilmiş havalandırma

EN15251 standardı bu kavramları göz önüne alacak biçimde geliştirilmektedir. Standardın iç hava kalitesine yaklaşımı tavsiye edilen bir havalandırma düzeyinin belirlenmesi şeklindedir. Bu havalandırma seviyesi, bu hacimde oturanların sayısına ve hacmin döşeme alanının büyüklüğüne bağlıdır [45].

Çeşitli mahaller, örneğin okullar için, iklimlendirme sistemlerinin ya da tek başına havalandırma sistemlerinin tasarımında, iç ortamın fonksiyonuna bağlı olarak, o ortamda yaşayacak insanların gereksinim duyduğu taze hava debisinin hesaplanmasında, ASHRAE 62.1-2013 gibi uluslararası kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılan standartlar olduğu gibi, hemen her ülkenin de kendine özgü standartları vardır. Bu standartların önerdiği havalandırma değerlerinin Ianniella [46] tarafından yapılan bir karşılaştırmasından alınan değerler Çizelge 2.1'de yer almaktadır.

Çizelge 2. 1 : Çeşitli ülkelerde sınıflar için havalandırma debileri [46].

Ülke	İç Ortam Türü	Hava Debisi [m ³ /(h.öğrenci)]	Ek Hava Debisi ([m ³ /(h.m alan)]		
ABD /ASHRAE 62/1	Seminer Salonu	17 ^a	1,1		
PORTEKİZ / RSECE Dec-Lei	Genel	30			
İNGİLTERE / Building Bulletin 101	Genel	10,8-28,8	Günlük ortalama CO ₂ konsantrasyonu 1500 ppm'de küçük		
FİLLANDİYA / Finnish Building Code	Genel	21,6			
	Bina Sınıfı		AK ^c	OK ^c	ÇK ^c
EU /EN15251	I	3,6	1,8	3,6	7,2
	II	25,2	1,3	3,6	5
	II	14,4	1,1	1,4	2,9

^a ASHRAE 62.1-2007'de Lecture Classroom olarak ifade edilen seminer salonu olarak adlandırılabilir sınıflar öğrenci başına verilen hava debisi (3,8 l/s (13,7m³/h)) olarak verilmiştir.

^c AK: Az kirleten bina - OK: Orta kirleten bina- ÇK: Çok kirleten bina

Çizelge 2. 2 : Sınıflarda taze hava debisi minimum değerleri (ASHRAE62.1).

	Öğrenci başına hava debisi l/s.öğrenci (m ³ /h.öğrenci)	Alan başına ek hava debisi l/s.m ² (m ³ /hm ²)	Öğrenci başına öngörülen alan m ² /öğrenci
Anaokulu	5 (18)	0,9 (3,24)	4
Sınıf (yaş 5-8)	5 (18)	0,6 (2,16)	4
Sınıf (yaş 9 ve üstü)	5 (18)	0,6 (2,16)	2,86
Derslik (Lecture classroom)	3,8 (13,68)	0,3 (1,08)	1,54

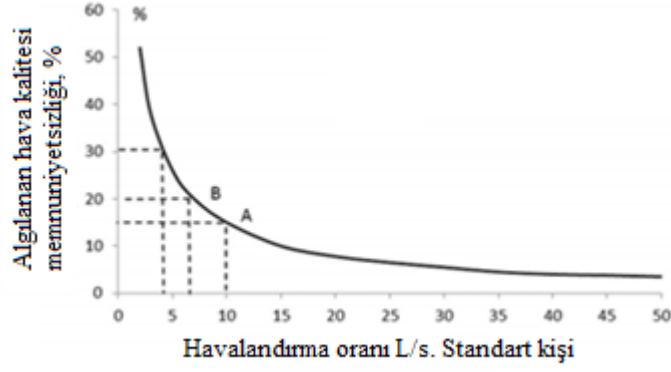
Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2 karşılaştırıldığında ASHRAE 62.1-2013 standardının taze hava gereksiniminin hesaplanmasında, diğer standartlardan farklı olarak iç ortamda bulunan insan sayısının yanında alan büyüklüğünü de göz önüne aldığı görülür. Bu standartta dikkati çeken bir başka özellik ise iç ortamda bulunması muhtemel maksimum insan sayısı bilinmediği takdirde göz önüne alınması gereken alan yoğunluğu (öğrenci sayısı/100 m²) değerlerini vermesidir. Çizelge 2.2’de yer alan öğrenci başına alan değerleri verilen alan yoğunluklarından hesaplanmıştır [47].

2.4 Kabul Edilen Varsayımlar

Lin, X. ve arkadaşları [13] CO₂ tabanlı DCV esaslarının varsayımlarının geçerliliği üzerine yaptıkları çalışmada, CO₂ tabanlı DCV'nin uygulanması için doğrulanması gereken çeşitli varsayımlara dayandırmışlardır. Çalışmaları bu varsayımları gözden geçirmek için yapılan bir literatür araştırmasının sonuçlarını açıklamaktadır. Çalışma; CO₂ tabanlı DCV'nin uygulanmasının temeli olan üç varsayımı açıklamaktadır (ASHRAE 2010a).

2.4.1 Varsayım 1: Kişi Başı Havalandırma Oranına Göre

1981’den 1989’a kadar geçen sürede Standart 62 üzerindeki tartışmalar devam etmiştir. 1989’a gelindiğinde nihayet, belli bir metin üzerinde anlaşmaya varılmıştır. Buna göre, kabul edilebilir taze havanın, mekânda bulunan insanların % 80’inin memnuniyetsizlik belirtmeyeceği miktarda olması kabul edilmiştir. Yani memnuniyetsizlik oranı, mekândaki insanların % 20 sine kadar çıkabilmiştir [48].

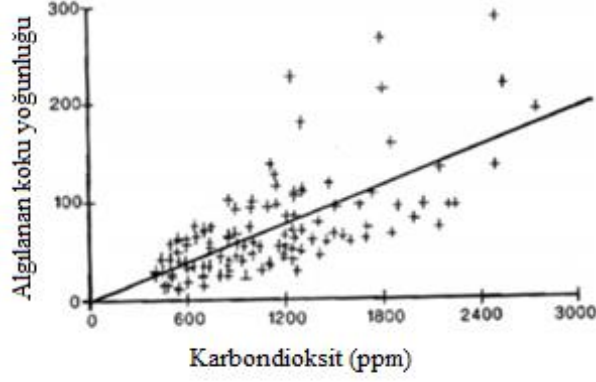


Şekil 2.1 : Farklı havalandırma hızlarında standart bir kişinin neden olduğu memnuniyetsizlik [49].

Şekil 2.1, standart bir kişi tarafından sabit bir koku oluşum hızında farklı havalandırma hızlarındaki memnuniyetsizliği göstermektedir. DCV kontrol mantığı, memnuniyetsizliği % 20'nin altında tutmak için havalandırma oranını kontrol etmekte kullanılmaz; mahaldeki kişi sayısı tasarım doluluk sayısından daha az olduğunda, gerçek insan sayısına dayalı olarak, insanla ilgili havalandırma oranını korumak için kullanılır [13].

2.4.2 Varsayım 2: CO₂ Üretim Oranına Göre

CO₂ tabanlı DCV'nin bağlı olduğu bir diğer varsayım, CO₂ üretim oranının biyolojik kaynaklı üretim oranı ile orantılı olmasıdır. Dolayısıyla, bu bölümde CO₂ üretim oranı ile biyolojik kaynaklı üretim oranı arasındaki ilişki ele alınmaktadır. Yazarlar [50]'de CO₂ konsantrasyonu ile vücut kokuları arasındaki bağlantıyı araştırarak CO₂ konsantrasyonunun iç hava kalitesi için uygun bir gösterge olup olmadığını tespit etmişlerdir. Sonuçlar, koku yoğunluğu ile CO₂ konsantrasyonu arasındaki korelasyonları göstermektedir. Bu, nispeten kolay CO₂ ölçümünün bir alandaki koku yoğunluğuyla ilişkili olabileceğini gösterir.



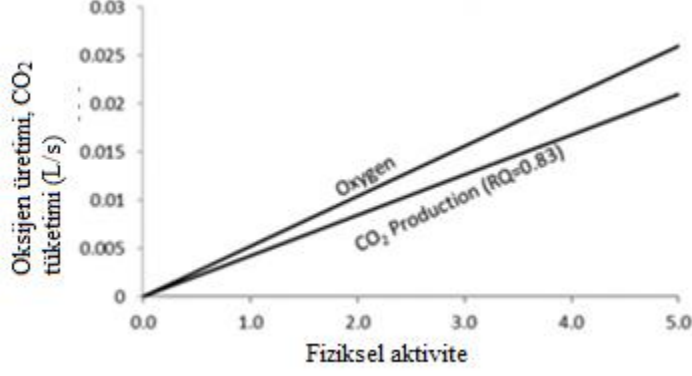
Şekil 2.2 :Bina kokusu yoğunluğu ile metabolik CO₂ seviyeleri arasındaki ilişki [49].

Şekil 2.2, algılanan koku yoğunluğu ile metabolik CO₂ konsantrasyonu arasındaki korelasyonu göstermektedir. CO₂ düzeyi arttıkça algılanan koku yoğunluğu daha yüksektir. Bu nedenle, CO₂ konsantrasyonu, bir odadaki insan kokularının göstergesi olarak kullanılmaya devam edilebilir.

Persily [37], insanın CO₂ üretim oranının kişinin büyüklüğüne ve etkinlik düzeyine bağlı olduğunu belirtmektedir. Yazarlar [37,51]'de ayrıca CO₂ ve biyolojik kaynaklı oluşumların hem insan faaliyet seviyesine dayandığından hem de CO₂ oranları ve insan kokusu üretiminin orantılı olduğunu belirtmektedirler. Son olarak, doluluk değişimine kıyasla CO₂ konsantrasyonu ile ilgili bir zaman gecikmesi olduğunu hatırlamak gerekir, ancak aynı eğilim de biyolojik kaynaklı konsantrasyon için geçerlidir.

2.4.3 Varsayım 3: Biyoatık Üretim Oranına Göre

CO₂ esaslı DCV'nin kullanılmasının arkasında yatan diğer bir varsayım şu şekildedir: Biyoatık üretme oranı, kişi sayısı ve faaliyet seviyesiyle orantılıdır. Yaş, cinsiyet, beslenme, büyüklük vb. bakılmaksızın öngörülebilir ve sabittir [52]. İnsan vücudundaki biyoatık kaynaklarını anlamak, CO₂ üretimi ve biyoatık arasındaki ilişkiye anlamaya yardımcı olur.



Şekil 2.3 : Fiziksel aktivitenin bir fonksiyonu olarak CO₂ üretimi ve oksijen tüketimi [51].

