



Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 26.06.2019
Kabul Tarihi : 19.07.2019

Received Date : 26.06.2019
Accepted Date : 19.07.2019

NON-DISPERSIVE INFRARED CO₂ SENSÖRÜ KULLANILARAK İÇ ORTAM CO₂ DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ: ŞANLIURFA ÖRNEĞİ

DETERMINATION OF INDOOR CO₂ LEVELS USING NON-DISPERSIVE INFRARED CO₂ SENSOR: CASE OF ŞANLIURFA

Hatice ÖZDEŞ¹ (ORCID: 0000-0002-5517-5348)

Nihan UYGUR^{1*} (ORCID: 0000-0003-3356-9407)

¹ Kahramanmaraş Sutcu Imam Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Nihan UYGUR, nuygur@ksu.edu.tr

ÖZET

Günümüzde insanların zamanlarının çoğunu iç ortamlarda geçirmeleri sebebiyle bu kirleticilere maruz kalma olasılıkları fazladır. İç ortam hava kalitesinin yetersizliği bireylerin çalışma verimlerini düşürebildiği gibi çeşitli sağlık sorunlarına da sebep olabilmektedir. İç ortam hava kirleticileri oranı binaya, yaşanan bölgeye ve iklimsel dönemlere göre değişim göstermektedir. Kirletici kaynakları olarak partikül madde, uçucu organik bileşikler, biyoaerosoller gibi çeşitli iç hava kirleticileri öne çıkmakta, kirleticiler ile solunum yolu semptomları ve hastalıkları arasında ilişki bulunduğu bildirilmekte, bunlar arasından astım, alerji ve enfeksiyonlar öne çıkmaktadır. Geçici semptomlardan kronik hastalıklara kadar geniş bir ölçekte sağlık etkenlerinin oluşturduğu iç ortam hava koşulları değerlendirilmiştir. Ülkemizde kapalı ortam hava kalitesi ve sağlık ile ilgili yapılan sınırlı sayıda çalışmaları derlenmiş ve sorun ile ilgili durum ortaya konularak, yapılması gereken ilave çalışmalar ve hava kalitesinin iyileştirilmesi için öneriler ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada, farklı iç ortamlarda tasarladığımız karbondioksit ölçüm cihazı kullanılarak iç ortamlarda karbondioksit düzeyleri analiz edilmiştir. Farklı koşullarda bulunan 10 ölçüm noktası belirlenerek karbondioksit oranları belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İç ortam hava kalitesi, karbondioksit düzeyleri, karbondioksit ölçüm cihazı, sağlık etkileri

ABSTRACT

Today, people are more likely to be exposed to these pollutants because they spend most of their time indoors. Inadequate indoor air quality can decrease the working efficiency of individuals and cause various health problems. The rate of indoor air pollutants varies according to the building, the region and the climatic periods. Various sources of pollutants such as particulate matter, volatile organic compounds, bioaerosols, and airborne pollutants are reported to be associated with asthma, allergies and infections. Indoor weather conditions caused by health factors on a large scale from transient symptoms to chronic diseases were evaluated. A limited number of studies on indoor air quality and health in our country have been compiled and the situation related to the problem has been put forward, and additional studies and recommendations for improvement of air quality have been put forward.

In this study, carbon dioxide levels were analyzed by using carbon dioxide measuring device developed by us in different indoor environments. Carbon dioxide ratios were determined and compared by determining 10 measurement points under different conditions.

Keywords: Indoor air quality, carbon dioxide levels, carbon dioxide measuring device, health effects

GİRİŞ

İç ortam havası; ev, işyeri, hastane, alışveriş merkezi, otel ve okul gibi binalar içinde bulunmakta olan hava olarak ifade edilebilir. İç ortamda oluşan hava kirliliği ise, sözü geçen iç ortamlarda insan ve hayvan sağlığına zararlı ve

solunabilir (toz, gaz, buhar) maddelerin görülmesi olayıdır. Bu maddelerin konsantrasyon miktarı ve çeşitliliği ise, ortamın karakteristiğine, ortamda bulunan malzemelere, içinde yaşayan bireylerin sayısına ve yaşına, sıcaklığa, ortamın havalandırma veya ısıtma sistemlerine göre çok farklılık göstermektedir. Bu değişkenlikler ise başta sağlık sorunları olmak üzere birçok problemi beraberinde getirmektedir.

Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın iç hava kalitesi raporunda; "İç ortam hava kirleticilerinin sağlığa etkileri, maruziyetten hemen sonra (akut) veya uzun süre (yıl bazında) sonra (kronik) ortaya çıkma şeklinde gözlemlenebilir. Akut sağlık etkileri, tek bir maruz kalmadan kısa bir süre sonra veya bir kirleticiye tekrar tekrar maruz kalınma neticesinde ortaya çıkabilir. Bu sağlık etkileri; gözler, burun ve boğazda tahriş, baş ağrısı, baş dönmesi ve yorgunluk olarak sıralanabilir. Bu tür acil etkiler genellikle kısa vadeli ve tedavi edilebilir. Özellikle kaynak tespiti yapılabilirse, kişinin maruziyetten hemen sonraki tedavisini yapmak daha kolay olabilmektedir. Kişilerin iç ortam kirleticilerine verdikleri tepkiler, kişilerin yaşları, maruz kalınan maddenin konsantrasyonu gibi çeşitli faktörlere de bağlıdır.

Kronik etkiler maruziyetten yıllar sonra ortaya çıkabilir, bazı solunum yolu hastalıkları, kalp hastalıkları ve kanseri içeren bu etkiler ciddi derecede zayıflatıcı veya ölümcül olabilir. İç mekân havasında yaygın olarak bulunan kirleticiler birçok zararlı etkiye neden olabilirken, belirli sağlık sorunlarının ortaya çıkması için hangi maruz kalma konsantrasyonlarının veya periyotlarının gerekli olduğu konusunda büyük belirsizlik vardır (EPA, 2018).

