



İç Ortam Kalitesinin Önemi Üzerine Bir Araştırma

A Study on Indoor Environmental Quality

Ülger BULUT KARACA¹ 

öz

Günümüzde insanlar zamanlarının büyük bölümünü konut, ofis, okul gibi kapalı mekânda geçirmektedir. Son yıllarda yaygın olarak görülen hasta bina sendromu, bina kaynaklı hastalıklar, okullarda öğrenim performansının ve ofis ortamlarında çalışanların verimliliklerinin azalması gibi sağlık ve verimlilik sorunları iç ortam kalitesi ile ilişkilendirilmektedir. Bu çalışmada iç ortam kalitesi ve sürdürülebilir bina kavramları ilişkilendirilerek, insan sağlığı ve verimliliği konularında iç ortam kalitesinin (iok) önemine dikkat çekmek amaçlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında iok'ni belirleyen parametrelerden aktif olarak ölçülebilen ve kontrol edilebilen ısı konfor, iç hava kalitesi, aydınlatma ve görsel konfor, akustik konfor ele alınmıştır. İok ile ilgili standart ve literatür taraması ile elde edilen bulgular sonucunda bu parametrelerin tanımları, kullanıcı üzerindeki etkileri, ölçülme yöntemleri ve yeşil bina sertifikasyon sistemleri ile ilişkileri ele alınmıştır. Sonuçta, iok'nin çalışmada ele alınan temel parametrelerinin, bina kullanıcılarının sağlığı ve üretkenliği ile ilişkili olduğu; dikkate alınmasında önemli sağlık ve finansal yararlar olduğu; iç ortamdaki fiziksel koşulların, uygun tasarım ve bina işletim sistemleri ile karşılanabileceği, yeşil bina sertifika sistemlerinin binalarda iok'nin gelişimine katkı sağladığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İç Ortam Kalitesi, Kullanıcı Sağlığı, Kullanıcıların Verimliliği, Yeşil Bina Sertifikaları, İç Ortam Kalitesi Ölçümü

ABSTRACT

Today, people spend most of their time indoors such as home, office and school. Health and productivity problems such as sick building syndrome, building-related illness, decreased learning performance in schools and the productivity of employees in office environments, and these have been common in recent years, are associated with indoor quality. This study aims to draw attention to the importance of indoor environment quality (ieq) in terms of human health and productivity by associating the concepts of indoor environment quality and sustainable building. Within the scope of this study, thermal comfort, indoor air quality, lighting and visual comfort, and acoustic comfort, which can be actively measured and controlled, are discussed. The definitions of these parameters, their effects on the user, their measurement methods and their relations with sustainable building certificates are discussed with the help of findings obtained from the standards and literature review related to the ieq. In conclusion, the basic parameters of the ieq considered in the study are related to the health and productivity of the building users. There are significant health and financial benefits to consider. It has been concluded that the physical conditions in the indoor environment can be met with appropriate design and building operating systems, and that green building certification systems contribute to the development of ieq in buildings.

Keywords: Indoor Environmental Quality, Occupants' Health, Occupants' Productivity, Green Guides, Indoor Environmental Quality Measurement

¹ **Corresponding Author:** İstanbul AREL Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Kemal Gözükara Yerleşkesi, Büyükçekmece, İstanbul, ulgerbulut@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8676-9106>



GİRİŞ:

Yaşama, dinlenme, çalışma, ulaşım gibi faaliyetleri göz önünde bulundurularak, günümüzde insanların zamanlarının yaklaşık %90'ını kapalı mekânlarda geçirdiği bilgisi güncel birçok araştırmada ortaya konulmuştur (WHO, 1984; Frontczak ve Wargocki, 2011; Sarbu ve Sebarchievici, 2013). İnsan yaşamında bu kadar yer tutan kapalı mekânların ortam kalitesini belirleyen parametreleri tanımak; bu parametrelerin birbirleri ve insanların sağlığı, verimliliği üzerindeki etkilerini anlamak büyük önem taşımaktadır. Günümüzde iç ortam kalitesi (iok) endüstrileşmiş ülkeler için önemli sağlık konularından biri olarak kabul edilmektedir. Öyle ki, son yıllarda yaygın olarak görülen “Hasta Bina Sendromu” (Sick Building Syndrome-SBS), bina kaynaklı hastalıklar, okullarda öğrenim performansının ve ofis ortamlarında çalışanların verimliliklerinin azalması gibi sağlık ve verimlilik sorunları iç ortam kalitesi ile ilişkilendirilmektedir.