Biyolojik etkinlik oluşturma oranını doluluk sayısı ve aktivite düzeyinden farklı değişkenlere bağlıdır. Erkekler ve kadınların biyolojik etkilerini karşılaştıran bir başka çalışmada, erkekler kadınlara kıyasla karbon dioksit ve kükürt içeren moleküllerden çok daha fazla miktarda CO₂ üretir. Bununla birlikte, kadınlar erkeklere kıyasla daha yüksek nabız ve transkutanöz pulse oksijenasyona sahiptir [53]. Yazarlar [17]'de, cinsiyete ve beslenme biyolojik etkinliklerde değişikliğe neden olabileceğini belirtmektedir.

- **Varsayım 1:** ANSI / ASHRAE Standardı 62.1 tarafından istenen kişi başı havalandırma oranları, iç ortam şartlarına maruz kalanlardan önemli bir çoğunluğun (% 80 veya daha fazla) memnuniyetsizliği ifade etmediği bir biyoatık konsantrasyonuna dayanır; Biyoatık, aseton, asetaldehit, asetik asit, alkil alkol, amilalkol, bütirik asit, dietil keton, etilasetat, etil alkol, metil alkol, fenol, toluen gibi kimyasallar da dahil olmak üzere insan vücudu tarafından üretilen kontaminantlar olarak tanımlanır.
- **Varsayım 2:** CO₂ üretim oranı, biyolojik kaynaklı üretim oranı ile orantılıdır.
- **Varsayım 3:** Biyolojik etki yaratan oran, kişilere ve faaliyet seviyesiyle orantılıdır ve yaş, cinsiyet, beslenme, büyüklük vb. bakılmaksızın öngörülebilir ve sabittir.

CO₂ üretim oranının biyolojik kaynaklı üretim oranı ile orantılı olduğu varsayımı geçerli olduğundan, bir alandaki insan sayısı ile ilgili kirlenici kaynakların gücünü tahmin etmek için CO₂ algılaması kullanılabilir.

2.5 Sensör Performansı, Kalibrasyonu ve Konumu

CO₂ tabanlı bir DCV sisteminin performansı, sensörler tarafından ölçülen ve bildirilen CO₂ konsantrasyonuna bağlıdır. Ölçüm performansı, ölçümün doğruluk ve güvenilirliği (kalibrasyonu) ile sensörlerin konumundan sorumludur.

2.5.1 Sensör Performansı

Birçok DCV çalışması sensör performansı konusunda değinmiş olsa da, sadece birkaçı bu konuları ayrıntılı olarak incelemiştir. Genel olarak, kalibrasyon, nem ve sıcaklığa duyarlılık incelenmiş olsa da, sensör performansı bir DCV sisteminin kontrolü için en önemli özelliktir ve DCV sistemlerini kontrol etmek için yeterlidir [54, 55, 56, 57].

2.5.2 Sensör Kalibrasyon

CO₂ sensörleri zamanla kalibrasyona ihtiyaç duyar. “CO₂ tabanlı DCV ile bir kampüs binası üzerinde yapılan saha çalışmasında, binalarda kullanılan ticari CO₂ sensörleri arasındaki farkların belirgin olduğunu ortaya koymuştur. CO₂ konsantrasyonunun okumalarını zaman içinde doğru tutmak için periyodik önlemlerin alınması esastır. Birincil hava ve bölge hava CO₂ konsantrasyonları arasındaki fark çok küçük olabileceğinden, sensör doğruluğu kritiktir. Birden çok hava örnekleme portuna sahip tek bir sensör kullanan bir sistem, örnekleme sürelerinin oldukça kısa olması koşuluyla en doğru CO₂ okumalarına neden olabilir. Ayrı zon havası ve birincil hava sensörlerine sahip bir sistemde CO₂ okumalarının doğruluğu azalır [2].” Sensör kalibrasyon endişeleri, zamanla sensör hatalarını düzeltmek için bir referans değeri sağlamak için CO₂ tarafından absorbe edilmeyen bir dalga boyuna ayarlanmış ikinci bir detektör kullanılarak veya gece kapalı konsantrasyonlarda CO₂ seviyesini kontrol ederek kendi kendini kalibre etme yoluyla ele alınmakta ve dış ortam seviyesine düşmesi beklenmektedir [34].

2.5.3 Sensör Konumu

Bir odadaki DCV sensörlerinin yerinin doğru belirlenmesini amaçlayan deneysel bir çalışmada Stymne ve ark. [58], dört odalı bir test evindeki benzetilmiş insanlardan gelen CO₂ dağılımını araştırmıştır. Tasarım faktörleri şunlardır: CO₂'nin kaynaklardan farklı yerlere aktarılması (transfer olasılığı olarak anılır), bir lokasyonda beklenen denge konsantrasyonu, dengesizlik durumundan yaklaşan denge hız sabiti ve

konsantrasyon dalgalanmalarıdır. “Test odasına giren toplam havanın debisi, her bir odaya ait fraksiyon sabit kaldığı iki seviye arasında değiştirildi. İnsanlar, 100 W'lık bir lamba ve önceden ısıtılmış hava ile karıştırılmış 0.0069 L / s (0.015 cfm) CO₂ yayan metalik cisimler tarafından simüle edildi. Ölçümler 19 lokasyonda gerçekleştirildi. İzleyici gazı ölçümleri de gerçekleştirildi. Ölçümler, kapalı kapılar bulunan odalarda iyi karıştırmanın yapıldığını göstermiş ve bu nedenle sensör konumu zorunlu değildir. Bununla birlikte, eğer bir oda diğer odalara açık kapılarla bağlanırsa, CO₂ konsantrasyonunda büyük farklılıklar ve dengesizlikler ortaya çıkabilir. İzleyici gazının dağılım örüntüsü benzer şekilde düzensizdi, bu da dağıtım biçiminin nedeninin açık kapı geçişleri boyunca hava hareketi ve ısıtılmalı gövdeler, radyatörler, soğuk dış duvarlar, giriş kanalı jetindeki hava hareketi ile etkileşimi olduğunu göstermiştir. DCV sensörünü orta yükseklikte bir odada ve kapıların, radyatörlerin, pencerelerin, kişilerin ve hava giriş cihazlarının dışında bırakılmalıdır.”

Bir çalışmada, Stymne ve ark. [59] havalandırma sistemi bulunan bir ofis odasındaki CO₂ dağılım modelini araştırmışlardır. Vücut hareketleri, solunum, ısı kaynakları, aydınlatma ve güneş ısı kazanımı gibi normal bozuklukların olmaması çalışmanın bir sınırlandırması olarak belirtilmektedir. Kişilerden yayılan kirleticilerin odadaki üst karma bölgeye taşınması ve küçük bir ısı kaynağından veya duvara yakın yerden çıkan kirleticilerin üst ve alt bölgeler arasındaki ara yüzün altında biriktiği gösterilmiştir. Sonuç olarak, yerden ısıtılmalı bir havalandırılmalı odadaki DCV, üst bölgedeki kirlenmemiş hava ile alt bölgedeki kirlenmiş hava arasındaki ara yüzün seviyesini kontrol etmek için uygun bir araç olduğu ve sensörlerin, insanların baş yüksekliğinde olması gerektiği sonucuna varılmışlardır.

Bireysel odalarda, DCV sensörlerini yerleştirmek için, havalandırma sistemi dönüş borusuna tercih edilebilir. Reardon ve Shaw [60], 22 katlı ofis binasında merkezi dönüş havası shaftlarındaki CO₂ konsantrasyonlarını, tek tek zemin katına çıkma yerlerini ve dağıtıcı alanı karşılaştırmışlardır. Ölçümler, münferit kat geri dönüş ızgaralarının, dağıtıcı alanda uzaysal ortalama konsantrasyonları temsil ettiğini ve merkezi dönüş shaftlarının üstündeki ölçümlerin, katlarda ölçülen konsantrasyonları temsil ettiğini göstermiştir. Bu nedenle, dönüş millerinin üstünün bir DCV sisteminin sensörleri için uygun bir yer olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, “yüksek yerel pozlamalardan kaçınmak için, dağıtıcı bölgelerdeki değişkenliği hesaba katmak için

ayar noktası seçilmelidir. CO₂ sensörlerinin okunan değerler nefes alanlarındaki gerçek CO₂ konsantrasyonlarını yansıtmalıdır.” Yapılan başka bir araştırmada yazarlar [2] bunu aksini iddia etmiştir. “Besleme havasının kısa devresinin temsili olmayan CO₂ okumalarına neden olabileceğinden, sensörler dönüş hava kanalında bulunmamalıdır. Ayrıca kapıların ve çalıştırılabilir pencerelerin yakınındaki yerlerden kaçınılmalıdır [2].”

Araştırmacılar sensör konumu ile ilgili farklı görüşler bildirmişlerdir, ancak ağırlıklı görüş nefes alanlarındaki gerçek CO₂ konsantrasyonlarını yansıtılması yönündedir. Besleme havası ile dönüş havası arasında devir daim olabilir. Bu yüzden CO₂ okumalarında hatalı değerlere neden olabileceğinden, sensörler dönüş hava kanalında bulunmamalıdır. Ayrıca kapıların ve açılabilir pencerelere yakın yerlerden kaçınılmalıdır.

CO₂ tabanlı bir DCV sisteminin performansı, sistem sensörleri tarafından ölçülen ve bildirilen CO₂ konsantrasyonuna bağlı olacaktır. Genel olarak, kalibrasyon, nem ve sıcaklığa duyarlılık incelenmiş olsa da, sensör performansı bir DCV sisteminin güvenilirliği için önemli olacaktır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1 Bina ve Havalandırma Sisteminin Açıklanması

Bu araştırma Kırklareli Üniversitesi Kayalı Yerleşkesi 2014 yılında yapımı tamamlanan 24.711m² toplam kapalı alana sahip 2. Merkezi derslik binasında yapılmıştır. Bina 2 derslik bloğu, 1 ofis bloğu ve 1 dekanlıklar bloğundan oluşmaktadır. Bu binada, 60 derslik, 2 bilgisayar laboratuvarı, 2 küçük konferans salonu, 4 büyük konferans salonu ve 1 kantin bulunmaktadır (EK A).

Binanın havalandırma ve iklimlendirme sistemi klima santralleri ile sağlamaktadır. Her bir konferans salonunun havalandırma ve iklimlendirilmesi ayrı klima santralleri ile yapılmaktadır. Konferans salonlarında ısıtma soğutma yapmak mümkündür. Dersliklerin havalandırma ve iklimlendirme sistemi 15 sınıfa bir klima santrali ile sağlanmakta (EK C), merkezi sistemle ısıtılmakta ve soğutma sistemi bulunmamaktadır. Her sınıf emiş ve taze havada Değişken Hava Hacim (VAV) kutusu bulunmaktadır (EK B).