Öte yandan insanların içinde buldukları havayla ilgili farklı beklentiler içinde olmaları ve bu konuda algılarının da farklılık göstermesi temel alınarak iç hava kalitesi için kesin sınırlar çizmek veya tanımlamak zordur. Bundan dolayı, dünya da iç ortam havası düzenlemelerine ilişkin "kabul edilebilir iç hava kalitesi" terimi ortaya çıkmıştır. (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning) ASHRAE 62-1989, 2001 ve 2004 Standardında kabul edilebilir iç hava kalitesi "İçinde, bilinen kirleticilerin, yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı konsantrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve bu hava içinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranın havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir "memnuniyetsizlik hissetmediği havadır" olarak açıklanmaktadır (Bulut, 2007).

İç ortam hava kalitesi insanların çalışma performansları üzerinde etkili bir parametredir. Örneğin insanların sağlıklı bir ortamda konforu ve üretkenliği için solunan havanın %30-50 oranında nem içermesi ve çalışma ortamının 19-20°C 'de olması gerekmektedir gibi bir gerçeklik vardır (TMMOB, 2015).Yine yapıların içinde oluşan veya oluşması muhtemel hava kirliliğini önlemek için etkili bir havalandırma çok önemli olmaktadır. Havalandırma yapma, sistemlerin kullanımıyla veya doğal havalandırma ilkeleri doğrultusunda gerçekleştirildiği, mekanik hava düzenleme sistemlerinin enerji tüketiminin doğal havalandırma sistemlerine göre daha fazla olduğu, düzenli olarak bakım ve onarım gerektirir. Sistemlerde tasarım, uygulama ve bakım-onarım hatalarının olmasının insan sağlığını bozduğu, yapıların doğal havalandırma ilkeleri göz önüne alınarak tasarlandığı durumda insan için konfor düzeyi yüksek, enerji tüketimi ve maliyeti düşük yapılar üretebildiği belirtilmiştir (Altun, 2015).

Tarihsel süreçte, iç ortam hava kalitesi araştırmalarında; hasta bina sendromu kavramı 1890'li yıllarda, petrol krizi ve enerji temini sıkıntısının da gündeme gelmesiyle birlikte literatürde yer almaya başlamıştır. İç ortam hava kalitesinin ölçüsü olarak, taze hava miktarı veya hava değişimi katsayısı kullanılmaktadır. Bu ölçütler iç ortamdaki kirlilik kaynaklarından bağımsız olduklarından çok nitelikli bilgi sağlamazlar. Kirlilik unsurlarının güçlü olması halinde, yüksek havalandırma miktarları uygulanan bir alan yine kirli olabilir. Öte taraftan kirlilik kaynaklarının zayıf olduğu alanlarda ise basit bir havalandırma yöntemi ile yüksek bir hava kalitesi elde edilebilir (Çilingiroğlu, 2010).

Hali hazırda günümüz enerji maliyetleri yapılarda enerjinin korunması ve ısı yalıtımı konusunu ön plana çıkarmıştır. Binaların iç ve dış duvarlarında yapılan ısı yalıtımı düzenlemeleri, binanın içi ve dışı arasında hava sirkülasyonu azaltmış, dolayısıyla bunun sonucu olarak iç ortamlarda hava kirliliği sorunu ortaya çıkmıştır. Havada bulunan her partikül ve kimyasalın belirli bir sınır değeri altında olup olmadığını belirlemek oldukça zordur. Sınır değerleri ise, bazı kimyasallarda tek başına ortaya çıkmaları durumunda saptanabilir. Bina içinde olmak yani iç ortamdaki kirleticilere maruz kalmak, dış ortamdaki kirleticilere oranla sağlık açısından daha fazla risk taşımaktadır. Bunun sebebi insanların zamanlarının neredeyse tamamını kapalı mekânlarda geçirmeleridir. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA), insanların kapalı alanlarda açık alanlara oranla 2-5 kat daha fazla zararlı bileşiklere maruz kaldığını açıklamıştır. Kapalı ortamlarda hava kirliliğinin olumsuz etkileri genellikle uzun sürede ortaya çıkar. Bu etkiler insan sağlığını doğrudan tehdit etmediği için gereken önem verilmemektedir (EPA, 2018).

İç ortam hava kalitesi birçok faktörden etkilendiği gibi bunların etkileşimlerinden de etkilenmektedir. Bundan dolayı bina içindeki hava kalitesini, dış ortam havası, bina yapımında kullanılan yapı malzemeleri, bina içindeki mobilya ve ekipmanlar, kullanıcılar, elektrik manyetik alanları ve havalandırma sistemleri etkilemektedir. Bina içindeki hava kalitesini etkileyen faktörlerin başında iklimlendirme ve havalandırma sistemleri yer almaktadır. İklimlendirme ve havalandırma, yapılarda ortalama düzeyde iç ortam havasının sağlanmasında büyük rol oynamaktadır. İç ortamlardaki hava hareketleri ısı konfor ve hava kalitesi açısından önem kazanmaktadır (Çilingiroğlu, 2010).

İç Hava Kalitesi Parametreleri

• İç Sıcaklık ve Nem

Kapalı ortamlardaki sıcaklık parametresi, ısı konfor şartlarından en önemli parametredir ve insan fizyolojisine uygun değerlerde olmalıdır. İlkbahar koşullarında iç hava sıcaklığı daha çok dış sıcaklığa göre belirlenmesine rağmen, kış aylarında iç ortam tasarım sıcaklığı ortamın kullanım amacı ve tipine göre belirlenmektedir. Isıtma sistemleri projelerinde daha çok ortamın tipine göre bu sıcaklık değeri değişmektedir.

Nem ve sıcaklık değerlerinin fazla olduğu durumlar, iç ortamlarda stres kaynağı olabilirler. Aynı parametrelerin düşük olduğu durumlarda problem teşkil edebilir. Örneğin düşük nem değerleri burun ve ağızda kuruluk, vücuttan hızlı su kaybı gibi sağlık sorunlarına yol açabilir. Bu nedenlerden dolayı iç ortam sıcaklığı 15-26 °C ve iç ortam bağıl nemi %30 ile %70 arasında olmalıdır (Işık & Cibuk, 2015).