Hasta Bina Sendromu, bina içinde “havalandırmanın yetersiz olması, dış çevreden gelen kirleticiler, bina içinden kaynaklı kirleticiler, bina yapımında kullanılan inşaat malzemeleri, yetersiz ışık, uygun olmayan nem ve sıcaklık, kokular, ses ve elektromanyetik kirlilik” (Demirarslan ve Başak, 2018) nedenleriyle ortaya çıkmaktadır. Hasta bina sendromu, uyku problemi, dikkat dağınıklığı, yorgunluk, baş ağrısı, depresyon, uyuşukluk, konsantrasyon eksikliği, tat ve koku alma eksikliği, solunum yollarında ve/veya gözlerde tahriş (Obi, 2015) gibi şikayetlere neden olmaktadır.

İok'nin işgücü performansı ve üretkenliği üzerinde büyük bir etkisi olduğuna dair görüşler mevcuttur. Sağlık sorunları veya kendilerini tam üretkenlikten uzaklaştıran diğer olaylar nedeniyle verimliliği düşerken işe devam eden çalışanlar için, "işte var olmama sorunu" (presenteeism) terimi ortaya çıkmıştır (Turpin vd., 2004). İşçi verimliliğinin azalması ve yalnızca yetersiz temiz hava kaynağının neden olduğu hastalıklar nedeniyle İngiltere'de devletin yaklaşık olarak 15 milyar Sterlin, Amerika Birleşik Devletleri'nde ise 38 milyar dolar kaybettiği tahmin edilmektedir (Mujan vd., 2019).

Evans ve Stecker (2004) yaptıkları çalışmada, gürültü, kalabalık veya hava kirliliği gibi çevresel stres faktörlerine hem şiddetli hem de sürekli maruz kalmanın yetişkinlerde olduğu kadar çocuklarda da “öğrenilmiş çaresizlik sendromu”na neden olabileceği sonucuna varmışlardır. Annesi-Maesano ve diğ. (2013) tarafından okullarda iç ortam hava kalitesi konusunda yapılan çalışmanın sonuçları, iç hava kalitesinin sağlık (özellikle solunum sağlığı) ve bilişsel performans üzerine etkilerini ortaya koymuştur. Ayrıca, yetersiz iç hava kalitesinin öğrencilerin okula devamsızlığı (Mendell vd., 2013), (Simons vd., 2010) ve okul performansı (Bakó-Biró vd., 2012), (Haverinen-Shaughnessy vd., 2011) üzerindeki olumsuz etkilerine dair çalışmalar mevcuttur.

Binalarda tüketilen enerji miktarı, kullanıcılar için uygun iç ortam koşullarının sağlanması ve bina işletimi gibi etkenlere bağlıdır. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, işveren, bina sahibi ve bir bütün olarak toplum için yetersiz iç ortam koşullarından kaynaklanan maliyetlerin genellikle aynı binada kullanılan enerjinin maliyetinden oldukça yüksek olduğunu göstermiştir (Olesen, 2012).

İok, yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin değerlendirme ölçütlerinden biridir. Bu nedenle çalışma kapsamında yeşil bina sertifikası almış olan binalarda iok'nin yeterliliği ve kullanıcıların iok memnuniyetleri de ele alınmıştır.

Türkçe literatürde iok kavramları ve önemi üzerine kısıtlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışma ile ayrıca, iok kavramları ve önemi üzerine Türkçe literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır.

İok terimi, bir bina içindeki insan yaşamını etkileyen çeşitli parametreleri olan bir uzmanlık alanını temsil eder. Bu parametreler, “iç mekân hava kalitesi, aydınlatma, termal konfor, akustik, içme suyu, ergonomi, elektromanyetik radyasyon ve ilgili birçok faktörü içerir” (Almeida vd., 2015). Ancak, bu

çalışma kapsamında iok'ni belirleyen parametrelerden aktif olarak ölçülebilen ve kontrol edilebilen ısı konfor, iç hava kalitesi, aydınlatma ve görsel konfor, akustik konfor ele alınmıştır.