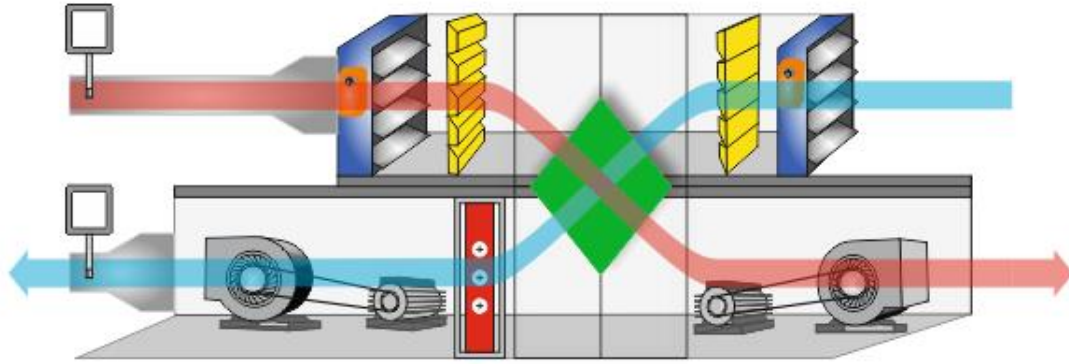
3.2 Klima Santrali

Klima Santralleri atmosferden veya iç mekandan alınan havanın çeşitli şartlandırmalar yapılarak, mekanlara iklimlendirme ve havalandırma sağlayan cihazlardır. Klima santrali; damper motoru, filtre, ısıtma serpantini, soğutma serpantini, vantilatör, aspiratör gibi parçalardan oluşur.

3.2.1 Plakalı tip ısı geri kazanım üniteli klima santralleri

Prensip olarak plakalı tip havadan havaya ısı geri kazanım sistemlerinde, direkt olarak egzoz havasından taze havaya ısı transferi yapılarak ısıtma ve soğutma şartlarında iç ortam yük değerinden tasarruf sağlanmış olur. Plakalı olarak adlandırılan ısı geri kazanım sistemleri için egzoz havası ve taze hava için farklı akış güzergahları oluşturacak şekilde tasarlanmış alüminyum plakalar kullanılmaktadır. Taze hava ve egzoz havası kesinlikle bir biri ile karışmayacak şekilde ısı geri kazanım ünitesi

üzerinde karşılaşır ve alüminyum plakalar üzerinden ısı transferi gerçekleştirir. Karışım havası gerektirmeyen klima santrali dizaynlarında yüksek verimlilikleri ve optimum fiyatları ile kullanımı yaygınlaşmış olan enerji tasarrufu sistemleridir. Cihaz tasarımları iç ve dış hava şartlarının durumuna, klima santralinin projede ki uygulama detayına bağlı olarak farklı alternatiflerde olabilmektedir [61].



Şekil 3.1 : Plakalı tip ısı geri kazanım üniteli klima santrali.

3.2.2 Fan ve motor grubu

Fan ve motor kayış kasnak sistemi ile çalışmaktadır. Motorlar TEFC tipinde olacak ve Class F sargı sınıfına sahip olup toz ve neme karşı IP55 koruma sınıfına sahiptir. Fan motoru sanayi voltajına uygun 380-415V, 3 faz ve 50 Hertz'dir. Bu projede farklı dersliklerde/sınıflarda, farklı zamanlardaki taze hava ihtiyaçları olduğundan, fanlar frekans kontrolüne uygun olacak şekilde seçilmiştir.

3.3 Değişken Hava Debisi Ayar Cihazı

Değişken Hava Hacimli (Debili) (VAV- Variable Air Volume) hava çıkış üniteleri (kutuları), basınçtan bağımsız olarak hava hacmini hassas olarak ölçer ve kontrol eder. Isı yüküne bağlı olarak hava hacmini kontrol eder. Bu tip hava çıkış ünitelerine “VAV terminali”, “VAV Kutusu” ya da “VAV Ünitesi” denir. VAV üniteleri odadaki asma tavana yerleştirilir ve bir kanalla ana besleme hava kanalına bağlanır.

VAV kutuları klima ve havalandırma sistemleri sektöründe klima teknolojilerinin en hassas ve ekonomik çözümlerindedir. Bu sistemlerde üflenen ve emiş edilen hava miktarının oransal olarak kontrol etmeye olanak sağlar.

VAV sistemlerde kontrol edilecek hususlar 3 ana başlık altında toplanabilir.

- VAV klima santralinde üflenecek havanın iklimlendirilmesinin kontrolü,
- Kanallarda hava hızının ve basıncının kontrolü,
- Oda sıcaklıklarının (üflenen hava debilerinin) kontrolü.

3.4 Ölçüm Cihazları

3.4.1 Hava kalite sensörü

Hava kalite sensörü, CO₂, sıcaklık ve nem seviyelerine aynı ekranda dijital olarak göstermektedir. VAV cihazının konumunu (açık veya kapalı) , modbus ile iletişimin durumunu aynı ekran üzerinde göstermektedir. 350 ppm ve 5000 ppm CO₂ arasındaki seviyelerini, 0-95 % nem aralığını ve 0-50 °C sıcaklık aralıklarını ölçmektedir. Hava kalite sensörü doğruluğu Testo 440 ve AZ77535 cihazları ile kontrol edilmiştir.



(a)

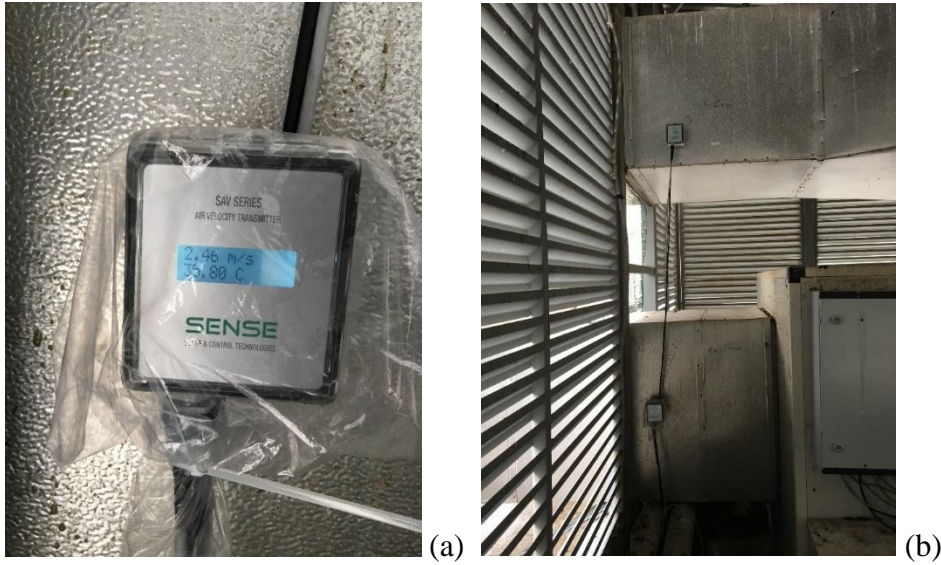


(b)

Şekil 3.2 : Hava kalite sensörü : (a) Sensör konumu ve kontrolü. (b) Deneylerde kullanılan hava kalite sensörü.

3.4.2 Kanal tipi hava hızı ve sıcaklık sensörü

Klima santrali emiş ve üfleme kanalları üzerine hava hızını ve sıcaklığını ölçmek ve kontrol etmek için kanal tipine uygun bir sensör kullanılmıştır. Sensör ,hava hızı hassasiyeti $\pm 2\%$, sıcaklık hassasiyeti 0.3°C , çalışma gerilimi AC 24V veya DC 14.6...34v, hava hızı çıkış sinyali dc 0...10v veya 4-20mA, sıcaklık çıkış sinyali dc 0...10v veya pt1000, LCD ekran, 2 universal giriş, modbus – rs485 port, röle çıkışı özelliklerine sahiptir.



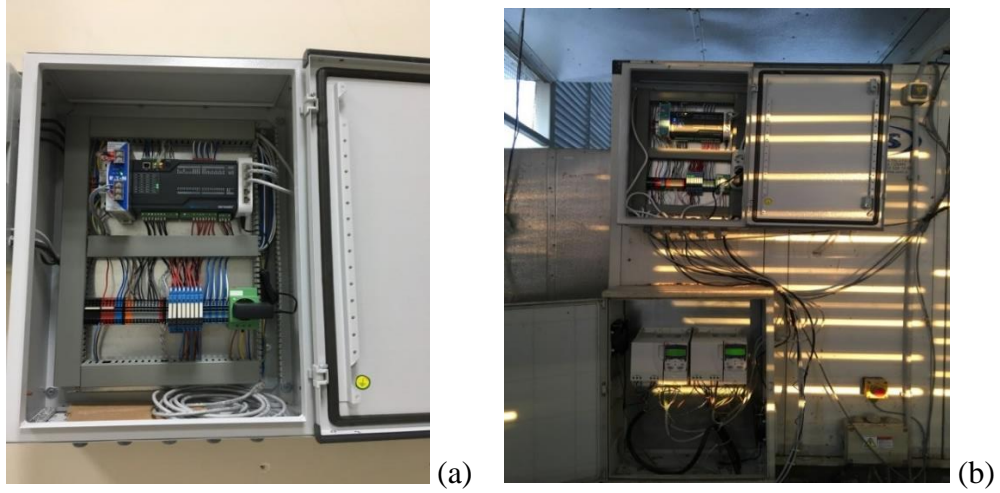
Şekil 3.3 : Kanal tipi hava hız ve sıcaklık sensörü : (a) Deneylerde kullanılan kanal tipi hava hız ve sıcaklık sensörü. (b) Sensör konumları.