• CO₂ Miktarı

İç hava kalitesi kontrolü yapılması için CO₂ önerilen en önemli bir iç hava kirleticisidir. Atmosfer havasında CO₂ 330 ile 500 ppm aralığındadır. Buna bağlı olarak iç ortamlardaki CO₂'nin bir diğer kaynağı da dış atmosferdir denilebilir. CO₂ zehirli bir gaz olmayıp, O₂ yetersiz olduğu koşullarda sağlık üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilir.

• Partikül Madde

Partikül maddeler katı veya sıvı halde olabilirler. Partikül madde PM olarak kısaltılarak ifade edilmektedir. İnsan sağlığı ile ilgili partiküller çapı 10µm (PM10)'den daha küçük, özellikle 2,5µm (PM2.5)'den küçük olanlar solunabilir partiküller olarak bilinmektedirler.

Partiküller, tozlar, dumanlar, sis, dumanlı sis, virüs, bakteri, mantar sporları ve polenleri içeren biyoaerosoller, kaba, ince, görünebilir veya görünemez, teneffüs edilebilir ve solunabilir olarak çok çeşitli sınıflandırılırlar. Taneciklerin çapı 0,1µm ile 25µm arasında, duman parçacıkları tipik olarak 0,25µm dolaylarındadırlar, duman ise genellikle 0,1µm den daha küçüktürler. Biyoaerosoller ise genellikle 1µm'den daha küçüktürler. Partikül madde miktarı genellikle birim hacimdeki kütle veya parçacık adedi olarak verilir. Partikül madde miktarı endüstriyel ortamlarda µg/m³ veya mg/m³ olarak, ofis binalarında ve endüstriyel temiz odalarda ise adet/m³ olarak ifade edilir (Bulut, 2011).

İç Hava Kalitesi ile İlgili Standartlarda Önerilen Sınır Değerler

Ülkemizde de tıpkı dünyanın birçok ülkesinde, iç hava kalitesi ile ilgili kirleticiler için izin verilebilen maksimum sınırları belirleyen standartlar bulunmaktadır. Bu standartlar sürekli güncellenmektedir. Tablo 1'de iç ortam ile ilgili değişik ülkelerin standartlarında iç hava kalitesi parametrelerine ait sınır değerler verilmektedir. Tabloda görüldüğü gibi iç hava kalitesi parametrelerinde önerilen sınır değerler ülkelerde farklılık gösterebilmektedir. (Bulut, 2007).

Tablo 1. İç Hava Kalitesi ile İlgili Standartlarda Önerilen Sınır Değerler (Bulut, 2007)

	CO ₂	Partikül Madde	Bağıl Nem	Sıcaklık
ABD ASHRAE	1000ppm	PM 10<75µg/m ³ (Yıllık ortalama)	%30-60	20-25,5°C
Almanya	5000ppm 9000ppm (15dak.)		%30-70	20-26°C
Kanada	3500ppm	PM2.5<40 µg/m ³ (8saat) PM2.5<100 µg/m ³ (1saat)	%30-80(yaz) %30-55(kış)	
Çin		PM10<150 µg/m ³		
WHO		PM10<20 µg/m ³ (yıllık ortalama) PM10<50 µg/m ³ (24saat)		
İngiltere		PM10<50 µg/m ³		
Norveç		PM2.5<20µg/m ³		
Avrupa Birliği		PM2.5<35µg/m ³		
Hong Kong	800ppm(1.düzye) 1000ppm(2.düzye)	PM10<20µg/m ³ (1.düzye) PM10<180µg/m ³ (2.düzye) (8 saat ortalama)	%40-70	20-25.5°C

İç Hava Kalitesi Oluşumunda Yapı Malzemelerinin Rolü

İnsanların barınma gereksinimi karşılanırken, aynı zamanda içinde buldukları binada sağlıkları için uygun koşullar oluşturulmalıdır. İç ortam hava kalitesinin belirlenmesi ve kontrol edilmesi bu koşullardan en hayati olanıdır.

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA), sağlıklı yapılar, sağlıklı insanlar konusuyla ilgili olarak hazırladığı raporda, insan sağlığı üzerinde iç ortamın çok büyük bir etkiye sahip olduğunu, iç ortamlardaki kirlilik düzeyinin bazı zamanlarda dış ortamdan daha yüksek olduğunu belirtmiştir (EPA, 2018). Yine aynı rapor kapsamında, iç ortamlardaki kirliliklerin her yıl binlerce solunum yolu hastalığı ve yüzlerce kanser sebebi ölümlere neden olduğunun tahmin edildiği, iç ortam hava kirliliklerine maruz kalan binlerce çocuğun kanındaki kurşun düzeyinin yükseldiğinin anlaşıldığı açıklanmıştır (Vural & Balanlı, 2005).

İç Ortam Hava Kirleticisi Kaynakları

İç ortamlarda bulunan kirleticiler ve kirleticilerin kaynakları birbirlerinden farklılık göstermektedir ve çok çeşitlidir. İç ortam kirleticilerinden bir kısmı konut içerisinde yapılan temizlik faaliyetlerinden (UOB), iç ortam boyama işlemlerinden (UOB), yemek pişirme faaliyetlerinden (CO, NO_x, partiküller vb.), sigara kullanımından (CO, partiküller), koku giderici sprey veya oda parfümlerinin kullanımı (UOB), tüylü evcil hayvanların barındırılması (ev tozu, bakteri, mantar) gibi bazı aktiviteler sonucu ile üretilir. Bunun yanı sıra; bina malzemeleri, mobilya, ahşap, halı gibi ev içi kullanım malzemeleri, boyalar, ev bitkileri ve banyo malzemelerinden yayılmaları da söz konusudur. Ayrıca, iç ortam kirleticisi kaynaklarının dış ortamdan açılan pencere, kapı gibi açıklıklardan aktarımları da gerçekleşebilmektedir. Bazı iç ortam kirleticileri dış ortamda üretilirler ancak pencere ve kapılardan iç ortama girerler.