Çalışma, yöntemin açıklanması, iok'ni belirleyen parametrelerin tanımlanması ve bu parametrelerin kullanıcı sağlığı-verimliliği ile ilişkilendirilmesi, yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin iok ile ilişkilendirilmesi ve elde edilen bulguların tartışılması şeklinde yapılandırılmıştır.

1. Yöntem

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde yöntem olarak iok konusunda hazırlanmış araştırma makaleleri, tez çalışmaları, standart ve kılavuzlar taranarak literatür araştırması yapılmıştır.

Çalışmanın yapılandırılmasından sonra, öncelikle temel kavramlar tanımlanmaya çalışılmıştır. Bu kavramlara dair geniş bir literatür taraması yapılarak bilgiler toplanmıştır. Elde edilen bilgiler, iok parametrelerinin tanımı, kullanıcı sağlığı ve verimliliğine etkileri, yeşil bina sertifikaları ile ilişkileri şeklinde gruplandırılmıştır.

2. İç Ortam Kalitesi

Bu çalışmadaki “iç ortam kalitesi” ifadesi, İngilizce literatürdeki “indoor environmental quality (ieq)” kavramına karşılık kullanılmış olup, aynı kavram için Türkçe’de ayrıca “iç çevre kalitesi” (TMMOB, 2015), (Yurdakul vd., 2019) ve “iç mekân kalitesi”(Orhan ve Kaya, 2016), “iç mekân konfor koşulları” (Şenkal Sezer, 2016) ifadeleri de kullanılmaktadır.

ASHRAE TC 1.6'ya (Terminoloji) göre iç ortam kalitesi, enerji verimli, sağlıklı ve konforlu binaların tasarımı, analizi ve işletilmesi yönlerini içeren bina iç ortamı hakkında algılanan bir iç mekân deneyimidir. İç ortam kalitesi ile ilgili uzmanlık alanları mimari, HVAC (Heating Ventilating and Air Conditioning: ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) tasarımı, ısı konfor, iç hava kalitesi, aydınlatma, akustik ve kontrol sistemlerini içerir (URL-1).

İok unsurları, hem tasarımla ilgili kararlar yoluyla hem de binanın işletiminde enerji tüketimi üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir (Olesen, 2012). Bu nedenle, enerji sıkıntısının yaşandığı günümüzde verimlilik önlemleri artırıldığından, yüksek iok sağlamak için tüm bina düzeyinde iok performansının değerlendirilmesi önemlidir.

Binaların iok değerlendirmesi, kullanım sonrası değerlendirmeler (Post Occupancy Evaluation-POE) ve araçlar ile ölçüm olarak iki yöntem ile belirlenmektedir (Heinzerling vd., 2013). Araçlar ile ölçme sonucunda elde edilen nesnel iok verileri, kullanıcılardan sağlanan öznel nitelikteki kullanım sonrası değerlendirme ile birlikte yorumlanır. Elde edilen iok verileri (Analitik Hiyerarşi Süreci, Spearman'ın Sıralama Korelasyon Katsayısı, Çok Değişkenli Lojistik Regresyon Analizi gibi) matematiksel modeller ile ya da (SPSS, Yapısal Eşitlik Modeli gibi) yazılımlar ile değerlendirilir.

Aşağıda, ısı konfor, iç hava kalitesi, aydınlatma ve görsel konfor, akustik konfor parametrelerinin tanımları, kullanıcı sağlığı ve verimliliğine etkileri, değerlendirme yöntemleri ve ilgili standartların bir özeti yer almaktadır.

2.1. Isıl Konfor

Isıl konfor, “bir ortamdaki duyulan ısı memnuniyeti ifade eder ve his ve duygular ile ilgili bir kavramdır” (Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2002); üretkenlikte önemli bir rol oynar. 21-25 °C'lik sabit sıcaklık, çalışmak ve yaşamak için binada en iyi sıcaklık aralığıdır. Bu sıcaklık aralığının üst değerinin her 1°C fazlası için verimliliğin %2 oranında azaldığı belirtilmektedir (CIBSE, 2013; Seppänen ve Fisk, 2006). Farklı kullanıcılar için geçerli olabilecek bir ısı konfor belirlemek güçtür. Isıl konfor yaş, cinsiyet,

metabolizma gibi faktörlerden etkilendiği için hem bireysel hem de coğrafi karaktere sahiptir (Quang vd., 2014). Örneğin, kadınlar, kontrollü (iklimlendirilen) iç ortamlarda ısı konfordaki değişimlere karşı daha hassas olmalarından dolayı, erkeklere göre daha fazla konforsuzluk hissetmektedir (ASHRAE, 2017b). Isıl konfor kabul edilebilir sınırlardan kullanıcının tercih ettiği noktaya geldiğinde, kullanıcı verimliliğinin arttığı gözlemlenmiştir (De Dear vd., 2013).