3.5 Deney Düzenegi

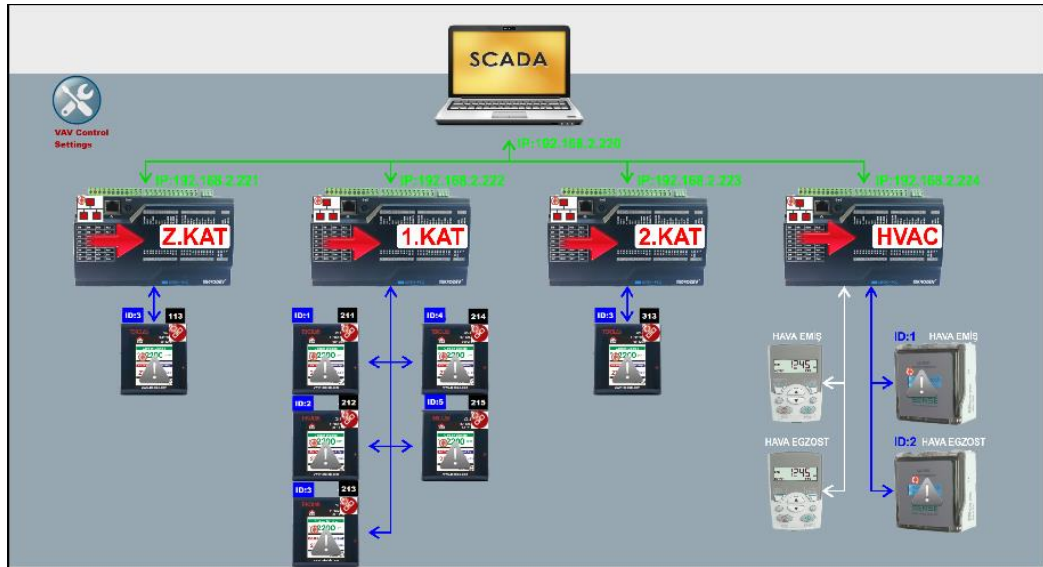
Bu çalışmada, 15 dersliğe havalandırma ve iklimlendirme sağlayan Klima Santrali (KS-4) üzerinde CO₂ tabanlı DCV uygulanmıştır. Yatırım maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı 7 dersliğe hava kalite sensörü takılmıştır. Hava kalite sensörü olmayan sınıflarda VAV kutuları minimum açık konuma getirilmiştir. Ölçüm yapılan derslik bloğunda 3 kat ve her katta 5 derslik bulunmaktadır. Birinci ve üçüncü katlara birer adet hava kalite sensörü, ikinci katta bulunan beş sınıfta hava kalite sensörü konulmuştur.

Şekil 3.4.(a)'de görüldüğü gibi binanın Zemin Kat, 1. Kat ve 2. Kata DDC panosu kuruldu. Bu panolar buldukları kattaki hava kalite sensöründen aldıkları bilgileri işleyerek VAV kutusunun açılıp kapatılmasına komut vermektedir. VAV kutusunun

konum bilgilerini Klima santrali için kurulan HVAC- DDC panosuna gönderirler. HVAC-DDC panosu şekil 3.4.(b)de görüldüğü gibi katlarda buluna DDC panolarından aldığı bilgileri işleyerek inverter sürücülerini kontrolünü sağlayarak OA hızını ayarlar. Sistemin genel şeması şekil 3.5’de gösterilmiştir.



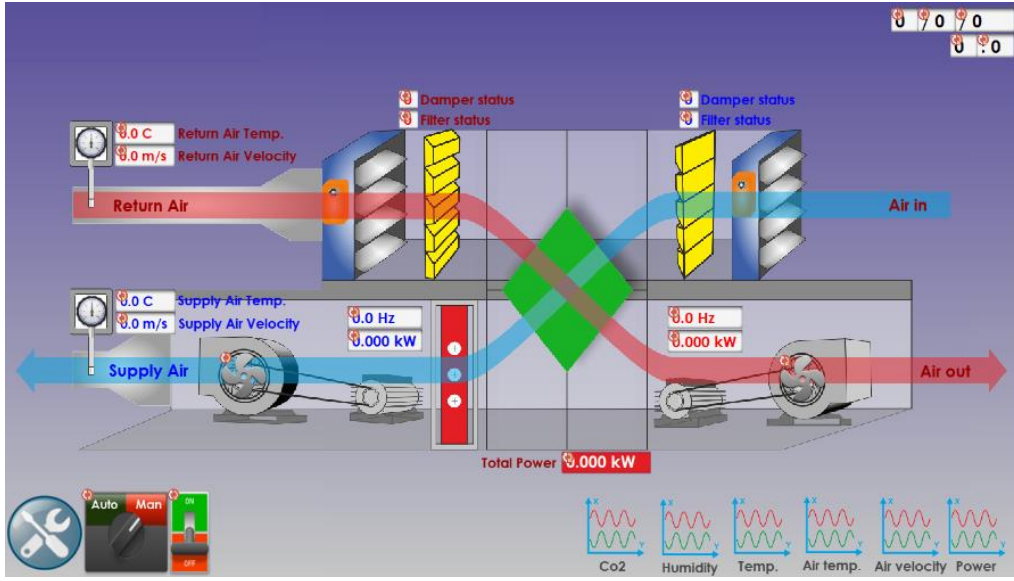
Şekil 3.4 : DDC panosu : (a) Kat DDC panosu. (b) HVAC-DDC panosu.



Şekil 3.5 : Sistemin genel şeması.

Şekil 3.6’de HVAC-DDC panosu üzerinden Klima santralinin emiş havası akış hızı, emiş havası sıcaklığı, üfleme havası akış hızı, üfleme havası sıcaklığı, inverter sürücülerinin çalışma hertz bilgisi, tüketilen enerjinin KW değeri, klima santralinin damper konumu ve filtre kirlilik durumu bilgileri ölçülerek bina sistemine bağlı

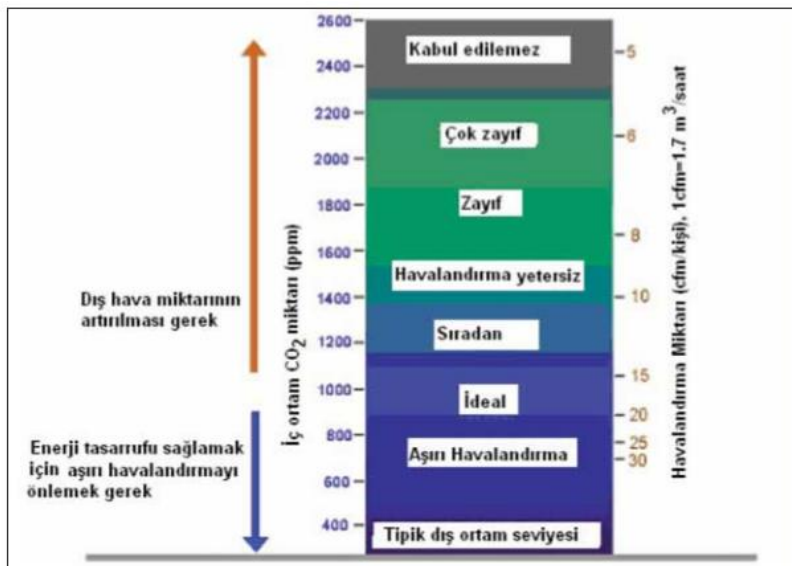
bilgisayarla kayıt altına alınmaktadır. Kontrol sistemimize otomatik ve manuel seçenekleri eklenmiştir.



Şekil 3.6 : HVAC-DDC ölçümleri.

3.6 Metodoloji

1000 ppm'in üstündeki CO₂ seviyesi, havalandırmanın yetersiz olduğunu gösterir. 600 ppm'in altındaki CO₂ seviyesi, havalandırmanın kısılabileceğini ve enerji tasarrufu yapılabileceğini gösterir. Karbondioksit seviyesi ile havalandırma arasındaki ilişki ise şekil 3.7'de gösterilmiştir [30].



Şekil 3.7 : Karbondioksit Seviyesi ile Havalandırma Arasındaki İlişki [62].

Yeterli bir iç hava kalitesi elde etmek için sınıflar 1000 ppm değerinin altında olacak şekilde strateji uygulanmıştır.

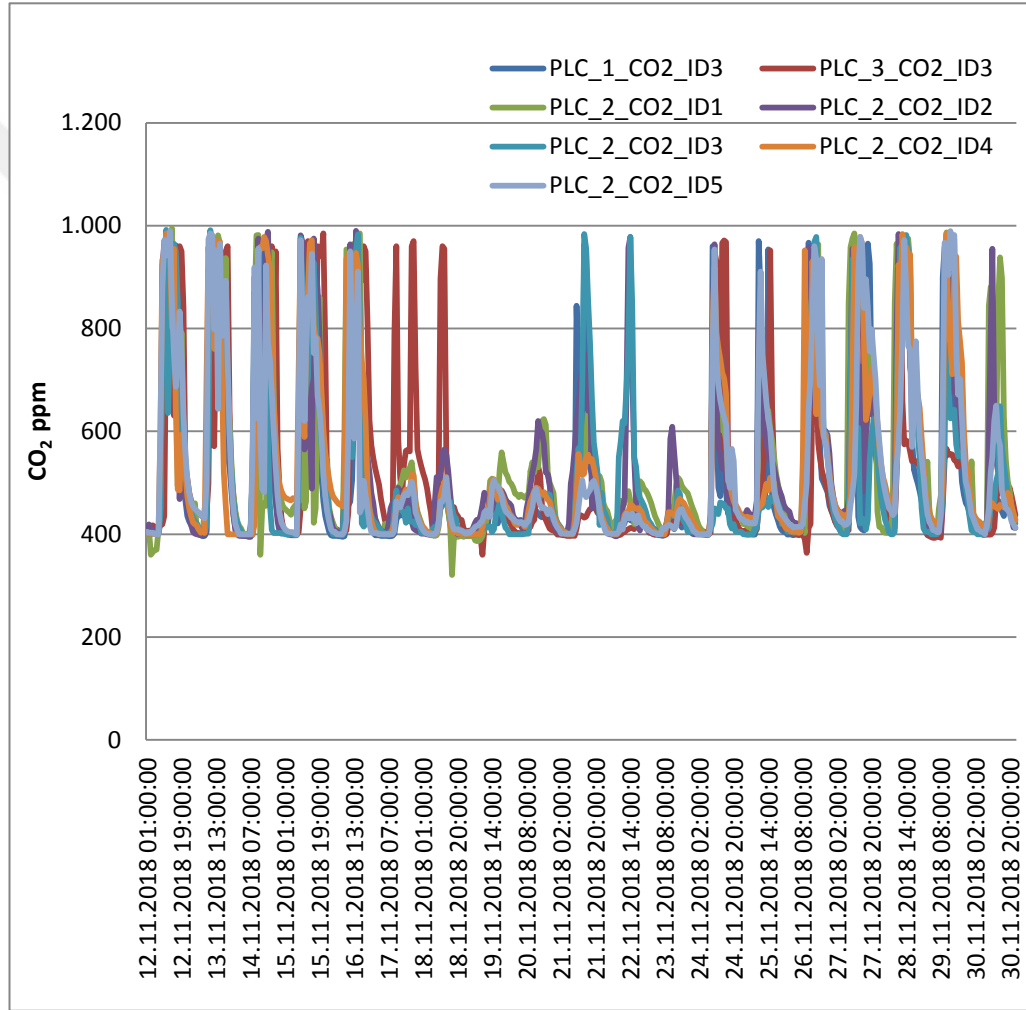
Her bir bölge için gerekli minimum solunum bölgesi OA hızı, minimum sistem OA emiş akışı, tasarım parametrelerine göre hesaplanır. Kişi sayısı tasarım doluluk sayısının altına düştüğünde aşırı havalandırma olacaktır. Bu nedenle, sistem OA oranının mevcut doluluk sayısına dayalı gerçek zamanlı kontrol ve bölge primer hava akışı hızı, kabul edilebilir IAQ'yu korurken enerji tüketiminden tasarruf edebilir. Uygulanan DCV stratejisi, CO₂ tabanlı DCV, gerekli sistem OA hız ayar noktasını dinamik olarak hesaplayan ve sıfırlayan, ardından OA hızını yeniden ayar noktasına getirmek için damperleri modüle eden bir yöntemdir.