En belirgin iç ortam hava kirleticileri şu şekilde sıralanabilir:

- Kimyasal içerikli temizlik malzemeleri,
- Bina içi ve dış cephe yalıtım ve inşaat malzemeleri,

- c) Boyanmış ve şekillendirilmiş ahşap malzemeler,
- d) Halı ve mobilya kaplamaları,
- e) vernik ve cilalanmış ahşap ürünler,
- f) Tütün kullanımı (Sigara, nargile vb.)
- g) Nem ve sıcaklık
- h) Yetersiz havalandırma-yakma işlemi (yetersiz havalandırma, yakma sırasında eksik yanma ürünleri olan kirletici gaz emisyonlarının oluşmasına neden olur) (Karataş, 2015).

İç Ortam Hava Kirliliğini Etkileyen Faktörler

İç ortam hava kirletici kaynaklarının yanı sıra bazı faktörler; Isıtma, Havalandırma ve Soğutma Sistemleri (IHSS) kullanımı, havalandırma, CO₂ konsantrasyonu, sıcaklık ve nem gibi dış ortam hava kalitesi parametreleri de iç ortam hava kalitesini etkilemektedir. Bu faktörler aşağıda başlıklar halinde bahsedilmektedir.

• Isıtma, Havalandırma ve Soğutma Sistemleri

Dünyada yaşanan ekonomik gelişmelerle birlikte, son zamanlarda Isıtma, havalandırma ve soğutma sistemlerinin kullanımı toplumda artış göstermektedir. Bu sistemlerin kullanımı genel olarak termal konforun sağlanması ve iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Yapılarda yetersiz havalandırmanın sebep olduğu ısıtma, havalandırma ve soğutma sistemlerinin havayı etkin dağıtmaması, hasta bina sendromunun oluşmasına önemli bir etken olduğu düşünülmektedir.

• Havalandırma

Havalandırma kapalı ortamlarda bulunan havanın doğal ya da yapay olarak yenilenmesi durumudur. İnsanların bulunduğu kapalı bir iç ortamda, iç ortam havası, karbon dioksit miktarının artması ve oksijenin azalması sonucu zamanla kirlenmektedir. Kapı ya da pencerelerin açılması aracılığıyla, iç ve dış ortamlar arasındaki sıcaklık farkı sayesinde, havalandırma doğal biçimde gerçekleştirilebilir.

Mekanik havalandırma sistemlerinin bir temizleme sistemine sahip olması iç ortam hava kalitesi açısından önemlidir. HEPA filtreler, toz ve alerji yapıcılar gibi kirletici partiküllerin yok edilmesinin yanı sıra, bazı türleri uçucu organik bileşikler, diğer gazlı kimyasallar ve hoş olmayan kokular gibi moleküllerin bertaraf edilmesinde de etkindirler. Xu tarafından yapılan bir çalışmada, hava temizleme/havalandırma işlemlerinin 30 astımlı çocuk üzerinde uygulanan solunumun sağlıklarını iyileştirip iyileştirmediği ile ilgili yatak odalarında çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma olarak hava temizleme/havalandırma elemanı olan HEPAirX ile çalışılmıştır. Çalışma neticesinde, dikkat çekici çıkarımlardan bir tanesi, HEPAirX kullanımında PM10 konsantrasyonlarında %72 azalma olmasıdır. Ayrıca, kirletici konsantrasyonlarından olan UOB'de %59, CO₂'de %19 ve CO'da ise %30 oranında ciddi bir iyileşme gözlenmiştir. Bu çalışmadan çıkarılan diğer bir sonuçta, havalandırmanın yanında ek olarak hava temizleme işlemi de etkili astım hastalarının semptomlarını azaltabileceğini göstermektedir (Güllü, 2016).

• Karbondioksit (CO₂)

Kapalı ortamlarda CO₂ seviyesi, havalandırmanın yeterli olup olmadığını gösteren önemli bir indikatördür. Okulların sınıflarında yapılan bir çalışmada CO₂ seviyesinin havalandırma oranı artırıldığında düştüğü tespit edilmiştir. Kuş vd. üniversite dersliklerinde CO₂ ve partikül seviyesi ölçerek değerlendirdikleri iç hava kalitesinde CO₂ seviyesini ortalama 1,000–1,414 ppm (en yüksek 2,250ppm) olarak ölçmüşlerdir. Harran Üniversitesi birim ve ofislerinde CO₂ ve partikül seviyesi ölçülerek değerlendirilen iç hava kalitesinde CO₂ seviyesi ortalama 937 ppm olarak bulunmuştur. Diğer bir örnekte ise, İzmir bölgesindeki ilköğretim ve anasınıflarının değerlendirilmesinde ilköğretim sınıflarındaki CO₂ seviyesi 1,000 ppm' in üzerinde ölçülmüş, anasınıflarında ise kış döneminde 1,000 ppm' in üzerine çıktığı gösterilmiştir.

• Dış ortam hava kalitesi

Dış ortam hava kalitesi, infiltrasyon yolu ve havalandırma sistemlerinin yardımıyla iç ortam hava kalitesini hem kompozisyon olarak hem de seviye açısından etkilemektedir. Aynı anda dış ortamda da yapılan ölçümler sırasında her iki mevsimde de iç ortamdaki kirlilik ve PM seviyesinin dış ortama göre daha yüksek olduğu, sanayi bölgesine ve yola yakın konutlarda iç ortam PM seviyesinin dış ortamdaki daha fazla etkilendiği tespit edilmiştir (Bulut, 2011).

Hava Kirleticilerinin Konsantrasyon Belirleme Yöntemleri

Hava kirlenici konsantrasyonları; ortam konsantrasyonlarının belirlenmesi ve kişisel maruziyet miktarının belirlenmesi olarak iki farklı şekilde düşünülebilir (EPA, 2018). Konsantrasyonların belirlenme sürecinde yapılan ölçümlerde ilk olarak anlık ölçümler ya da uzun süreli ölçümler söz konusudur. Anlık ölçümde ölçümün yapıldığı zaman dilimi (3-5 dakika) önemliyken uzun süreli ölçümler; 12 saatten 1 haftaya kadar değişmektedir.