Isıl konfor konusunda Avrupa’da ISO 7730 standardı, Amerika Birleşik Devletleri’nde ise ASHRAE 55 standardı yaygın olarak kabul görmektedir. Isıl konfor; kuru termometre hava sıcaklığı, havanın bağıl nemi, hava hızı, ortalama ışınımsal (radyant) sıcaklık, insan metabolizması ve giysilerin ısı direnci olarak altı parametreden etkilenir (ASHRAE, 2017a, 2017b). Benzer şekilde ISO 7730 (1994)’da ısı ortam dört fiziksel değişkenin (hava sıcaklığı, ortalama ışınımsal sıcaklık, hava hızı ve bağıl nem) ve insanlarla ilgili iki değişkenin (aktivite düzeyi ve giysi ısı direnci) bir fonksiyonu olarak tanımlanır. Hava sıcaklığı, mekân kullanıcısının vücudunun çevresindeki kuru termometre ile ölçülen sıcaklığı verir. Ortalama ışınımsal sıcaklık, “insan ile çevre yüzeyler arasında ışıma (radyasyon) yoluyla oluşan ısı transferini belirlemek üzere, çevre yüzeylerin sıcaklıklarının birleşik etkisini ifade eden bir sıcaklıktır” (Koyun, 2016); siyah küresel termometre ile ölçümü yapılabilir. Hava hızı, herhangi bir yüzeyle hava arasındaki ısı taşınımı katsayısını etkilediğinden, insanla çevresi arasında taşınım yoluyla oluşan ısı transferi miktarını etkileyen önemli bir çevresel değişkendir (Koyun, 2016); anemometre ile ölçülür. Bağıl nem, “insanın cildinden çevreye olan su buharı difüzyonu, ter buharlaşması ile vücuttan kaybedilen ısı miktarlarını etkileyen bir çevresel değişkendir” (Koyun, 2016); higrometre ile ölçülür. Aktivite düzeyi, insan vücudunun alınan besinleri oksijenle yakması sonucu birim zamanda ürettiği enerji miktarını (metabolizma düzeyini) etkileyen bir değişkendir. Giysi ısı direnci, insan ile bulunduğu ortam arasındaki ısı transferi miktarını etkileyen bir değişkendir.

Fanger, 1970’li yıllarda bir iç ortamın ısı konfor düzeyini belirlemek amacıyla, ısı konfora etkileyen kişisel ve çevresel faktörlerin birleşenleri ile matematiksel bir model geliştirmiştir. Bu modelde, kullanım sonrası değerlendirme anketleri aracılığıyla kullanıcıların ısı duyuları soğuktan sığağa yedi puanlık bir ölçekte değerlendirilir.

Böylece, bir grup insanın ortalama ısı duyumu ve ısı koşullardan ortalama memnuniyeti “tahmin edilen ortalama oy” (predicted mean vote: PMV) ve “tahmin edilen memnuniyetsizlik yüzdesi” (predicted percentage dissatisfied: PPD) indeksleri ile belirlenir. Hesaplanan PMV değerinin kullanıcı üzerinde uyandırdığı his, Tablo-1’de yer alan duyum skalası ile tanımlanmıştır.

Tablo-1: Isıl duyum skalası (Ekici, 2013)

PMV Değeri	Anlam	Yorum
3	Aşırı sıcak	Bunaltıcı ve tolere edilemez
2	Sıcak	Çok sıcak
1	Hafif sıcak	Tolere edilebilir, sıcak
0	Nötr	Konforlu
-1	Hafif serin	Tolere edilebilir, serin
-2	Serin	Çok serin
-3	soğuk	Tolere edilemez, soğuk

ASHRAE 55 (2017a), standardı, iç ortam ısı koşullarının gereksinimlerini ayarlamak için PMV modelini kullanır. Bu standartta ısı açıdan homojen bir ortamın konforlu sayılabilmesi için, o ortamda bulunan kullanıcıların %90’ının ısı ortamdan memnun olması şartını belirtmiştir. ISO 7730 ise konforlu bir ortam için PMV değerlerinin ± 0.5 değerleri arasında kalmasını önermektedir. Bu değer, ortamda bulunan memnuniyetsiz kişilerin oranının %10’u aşmaması anlamına gelmektedir (Ekici, 2013). Fanger’in PMV metodu ASREA ve ISO tarafından kabul görüp desteklenmesine karşın, bu model merkezi olarak kontrol edilen HVAC sistemlerine sahip binalar için tasarlanmıştır.