CO₂ tabanlı DCV stratejisi, CO₂ sensörleri tarafından ölçülen CO₂ seviyesine göre her bölgede bulunan VAV kutusu damperli açık veya kapalı duruma getirilir. VAV kutusu açık durumdayken tasarım doluluk oranında hava geçişine olanak sağlar. Kontrol stratejisi bölgelerden gelen hava ihtiyacına göre OA oranını yükseltir veya düşürür.



4. DENEYSEL ÇALIŞMA

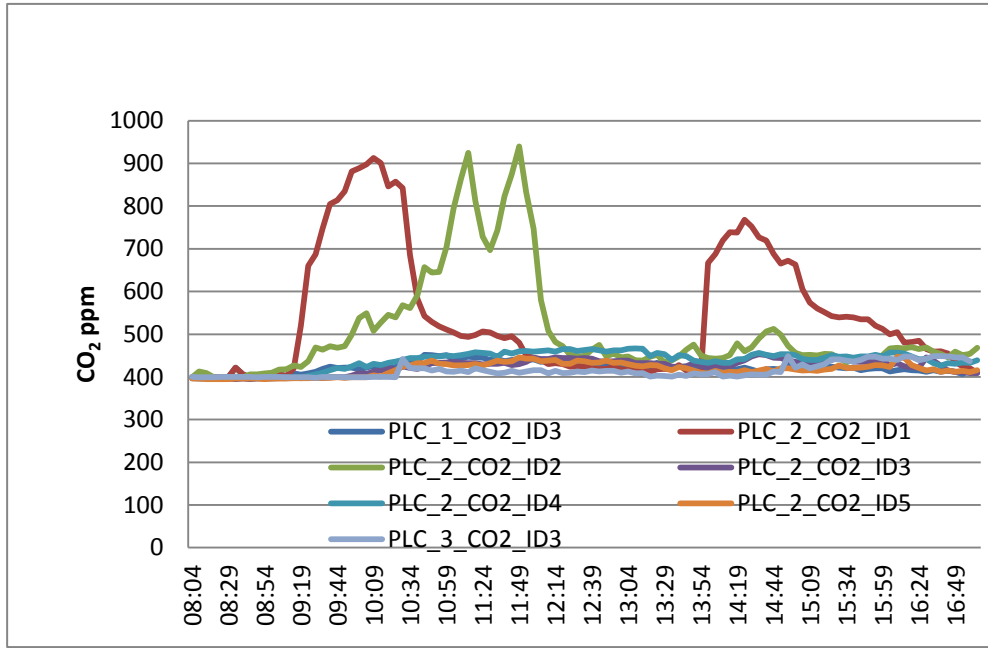
Şekil 4.1’de 12 Kasım 2018 ve 30 Kasım 2018 tarihleri arasında yapılan çalışmalarda hava kalite sensörü takılı olan 7 dersliğin saatlik olarak grafiği verilmiştir. Sistem tasarımında CO₂, 900 ppm seviyesine geldiğinde VAV kutusu tam açık konuma, 700 ppm seviyesine geldiğinde işe minimum açık konuma gelmesi gerekmektedir.



Şekil 4.1 : 12.11.2018 ve 30.11.2018 tarihleri arası CO₂ grafiği.

Kırklareli Ünivesitesi Ara Sınavları 12-16 Kasım 2018 tarihleri arasında yapılmıştır. Bu tarihler arasında yapılan incelemelerde dersliklerin tasarım doluluk oranlarına

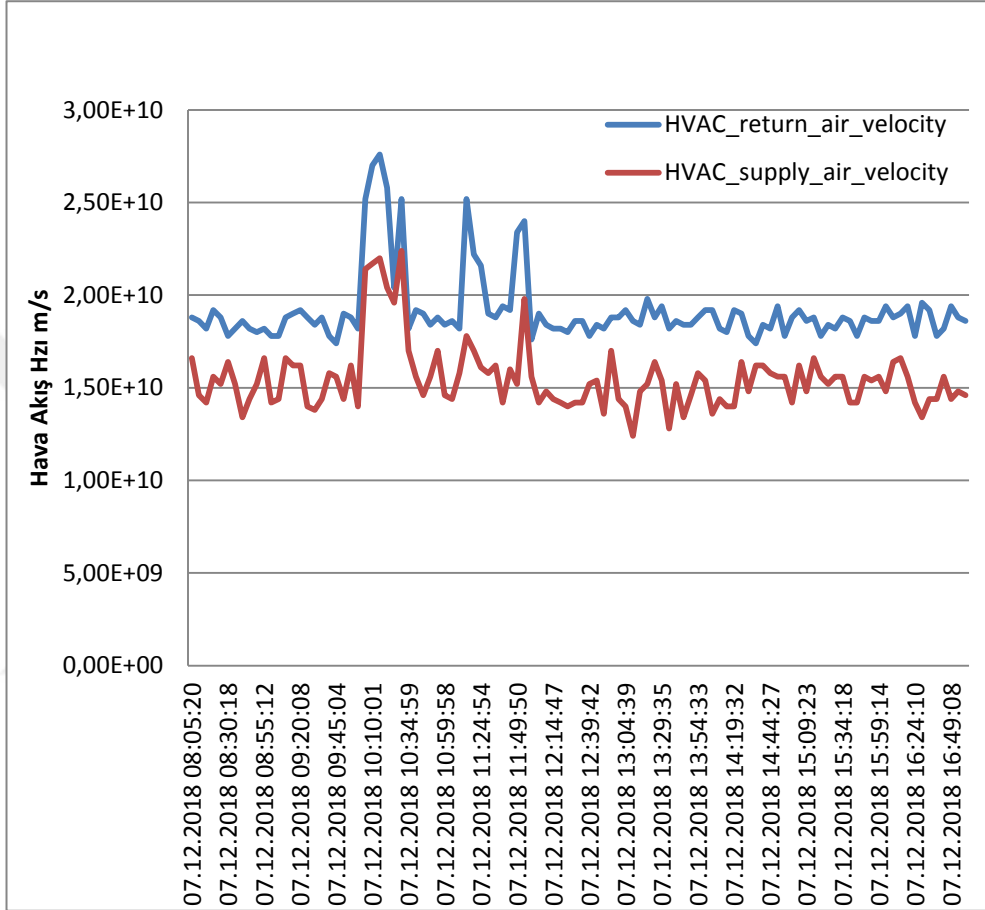
yaklaştığı görülmektedir. Dersliklerde bulunan VAV kutuları havalandırma ihtiyacını karşılamak için günün büyük bölümünde açık konumda kalmıştır. 19-23 Kasım 2018 tarihleri arasında sınıfların birçoğunun tasarım doluluk oranının altında kaldığı görülmektedir. Bu durum enerji tasarrufu için bir fırsat oluşturmaktadır. 26-30 Kasım 2018 tarihleri arası incelendiğinde tasarım doluluk oranının altında doluluğa sahip olan daha az derslik vardır. Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de sistemin çalışmasını anlatmak ve incelemek için 7 Aralık 2018 tarihinde yapılan çalışmalar incelenecektir.



Şekil 4.2 : 07.12.2018 tarihi CO₂ grafiği.

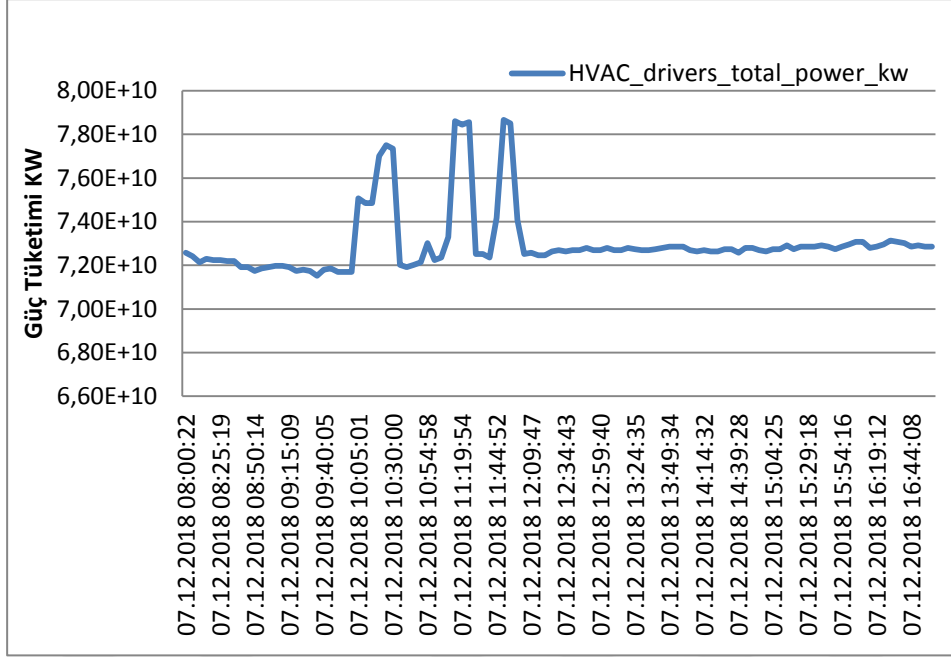
7 Aralık 2018 tarihinde 5 dakikada bir dersliklerde kaydedilen CO₂ seviyeleri incelendiğinde, günün farklı saatlerinde iki derslikte CO₂ seviyesini yüksek olduğu Şekil 4.2’de görülmektedir. Bu derslikler PLC_2_CO2_ID1 ve PLC_2_CO2_ID2 olarak kodlanan dersliklerdir. PLC_2_CO2_ID1 dersliğinin saat 09:44 ve 10:10 saatleri arasında CO₂ seviyesi 900 ppm üzerini görmüştür. Sınıflar için kritik kabul edilen 1000 ppm değerine yaklaşmaktadır. Bu durumda derslikte bulunan hava kalite sensörünün CO₂ seviyesi 900 ppm geçtiği için VAV kutusunu açık konuma gelmesi için komut göndermesi gerekmektedir. VAV kutusunun konumu hava kalite sensörünün üzerinde görülmektedir. Ancak bunu anlamının başka bir yoluda sistem tasarımına göre hava akış hızının artması gerektiğinden, 09:44 ve 10:10 saatleri arasındaki hava akış hızı üzerinden yorumlanabilir.