Ölçüm yöntemleri temel olarak aktif ve pasif olarak iki başlıkta incelenmektedir. Aktif olan yöntem zorlamalı gerçekleşirken pasif yöntem difüzyon metoduna dayanır. Temelde kısa süreli ölçümler aktif yöntemle gerçekleştirilirken uzun süreli ölçümler pasif yöntemle gerçekleştirilir. İlkbahar ve kış mevsimi olmak üzere iki farklı mevsimde yapılan ölçümlerde havalandırma ve sıcaklık-nem değerleri değişiklik göstereceğinden ve sonuçların yorumlanması anlamlı olacağından örneklemelerin iki periyotta yapılması daha sağlıklı olmuştur.

Uluslararası anlamda OSHA (Occupational Safety Health Administration America), EPA (Environmental Protection Agency-America) gibi kuruluşlar çalışanların 12 saatlik sürede maruz kalabilecekleri gaz ya da partikül halindeki kimyasalların maksimum sınır değerlerini belirtmiştir. Bunun yanında "www.gestis.com" internet adresinden de tüm ülkelerin ulusal bazda 12 saatlik kişisel maruziyet için belirlemiş oldukları azami sınır değerleri öğrenilebilmektedir.

Yapılan uygulamada her işyeri sahibi; işyeri için gerekli görülen durumlarda yaptırmış olduğu ölçümler neticesinde elde edilen değerleri öncelikle ulusal mevzuat sınır değerleriyle, mevzuatta olmayan değerleri de uluslararası anlamda belirlenmiş sınır değerleriyle karşılaştırmak ve buna göre durum değerlendirmesi yaparak işyeri güvenliği ve çalışanların iş sağlığı için gereken önlemleri almak zorundadır (Karataş, 2015).

İç Ortam Kirleticilerinin Sağlık Üzerindeki Etkileri

• Partiküllerin Sağlık Açısından Önemi

Toz taneciklerinin solunum sisteminde ve akciğerlerdeki hareketleri ve etkileri, aerodinamik karakteristiklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Partiküllerin solunum sisteminin çeşitli bölgelerinde birikmesi, büyüklüklerinin bir sonucudur. Canlıların burun delikleri, çok ince partiküllerin yanı sıra oldukça büyük toz partiküllerinin de burun kısmından (pharynx) içeri girmelerine izin verir. Partiküller daha sonra solunum sistemi ve akciğerlerde çeşitli mekanizmaların etkisiyle tutulurlar (Bulut, 2011).

Toz, partiküllerin bir alt grubudur. Toz tanelerinin boyutları genel çerçevede 0.10-300µm arasında değişmektedir. Bu aralıktaki partiküllerin yalnızca 60µm altında olanları solunumla alınmaktadır. Sağlık açısından en önemli olan boyuttaki partiküller; boyutları 0.5-5µm arasında değişen ve ince tozlar (respirable tozlar) adı verilen tozlardır. Bu tozlar solunum yoluyla akciğerlerdeki alveollere kadar ulaşırlar ve "pnömokonyoz" adı verilen akciğer hastalıklarına neden olurlar. Esasen alveollere gelen bu toz zerreciklerinin bir kısmı, vücudun koruma mekanizması çok güçlü olduğundan zamanla solunum, salgı gibi akciğerlerin kendi kendisini temizleme özelliğine bağlı olarak elimine edilmektedirler. Diğer bir kısmı ise akciğerlerde birikerek 10-20 yıl gibi bir sürede akciğer hastalıklarına neden olurlar.

• Biyoaerosollerin Sağlık Açısından Önemi

Biyolojik etkenler ıslak ve rutubetli duvarlar ve tavanlardan, halılardan ve eski eşyalardan kaynaklanmaktadır. Bunların dışında iç ortamda bulunan buhar oluşturuca kaynaklar, beyaz eşyalar, klimalar, yataklar ve ev içindeki evcil hayvanlar da sayılabilir. Bu etkenler, göz, burun ve boğaz tahrişine, solumakta zorlanmaya, baş dönmesine, ateşli hastalıklara, şuur kaybına, mide rahatsızlıklarına ve diğer enfeksiyon hastalıklarına neden olmaktadır. Genel olarak rahatsızlıklar; alerji, zehirlenme ve enfeksiyon hastalıkları olarak sınıflandırılabilir. Bu etkenleri iç ortamda azaltmak amacıyla;

- Yemek yaparken mutfak havalandırmasına ve duş sonrası banyoların havalandırmasının iyi biçimde yapılması
- Giyilmiş kıyafetlerin, dokumaların, halıların vb. dış ortamda havalandırılması sağlanmalı
- Klimaların, buzdolaplarının içindeki suların sık temizlenmesi
- Perdelerin temiz ve kuru tutulması
- konuttaki eşyaların ve duvarların sıkça tozlarının alınması ve bu esnada pencereler veya kapılar yardımıyla iç ortam havalandırmasının yapılması gerekmektedir.

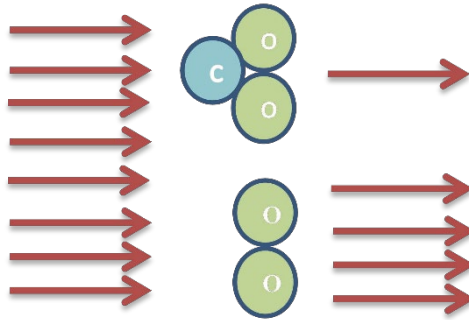
MATERYAL METOT

CO₂ Sensörü

Bu çalışmada Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi AR-GE Proje Pazarı kapsamında sunulmuş olan CO₂ ölçüm cihazı ile belirlediğimiz iç ortamlarda ölçümler yapılmıştır. Cihaz CO₂ ölçümünü Non-Dispersive Infrared (NDIR) sensör kullanılarak gerçekleştirmektedir. Non-Dispersive Infrared (NDIR) teknolojisi, İç Hava Kalitesi analizlerinde CO₂ ölçümünün en yaygın yöntemidir. NDIR sensörü: Kızılötesi (IR) Lambası, Gaz Numune Odası, Dalga Boyu Filtresi ve bir IR Detektöründen oluşur.

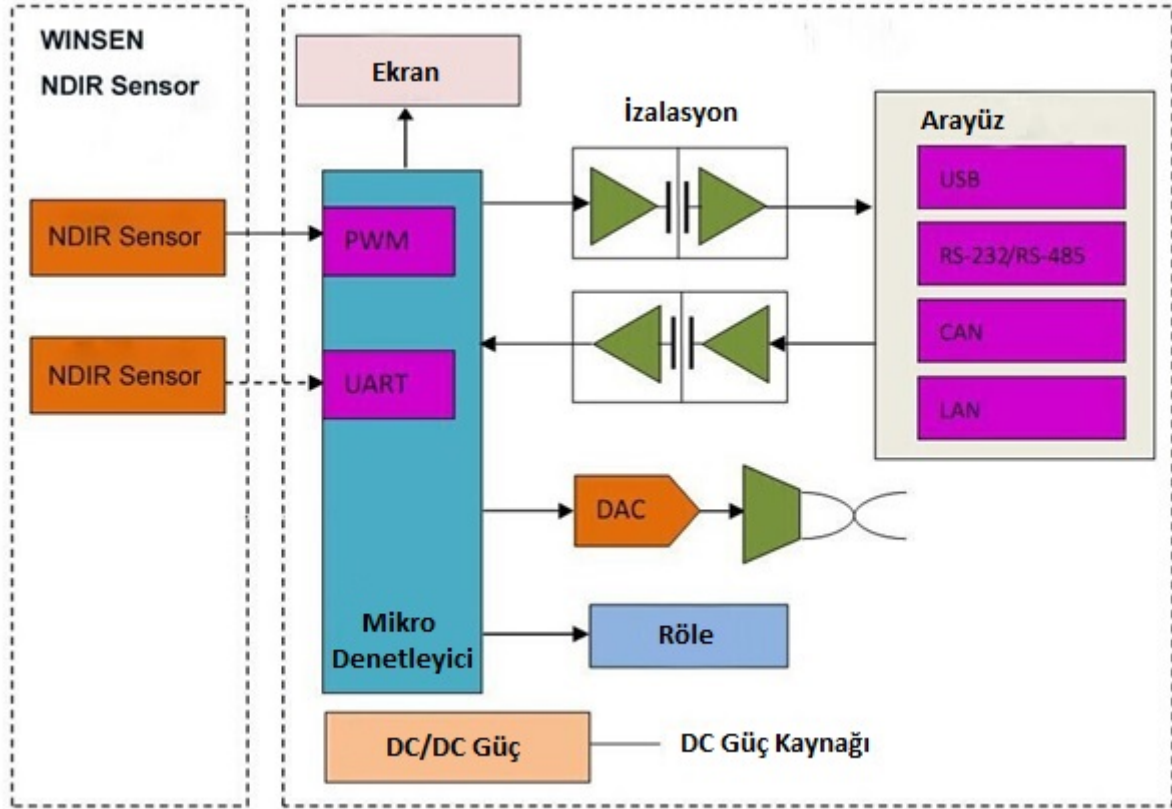
NDIR sensörleri ışığın bileşen renklerine veya enerjilerine dağılmasına ilişkin spektroskopi kullanarak çalışır. Bunun bir örneği, geniş bir dalga boyu aralığından (~ 390nm-700nm) oluşan, Görünür Spektrumdaki ışıktır (ışık insanları görebilir). Tüm bu dalga boyları mevcut olduğunda, ışık insan gözünde beyaz görünür. Ancak, görünür beyaz ışık yağmur veya prizma ile kırıldığında, beyaz ışık, her biri belirli bir dalga boyuna sahip enerjinin (örneğin menekşe-400nm, kırmızı -650nm) olduğu gökkuşağının her rengine bölünür. Beyaz ışık, vitray bir pencere veya güneş gözlüğü gibi bir filtreden geçtiğinde, gördüğümüz ışığın rengini değiştiren bir miktar dalga boyu ışık emilir veya yeniden yönlendirilir (E-Instrument Technical note #AQ-14-624).

Benzer şekilde, bir NDIR sensörü, bir IR lambasının, bir odanın diğer ucundaki IR detektörü tarafından ölçülen, geniş bir enerji spektrumu (~ 900nm-100,000nm) içeren bir IR ışık yayması için spektroskopi yoluyla çalışır. Gaz Numune Odasına gaz numunesi pompalandığında, CO₂ gibi bazı gazlar IR spektrumunda belirli bir enerji dalga boyunu emen bir filtre görevi görür. Bu durum Şekil 1.'de gösterildiği gibidir. Örnekteki diğer gazlar, bu IR ışığın dalga boyunu emmez. CO₂ ölçen bir NDIR sensöründe, IR Detektörünün hemen önüne yerleştirilen bir Dalga Boyu Filtresi sadece CO₂ tarafından absorbe edilen IR enerjisinin dalga boyunun geçmesine izin verir. IR Detektörü, numuneden geçtikten sonra, bu IR ışığın dalga boyunun konsantrasyonunu ölçer. Gaz numunesindeki CO₂ miktarı ile hedef enerji seviyesinde tespit edilen IR ışığı miktarı arasında ters bir ilişki vardır. Odada CO₂ olmadığında, IR ışığının tümü detektöre ulaşacaktır. Gaz örneğindeki CO₂ konsantrasyonu arttıkça, bu enerjide IR Işığı ve IR Detektörü tarafından tespit edilen IR ışığı o kadar az olur. Bu enerji ölçümünü kullanarak, sensör gaz örneğindeki CO₂ konsantrasyonunu milyonda bir birim (ppm) cinsinden hesaplar (E-Instrument Technical note #AQ-14-624).