Derslikler için aşırı havalandırılmış kabul edilen 600 ppm seviyesine yaklaştığında VAV kutusunun ayarlanan minimum açık seviyesine gelmesine gerekmektedir. PLC_2_CO2_ID1 dersliğinde saat 10:34 gibi 600 ppm seviyesine gerilemiştir. Bu durumda da VAV kutusunun konumunu öğrenmek için hava akış hızı üzerinden yorumlanabilir. 07.12.2018 tarihindeki hava akış hızı grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir.



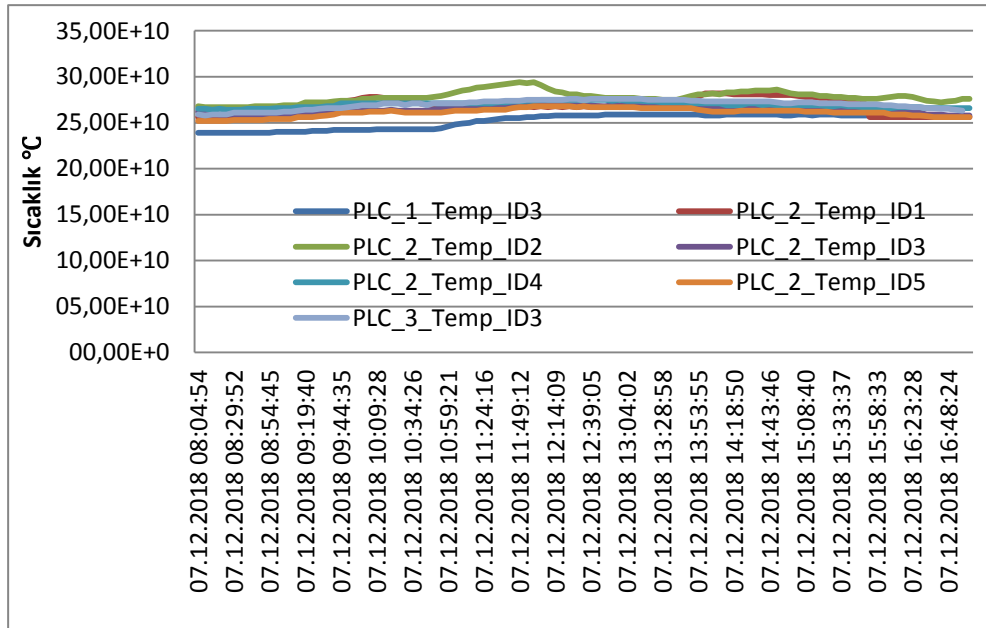
Şekil 4.3 : 07.12.2018 tarihi emiş ve üfleme hava akış hızları grafiği.

Şekil 4.3 incelendiğinde 09:44 ve 10:10 saatleri arasındaki hava akış hızı emiş ve üfleme kanallarında arttığı ve saat 10:34 gibi saat 09:44 seviyesine geldiği görülmektedir. Bu durum da saat 09:44 gibi PLC_2_CO2_ID1 dersliğinden gelen havalandırma talebine, sitemin talebi karşılamak için VAV kutularını açık konuma getirdiği ve hava akış hızını arttırdığı görülmektedir. Aynı durumun saat 10:34 talebin ortadan kalmasıyla sistem VAV kutularının minimum açık konuma getirerek, hava akış hızını da düşürmüştür. Hava akış hızının artması enerjiye duyulan ihtiyacın artmasına neden olur. Enerji tüketimi grafiği Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4 : 07.12.2018 tarihi enerji tüketimi grafiği.

Şekil 4.4 incelendiğinde 09:44 ve 10:34 saatleri arasında hava akış hızının yükselmesi için enerji tüketiminin arttığı görülmektedir. Benzer durumlar Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4 incelendiğinde PLC_2_CO2_ID2 dersliğinden gelen havalandırma talebine göre 11:05 ve 11:55 saatlerinde, hava akış hızlarının ve enerji tüketimindeki değişiklik gözlenebilmektedir.



Şekil 4.5 : 07.12.2018 tarihi dersliklerin sıcaklık grafiği.

CO₂ seviyesinin sıcaklık ile bağlantısını görmek için Şekil 4.2 ve Şekil 4.5 incelenecektir. 07.12 2018 tarihinde PLC_2_CO2_ID2 dersliğinde 10:54 ve 12:09 saatleri arasında CO₂ seviyesinin 700 ppm ve 900 pmm arasında olduğu Şekil 4.2’de gösterilmiştir. 10:54 ve 12:09 saatleri arasında PLC_2_CO2_ID2 dersliğinin Şekil 4.5 sıcaklık grafiği incelendiğinde 29°C sıcaklık seviyesine ulaşmıştır. Aynı dersliğin CO₂ seviyesinin 600 ppm altına gerilediğinde 26°C sıcaklık seviyesine gerilediği görülmektedir. Bu durum sıcaklık ve karbondioksit seviyeleri arasında bir bağlantı olduğunu gözlenmektedir.





5. SONUÇ VE ÖNERİLER

- DCV alanında yapılan çalışmaların çoğunluğu, tek bölgeyi besleyen havalandırma düzenekleri ile ilgilidir (Çizelge 1.1).
- Literatürde, DCV alanında yapılan çalışmaları ağırlıklı olarak simülasyon çalışmalarından oluştuğundan, daha fazla saha çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Çizelge 1.1).
- CO₂ tabanlı bir DCV sisteminin performansı, sistem sensörleri tarafından ölçülen ve bildirilen CO₂ konsantrasyonuna bağlı olacaktır. Genel olarak, kalibrasyon, nem ve sıcaklığa duyarlılık incelenmiş olsa da, sensör performansı bir DCV sisteminin kontrolü için en önemli özelliktir.
- CO₂ tabanlı DCV sistemi ile çok bölgeli mekanlarda, standartlara uygun olarak iç hava kalitesi sağlanabilmektedir (Şekil 4.1).
- Tasarım doluluk oranlarının altında hava akış hızları kontrol edilerek enerji tasarrufu sağlamak mümkündür (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).
- CO₂ tabanlı DCV sistemine göre havalandırma oranını optimize etmek, enerji tasarrufuna ek olarak, hem sağlıklı, hem de konforlu bir ortamın yaratılmasına ve korunmasına katkıda bulunmaktadır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).
- Şekil 4.5'e göre, sıcaklık ve karbondioksit arasında doğrusal bir bağlantı olduğu görülmektedir.
- CO₂ tabanlı DCV sistemlerinde hava akışı hızı modüle edilebiliyorsa, daha fazla enerji tasarrufu potansiyeli hala mevcuttur.
- Çalışmanın devamı olarak, ısıtma veya soğutmada kullanılan ikincil enerji verimliliğinin üzerine yeni bir çalışma yapılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Cablé, A., Hammer, H. L., & Mysen, M.** (2016). Comparison of two ventilation control strategies in the first passive house standard Norwegian school. *International Journal of Ventilation*, 14(4), 371-382.
- [2] **Lin, X., & Lau, J.** (2016). Applying demand- controlled ventilation. *ASHRAE Journal*, 58(1), 30-36.
- [3] **Ahmed, K., Kurnitski, J., & Sormunen, P.** (2015). Demand controlled ventilation indoor climate and energy performance in a high performance building with air flow rate controlled chilled beams. *Energy and Buildings*, 109, 115-126.
- [4] **Cho, W., Song, D., Hwang, S., & Yun, S.** (2015). Energy-efficient ventilation with air-cleaning mode and demand control in a multi-residential building. *Energy and Buildings*, 90, 6-14.
- [5] **Li, S.** (2015). Applicability improvement of demand-controlled ventilation under an occupant-based ventilation standard in china. *Journal of Energy Engineering*, 141(4) [42] **Lin, X., & Lau, J.** (2016). Applying demand-controlled ventilation. *ASHRAE Journal*, 58(1), 30-36.
- [6] **Lin, X., & Lau, J.** (2015). Demand-controlled ventilation for multiple-zone HVAC systems-part 2: CO₂-based dynamic reset with zone primary airflow minimum set-point reset (RP-1547). *Science and Technology for the Built Environment*, 21(8), 1100-1108.
- [7] **Hesaraki, A., Myhren, J. A., & Holmberg, S.** (2015). Influence of different ventilation levels on indoor air quality and energy savings: A case study of a single-family house. *Sustainable Cities and Society*, 19, 165-172.
- [8] **Zhuang, R. N., Li, X., & Tu, J.** (2015). An energy saving ventilation strategy for short-term occupied rooms based on the time-dependent concentration of CO₂. *International Journal of Ventilation*, 14(1), 39-52.
- [9] **Lin, X., & Lau, J.** (2014). Demand controlled ventilation for multiple zone HVAC systems: CO₂-based dynamic reset (RP 1547). *HVAC and R Research*, 20(8), 875-888.
- [10] **Fan, Y., & Ito, K.** (2014). Integrated building energy-computational fluid dynamics simulation for estimating the energy-saving effect of energy recovery ventilator with CO₂demand-controlled ventilation system in office space. *Indoor and Built Environment*, 23(6), 785-803.
- [11] **Fan, Y., Kameishi, K., Onishi, S., & Ito, K.** (2014). Field-based study on the energy-saving effects of CO₂demand controlled ventilation in an office with

application of energy recovery ventilators. *Energy and Buildings*, 68(PART A), 412-422.

- [12] **Wang, Z.** (2014). Emulation about the control system of CO₂ concentration in aircraft electronic equipment training room. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 32(3), 1847-1854.
- [13] **Lin, X., Lau, J., & Yuill, G. K.** (2014). Evaluation on the validity of the assumptions underlying CO₂-based demand-controlled ventilation by a literature review. Paper presented at the *ASHRAE Transactions*, 120(PART 1) 81-87.
- [14] **Lü, X., Lu, T., Viljanen, M., & Kibert, C. J.** (2013). A new method for controlling CO₂ in buildings with unscheduled opening hours. *Energy and Buildings*, 59, 161-170.
- [15] **Norbäck, D., Nordström, K., & Zhao, Z.** (2013). Carbon dioxide (CO₂) demand-controlled ventilation in university computer classrooms and possible effects on headache, fatigue and perceived indoor environment: An intervention study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 86(2), 199-209.
- [16] **Lau, J., & Lin, X.** (2012). Simulation based validation of two CO₂-based demand controlled ventilation control logic for multiple-zone VAV system. Paper presented at the *10th International Conference on Healthy Buildings 2012*, 1364-369.
- [17] **Nassif, N.** (2012). Supply air CO₂-based demand-controlled ventilation for multi-zone HVAC systems. Paper presented at the *ASHRAE Transactions*, , 118(PART 2) 300-307.
- [18] **Shan, K., Sun, Y., Wang, S., & Yan, C.** (2012). Development and in-situ validation of a multi-zone demand-controlled ventilation strategy using a limited number of sensors. *Building and Environment*, 57, 28-37.
- [19] **Ng, M. O., Qu, M., Zheng, P., Li, Z., & Hang, Y.** (2011). CO₂-based demand controlled ventilation under new ASHRAE standard 62.1-2010: A case study for a gymnasium of an elementary school at west lafayette, indiana. *Energy and Buildings*, 43(11), 3216-3225.
- [20] **Lu, T., Lü, X., & Viljanen, M.** (2011). A novel and dynamic demand-controlled ventilation strategy for CO₂ control and energy saving in buildings. *Energy and Buildings*, 43(9), 2499-2508.
- [21] **Sun, Z., Wang, S., & Ma, Z.** (2011). In-situ implementation and validation of a CO₂-based adaptive demand-controlled ventilation strategy in a multi-zone office building. *Building and Environment*, 46(1), 124-133.