Şekil 1. NDIR Sensörde IR Işıklarının CO₂ Molekülleri Tarafından Emilimi (E-Instrument Technical note #AQ-14-624)

Bu çalışmada kullanılan sensörün teknik dokümanında ön ısıtma süresi 180sn olarak verilmiştir. Tepki süresi T90 < 60sn'dir. Bu çalışmada sensör bu ve teknik dokümanda yer alan diğer kriterler dikkate alınarak kullanılmıştır. Sensör iki türlü kalibrasyon özelliğine sahiptir; bunlar zero ve span point kalibrasyonlarıdır. Sensöre ait uygulama devresi Şekil 2.'de görülmektedir.



Şekil 2. CO₂ Sensörü Uygulama Devresi (Winsen, Teknik Doküman MH-Z19)

İç ortam ölçümlerinde meydana gelen farklılıklar ısınma veya soğutma şekli, ortam koşulları ile farklılıklar göstermektedir. İç ortam havasında CO₂'in kabul edilebilirlik sınır değeri 1000 ppm olarak belirlenmiştir. 1000 ppm sınır değerinin üzerindeki her değer insanların yaşam kalitesine ve sağlığına olumsuz etkilerde bulunmaktadır. Tasarladığımız CO₂ ölçüm cihazı Şekil 3.'de gösterilmiştir.

Çalışmanın Yapıldığı Yerler

Bu çalışmada, Hilvan ilçe merkezinde 3 farklı mahallede ölçümler yapılmıştır. Isınma-soğutma, sosyal yapı gibi özelliklere göre kişi sayısı birbirinden farklı 3 konut, 4 adet işyeri ve 3 adet kamu kuruluşunda CO₂ ölçümleri yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre;

- Yapı malzemeleri,
- Kişi sayısı ve kişisel aktiviteler,
- Mevcut iç ortam hacmi,
- Havalandırma süresi,
- Trafik yoğunluğu,

Ortamın ısıtma sistemi gibi özelliklere bağlı olarak yapılan ölçümler iç ortam karbondioksit değerlerini ve bu değer aralıklarında kişilere etkileri belirlenmiştir.



Şekil 3. CO₂ Ölçüm Cihazı

Karbondioksit konsantrasyonlarının farklı mevsimlere göre değişimlerini belirleyebilmek için ölçümler ve çalışmalar 26.12.2018 – 10.03.2019 (kış) ve 20.04.2019- 15.06.2019 (ilkbahar) tarihleri aralığında olarak farklı mevsimlerde yapılmıştır.

Cihaz açıldıktan sonra ölçümlerin doğruluğunu test edebilmek amacıyla, öncelikle dış ortamda ölçüm yapılmıştır. Ardından iç ortamda belirlenen aralıklarla ve iç ortamın özellikleri hangi zaman diliminde ne kadar sürelik ölçüm yapıldığı kaydedilerek (ısıtma kaynağı, kişi sayısı vs.) ölçümler gerçekleştirilmiştir.

TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Ölçümler, Aralık 2018 – Haziran 2019 tarihleri arası Şanlıurfa/Hilvan merkezde bulunan 3 konutta, 4 işyeri ve 3 kamu kuruluşunda yapılmıştır. Tüm örnekleme bölgeleri herhangi bir merkezi ısıtma sistemi ile ısıtmakta ve doğal havalandırma ile havalandırılmaktadırlar.

Konutlarda ve işyerinde kış ve ilkbahar mevsiminde ölçümler alınmıştır. Konutlarda, ölçümler oturanların hepsinin bir arada olduğu akşam saatlerinde kış boyunca her ay farklı günlerde alınmıştır. Kamu kuruluşlarında mesainin devam ettiği dönemlerde ölçümler alınmıştır. Tüm ölçümler örnekleme noktalarının farklı bölgelerinde nefes alma yüksekliklerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3'te sırasıyla konut, ofis ve iş yerlerinde alınan iç hava kalitesi ölçümlerin mevsimlere göre ortalama, maksimum ve minimum değerleri verilmiştir. Tablodan ortalamalarda en büyük CO₂ miktarı kişi yoğunluğundan dolayı işyerlerinde ölçülmüştür. İç ortam CO₂ miktarının dış ortam CO₂ miktarına oranı için istatistiksel değerler tüm mahaller göz önüne alınarak verilmiştir.

İşyerleri ve kamu binalarında pencereler PVC ve çift camlı olması hava infiltrasyonunu önemli derecede düşürmektedir. Ancak Tablo 1.'den sızıntı yoluyla içeri giren dış hava miktarının havalandırma ve iç hava kalitesi açısından yeterli olmadığı görülmektedir. Bu durum iç ortamdaki kirletici derişimlerini de istenen seviyelere düşürememektedir. Tablo 1.'den CO₂ miktarlarının havalandırmanın yetersizliği sebebiyle yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 1. İç Konutlar, İş Yerleri ve Kamu Binalarının Mevsimlere Göre CO₂ Değerleri

	İlkbahar Dönemi CO ₂ (ppm)			Kış Dönemi CO ₂ ppm		
	Ort.	Maksimum	Minimum	Ort.	Maksimum	Minimum
Konutlar	624	922	326	799	952	645
Kamu binaları	799	1108	490	784	1028	540
İş yerleri	871	1140	602	862	1045	678

SONUÇLAR

Farklı iç ortamlarda CO₂ miktarları ölçülerek, CO₂ miktarları incelenmiştir. İç ortam CO₂ miktarları üzerinde, yapı ve ortamdaki malzemelerin, kişi sayısının ve yapının kullanım şeklinin etkili olduğu görülmüştür. Ölçülen CO₂ miktarının kabul edilebilir iç hava kalitesi için ASHRAE tarafından önerilen 1000 ppm değerini zaman zaman aştığı ve insan sayısına bağlı olduğu görülmüştür.