- [22] **Li, J., Wall, J., & Platt, G.** (2010). Indoor air quality control of HVAC system. Paper presented at the *2010 International Conference on Modelling, Identification and Control, ICMIC 2010*, 756-761.
- [23] **Jeong, J., Choi, A., & No, S.** (2010). Improvement in demand-controlled ventilation simulation on multi-purposed facilities under an occupant based ventilation standard. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(1), 51-62.
- [24] **Kusiak, A., & Li, M.** (2009). Optimal decision making in ventilation control. *Energy*, 34(11), 1835-1845.
- [25] **Xu, X., Wang, S., Sun, Z., & Xiao, F.** (2009). A model-based optimal ventilation control strategy of multi-zone VAV air-conditioning systems. *Applied Thermal Engineering*, 29(1), 91-104.
- [26] **Lawrence, T. M., & Braun, J. E.** (2007). Calibrated simulation for retrofit evaluation of demand-controlled ventilation in small commercial buildings. Paper presented at the *ASHRAE Transactions, 113 PART 2* 227-240.
- [27] **Wachenfeldt, B. J., Mysen, M., & Schild, P. G.** (2007). Air flow rates and energy saving potential in schools with demand-controlled displacement ventilation. *Energy and Buildings*, 39(10), 1073-1079.
- [28] **Lawrence, T. M., & Braun, J. E.** (2006). Evaluation of simplified models for predicting CO₂ concentrations in small commercial buildings. *Building and Environment*, 41(2), 184-194.
- [29] **Mysen, M., Berntsen, S., Nafstad, P., & Schild, P. G.** (2005). Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in norwegian primary schools. *Energy and Buildings*, 37(12), 1234-1240.
- [30] **Mui, K., & Chan, W.** (2005). Pilot study for the performance of a new demand control ventilation system in Hong Kong. *Journal of Architectural Engineering*, 11(3), 110-115.
- [31] **Chao, C. Y. H., & Hu, U. S.** (2004). Development of an enthalpy and carbon dioxide based demand control ventilation for indoor air quality and energy saving with neural network control. *Indoor and Built Environment*, 13(6), 463-475.
- [32] **Atthajariyakul, S., & Leephakpreeda, T.** (2004). Real-time determination of optimal indoor-air condition for thermal comfort, air quality and efficient energy usage. *Energy and Buildings*, 36(7), 720-733.
- [33] **Mumma, S. A.** (2002). Is CO₂ demand-controlled ventilation the answer? *Engineered Systems*, 19(5), 66-78.

- [34] **Schell, M., & Int-Hout, D.** (2001). Demand control ventilation using CO₂. *ASHRAE Journal*, 43(2).
- [35] **Schell, M. B., Turner, S. C., & Shim, R. O.** (1998). Application of CO₂-based demand-controlled ventilation using ASHRAE standard 62: Optimizing energy use and ventilation. Paper presented at the *ASHRAE Transactions*, , 104(2) 1213-1225.
- [36] **Fisk, W. J., & De Almeida, A. T.** (1998). Sensor-based demand-controlled ventilation: A review. *Energy and Buildings*, 29(1), 35-45.
- [37] **Emmerich, S. J., & Persily, A. K.** (1997). Literature review on CO₂-based demand-controlled ventilation. *ASHRAE Transactions*, 103(pt 2), 229-243.
- [38] **Carpenter, S. C.** (1996). Energy and IAQ impacts of CO₂-based demand-controlled ventilation. *ASHRAE Transactions*, 102(2), 80-88.
- [39] **Haghighat, F., & Donnini, G.** (1993). Conventional vs CO₂ demand-controlled ventilation systems. *Journal of Thermal Biology*, 18(5-6), 519-522.
- [40] **Warren, B. F., & Harper, N. C.** (1991). Demand controlled ventilation by room CO₂ concentration: A comparison of simulated energy savings in an auditorium space. *Energy and Buildings*, 17(2), 87-96.
- [41] **D. Elovitz,** (1995). "Minimum outside air control methods for VAV systems". *ASHRAE Trans.*, 101 (2) pp. 613–618.
- [42] (1996). ASHRAE. ASHRAE Standard 62-1989R. "Ventilation for Acceptable Indoor Quality (Public Review Draft)", Atlanta, .
- [43] (2003).IMC. International Mechanical Code, International Code Council, Falls Church, Virginia,.
- [44] CEC. (2005). Building Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings. *California Energy Commission*. Sacramento, CA. P400-03-001F.
- [45] **Akdilli Oral,Z., Arısoy, A.,** (2015). Aışveriş Merkezlerinde İ Hava Kalitesi, Teskon 2015 / İ evre Kalitesi Seminerleri, 12. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir.
- [46] **IANNIELLA, E.,** (2011)."Ventilation systems and IAQ in school buildings". *REHVA Journal*, March, 26- 29.
- [47] **Toksoy,M., Sofuođlu., S,C., Orhan Ekren,O.,** (2015).Sınıflarda Havalandırma Debinin Belirlenmesi, *İ evre Kalitesi Seminerleri*, Teskon 2015.
- [48] **Bulgurcu, H.,** (2017).Havalandırma ve İ Hava Kalitesi,

Internet:http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma_1_46167331.pdf

- [49] **Fanger, O.P.**, (2011).Chapter 22, “Perceived Air Quality and Ventilation Requirements.” In J.D. Spengler, J.M. Samet, and J.F. McCarthy. *Indoor Air Quality Handbook*,. NewYork: McGraw-Hill, pp. 22.1–2.11.
- [50] **Huber, G., and H.U. Wanner.** (1983).Indoor air quality and minimum ventilation rate. *Environment International* 9:153–56.
- [51] ASTM. (2007). ASTM D6245-07, Standard Guide for Using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation.ASTM, 2007.
- [52] **Godish, T.**, (1995)Definition, diagnosis, and mitigation, *Sick buildings*, CRC PressI Llc..
- [53] **Manolis, A.**, (1983). The diagnostic potential of breath analysis. *Clinical Chemistry* 29.1:5–15.
- [54] **Fahlen, P., H. Andersson and S. Ruud.** (1992). Demand Controlled Ventilating Systems Sensor Tests. Swedish National Testing and Research Institute, Boras, Sweden, *SP Report*:13.
- [55] **Meier, S.** (1993). Mixed-Gas or CO₂ Sensors as a Reference Variable for Demand-Controlled Ventilation. Proceedings of the *6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Vol. 5: 85-90.
- [56] **Okamoto, S., Muramatsu, S., Jeng, D.Y., Hadano, H., Nagawa, Y., and H. Futata.** (1996). The Exploration of the Use of a Carbon Dioxide Sensor for Indoor Air Control. *Proceedings of Indoor Air '96*. Vol. 3: 333-338.
- [57] **Steven J., Emmerich Andrew K. Persily.** (2001). Building and Fire Research Laboratory, State-of-the-Art Review of CO₂ Demand Controlled Ventilation Technology and Application, Prepared for: *Architectural Energy Corporation Boulder, Colorado*.
- [58] **Stymne, H., A. Mellin, and M. Sandberg.** (1990).Dispersion Pattern of Carbon Dioxide from Human Sources - A Factor to Consider in Demand Controlled Ventilation Systems. *Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Vol. 4: 317-322.
- [59] **Stymne, H., M. Sandberg, and M. Mattsson.** (1991).Dispersion Pattern of Contaminants in a Displacement Ventilated Room - Implications for Demand Control. *Proceedings of the 12th AIVC Conference Air Movement & Ventilation Control within Buildings*: 173-189.

- [60] **Reardon, J.T. and C.Y. Shaw.** (1993).Carbon Dioxide Concentrations and Minimum Air Change Rates in a High-Rise Office Building. *Indoor Environment* 2: 337-343.
- [61] (2018). <http://www.solfin.com.tr/urun-detay/222/plakali-tip-isi-geri-kazanim-uniteli-klima-santrali.html>
- [62] **BAS, E.,** (2004). Indoor Air Quality-A Guide for Facility Managers, The Fairmont Pres.



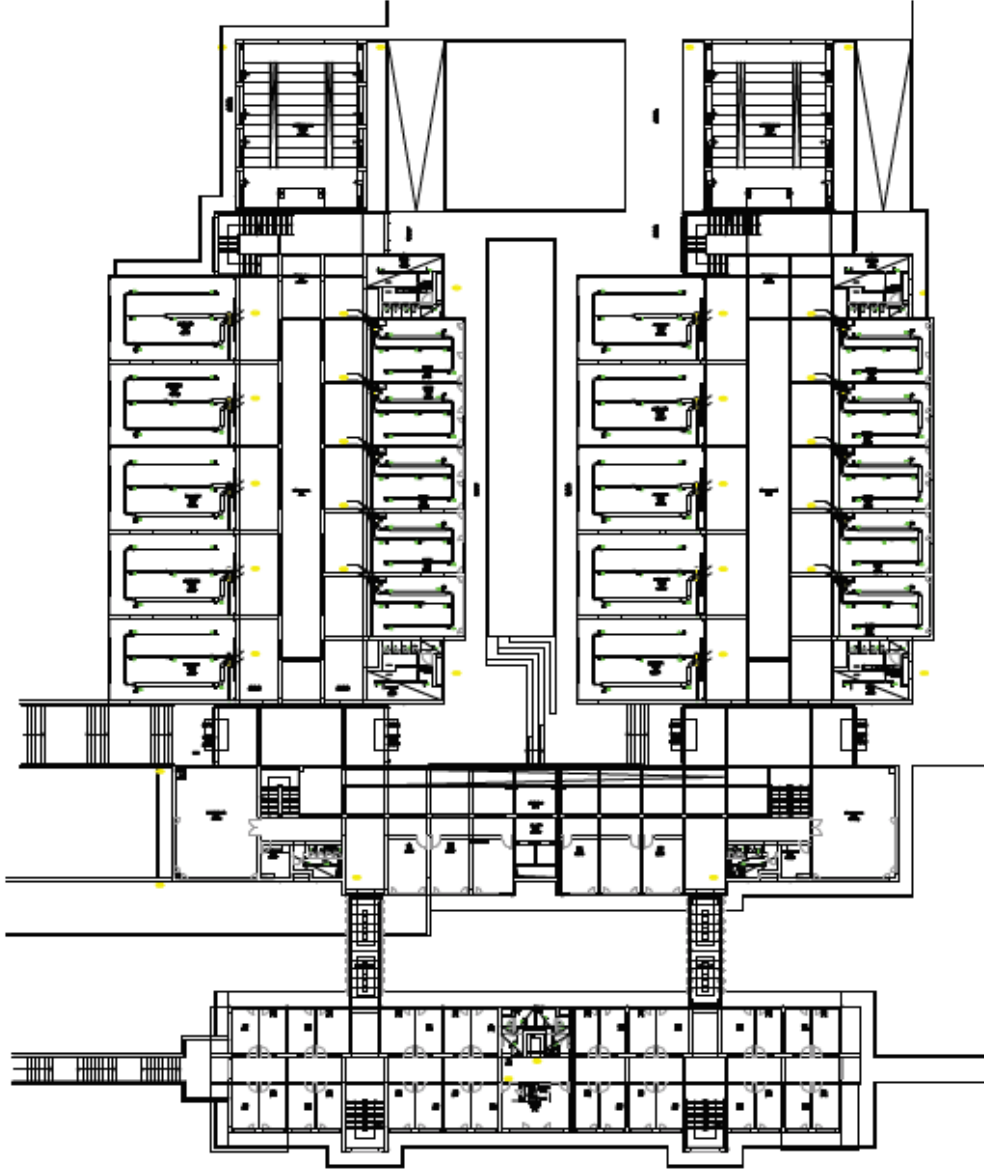
EKLER

EK A: Bina planı.

EK B: Derslik havalandırma projesi.

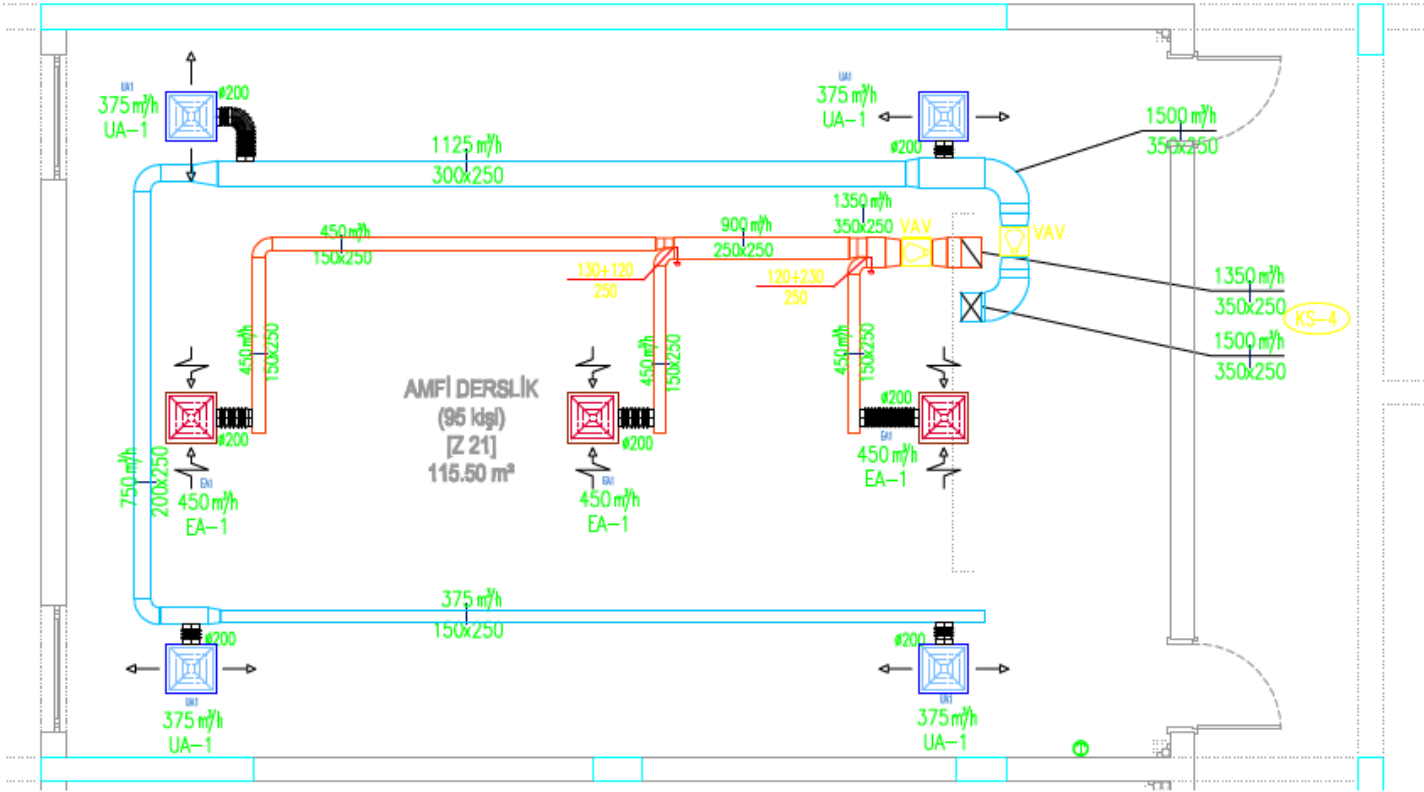
EK C: Klima santrali-4 havalandırma kolon şeması.

EK A



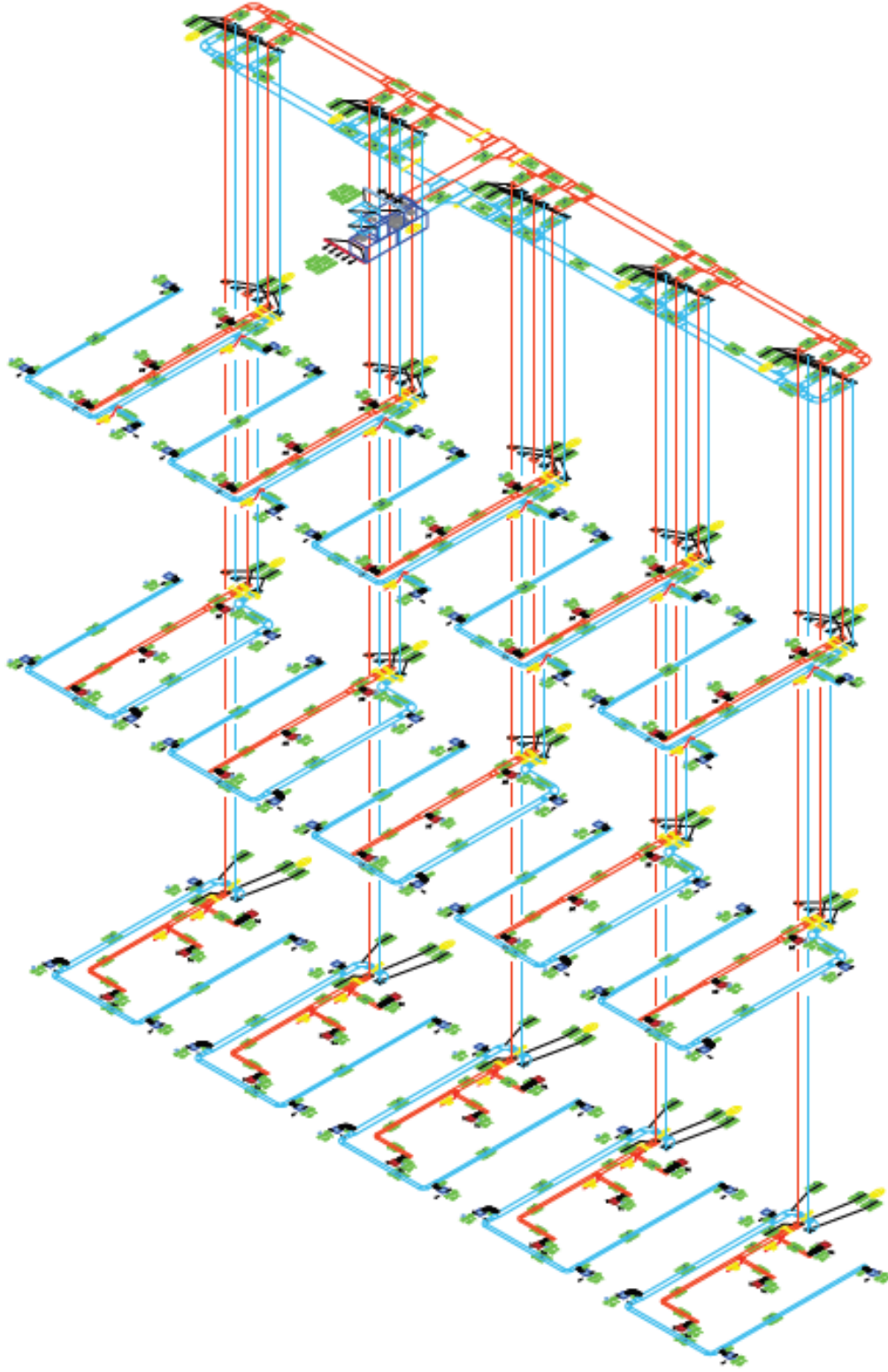
Şekil A.1: Bina planı.

EK B



Şekil B.1 : Derslik havalandırma planı.

EK C



Şekil C.1 : Klima santrali-4 havalandırma kolon şeması.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Adem AKPINAR
Doğum Yeri ve Tarihi : Durağan, 12.12.1990
E-Posta : ademakpinar@klu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2015, Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Çağlarer, E., Akpınar, A., Zengin, K., 2018. CO₂ Tabanlı Talep Kontrollü Havalandırma Sistemlerinde Enerji Verimliliği, Tasarrufu Ve Yönetiminin İncelemesi, *IV. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu*, 1713-1723.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Akpınar, A., Çağlarer, E., Dursun, B., 2016. Use of Renewable Energy in Ventilation and Air Conditioning Systems- An Example in a Higher Education Building. *8th International Ege Energy Symposium & Exhibition* 102
- Akpınar, A., Çağlarer, E., Zengin, K., 2017. Üniversite Dersliklerinde HVAC Sistemlerinin ve Kontrol Stratejilerinin İncelenmesi. *Trakya Üniversiteler Birliği İkinci Lisansüstü Öğrenci Kongresi*.