Konut, işyerleri ve ofislerde iç hava kalitesi ölçümleri alınarak, CO₂ miktarının diğer parametrelerle ilişkisi incelenmiştir. CO₂ miktarı ile kişi sayısı arasında pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir. CO₂ miktarının havalandırma için yeterli bir parametre olduğu görülmüştür. CO₂ miktarına göre havalandırma miktarları belirlenmiş ve CO₂ miktarına göre havalandırma yapıldığında enerji tasarrufu sağlanacağı görülmüştür. Doğal havalandırmanın tek başına iç hava kalitesini sağlamadığı görülmüştür. Konutlarda ahşap pencerelerde hava infiltrasyon miktarının göreceli olarak yüksek olduğu fakat iç hava kalitesi açısından yeterli olmadığı tespit edilmiştir. İşyeri ve ofislerde bulunan çift camlı PVC pencerelerin sıkı olması hava sızıntısının engellemesi açısından iyi olduğu ancak temiz hava sağlamak açısından iyi olmadığı görülmüştür. Hastane ve okulların mutlak şekilde temiz hava ile beslenmesi gerekir. Okullarda, havalandırmanın CO₂ miktarına göre yapılması enerji verimliliği açısından daha uygun olacaktır.

İnsan sayısının değişiklik gösterdiği okul, ofis, hastane ve banka gibi mahallerde en az enerji harcanarak ısı konfor ve iç hava kalitesi, CO₂ ölçümüne göre çalışan ihtiyaca dayalı havalandırma sistemleri kullanılarak sağlanabilir. Klasik havalandırma sistemi, enerji israfına ve kaynakların boşuna harcanmasına neden olabilir.

Sonuç enerji verimliliği açısından CO₂ kontrollü ihtiyaca dayalı havalandırma sistemlerinin kullanılması daha uygundur. Ayrıca havalandırma sisteminde filtrasyonun yani hava temizliğinin iyi yapılması gerekmektedir. İnsan yoğunluklu iç ortamlarda kirletici kaynağı olabilecek halı ve mobilyadan kaçınılmalıdır. Fotokopi ve yazıcı gibi özel amaçlı makine veya cihazlar için ayrı ortamlar olmalıdır. İnsan hareketliliğinden dolayı tekrar ortamda uçuşmaması için yere çökelmiş tozların alınması açısından iç ortamlarda bulunan yerler sürekli temizlenmelidir. Merkezi havalandırma sistemlerinin olmadığı yerlerde kirli havanın aspiratörlerle dışarı atılması gerekir. Eğer havalandırma ve iklimlendirme cihaz veya sistemleri varsa bakımlarının periyodik olarak yapılması gerekir. Çünkü bakımı yapılmayan sistemler iç ortam CO₂ konsantrasyonu açısından kirlilik kaynağı olabilmektedirler. Özellikle filtrelerin bakımı veya değişimi bu tür sitemlerde aksatılmamalıdır. Örneğin; partikül madde kirleticilerinin genelde iç kaynaklı olduğu görülmüştür. Sigara içilen ofislerde CO₂ ve PM miktarının, sigara içilmeyen ofislerdeki değerlerden ve standartlarda belirtilen sınırlardan çok büyük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Sigara içilmeyen ofislerdeki kirletici miktarların standartlarda belirtilen sınır değerlerin altında kaldığı gözlenmiştir. Sigara içildikten sonraki zamanlarda ölçüm alınmasına rağmen değerlerin çok yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum kışın pencere ve kapıların kapalı olması nedeniyle içerideki kirleticilerin iç ortamın havasında uzun süre kaldıklarını göstermektedir. Ofis binalarında sigara içme odaları tesis edilmelidir

İç kirleticilerin konsantrasyon değerleri, dışardan temiz hava verilerek ve kirlenen iç hava dışarı egzoz edilerek düşürülebilir. Havalandırma sisteminde temiz hava ve atık hava kanalları olmalıdır. Dış hava kalitesi istenen

değerlerde değilse çeşitli filtrelerden geçirilmesi gerekir. Enerji tasarrufu ve verimliliği açısından atık havanın enerjisinden ısı geri kazanım cihazları kullanılarak yararlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Altun S.H., İç ortam hava kirliliğinin doğurabileceği sağlık etkileri, On dokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 2015.

Bulut, H., Havalandırma ve iç hava kalitesi açısından CO2 miktarının analizi, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2011, İzmir.

Bulut, H., İklim 2007- II. Ulusal İklimlendirme Kongresi Bildiriler Kitabı, Isıtma sezonunda ofislerde iç hava kalitesinin araştırılması.

Çilingiroğlu, S., İç hava kalitesi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2010.

E Instrument, Technical note #AQ-14-624 URL: <https://www.e-inst.com/wp-content/uploads/2018/04/AQ-14-624-Technical-Note-CO2-NDIR.pdf>

EPA Indoor Air Quality, 2018 URL: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>

Gönüllü, M.T., Bayhan, H., Avşar, Y., Arslankaya, E., YTÜ Şevket Sabancı Kütüphane Binası iç ortam havasındaki partiküllerin incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2002.

Güllü, G., İlköğretim okullarında iç ortam hava kalitesi ve sağlık etkileşimi, Tesisat Mühendisliği, Mart-Nisan 2016.

Işık, E., Çibuk, S., Yemekhaneler ve kantinlerde iç hava kalitesi ile ilgili ölçüm sonuçları ve analizi -Tunceli Üniversitesi örneği, Tunceli Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2015.

Karataş, B., İç ve dış hava ortamlarında partiküler madde (PM10, PM2.5, ve PM1) konsantrasyonlarının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi (2015).

Okullarda aydınlatma ve görsel konfor, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ocak 2015.

Vural, S.M, Balanlı, A., Yapı ürünü kaynaklı iç ortam hava kirliliği ve risk değerlendirme ön araştırma, YTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 1, Sayı 1, 2005.

Winsen CO2 Sensörü, Teknik doküman MH-Z19 URL: <https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Infrared%20Gas%20Sensor/NDIR%20CO2%20SENSOR/MH-19%20CO2%20Ver1.0.pdf>