De Dear ve Brager (1998) tarafından yapılan araştırmalar, doğal olarak havalandırılan binalardaki kullanıcıların merkezi HVAC sistemlerine sahip binalardaki kullanıcılara göre daha geniş bir sıcaklık aralığına toleranslı olduğunu göstermiştir. Bunun sonucunda de Dear ve Brager binalarda ısı konfor düzeyini belirlemek amacıyla “uyarlanabilir kabul modeli”ni geliştirmiştir.

PMV/PPD modeli ve uyarlanabilir kabul modeli, büyük bir kullanıcı grubu için ortalama konfor seviyelerini tahmin etmek üzere tasarlanmıştır, ancak az sayıda kullanıcı için geçerli olmayabilir (Talon ve Goldstein, 2015). Isıl konfor alanındaki yeni yaklaşım ise, “kişisel konfor modeli”dir. Kişisel konfor modeli, büyük bir örneğin ortalama tepkisinden ziyade bireyin ısı konfor tepkisini tahmine dayalı bir modeldir (Kim vd., 2018). Kişisel konfor modelinde makine öğrenimi (derin öğrenme) kullanılması, sensörlerden (algılayıcılardan) toplanan veri türlerinin işlenmesi ve kullanıcı tepkilerinin çeşitlendirilmesi sayesinde %40'a varan hatasız veri elde edilmiştir (Kim vd., 2018).

Kişisel konfor modelinde bina kullanıcılarının ısı konforunu tahmin etmek için PMV/PPD modelinin ve uyarlanabilir kabul modelinin dahil edemediği vücut kitle indeksi, cinsiyete göre ısı konfor farklılığı gibi etkin parametreler de etkilidir. Bina kullanıcılarından gelen geri bildirimler yaygın makine öğrenme algoritmaları, sinir ağları, Bayes ağı, bulanık kurallar, mantıksal regresyon gibi (Ari vd., 2008; Bermejo vd., 2012; Choi ve Yeom, 2019; Mujan vd., 2019) yöntemler kullanılarak farklı kişisel konfor modelleri oluşturulur.

2.2. İç Hava Kalitesi

İç hava kalitesi (ihk), binalardaki hava kalitesinin bir göstergesidir ve konut binalarındaki yaşam kalitesi ile ofis ve kamu binalarındaki üretkenlik üzerinde çok güçlü bir etkiye sahiptir (Olesen, 2005).

İhk, karbon monoksit, karbon dioksit, nitrojen dioksit, kükürt dioksit, uçucu organik bileşikler, bağıl nem, sıcaklık, oksijen, ozon, amonyak, hava hızı, formaldehit ve partikül kirliliği seviyelerinin ölçümü ile belirlenir. Farklı ülke ve bölgelerdeki standartlara göre ihk'ni etkileyen değişkenler ve maruz kalınmasına izin verilen bu değişkenlerin sınır değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Bu parametreler ayrıca binanın dışındaki hava kirliliğinden, binanın ısı ve su yalıtımlarından, HVAC sisteminden (Isıtma havalandırma ve iklimlendirme), mekânsal düzenden, iş ve yaşam süreçlerinden de etkilenir.

İhk'ni belirleyen değişkenler farklı kullanıcılar tarafından farklı düzeylerde algılanabildiği için ASHRAE 62.1-2010 standardında “kabul edilebilir iç hava kalitesi” tanımı yapılmıştır. Bu tanıma göre kabul edilebilir iç hava kalitesi, içinde bilinen kirleticilerin, yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı konsantrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve bu hava içerisinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranının havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir memnuniyetsizlik hissetmediği havadır (Aslan, 1997). İHK gereksinimlerini sağlayan standartların çoğu, hava kalitesinden memnun olmayan kişilerin minimum yüzdesini sağlayacak koşulları tanımlar (Frontczak ve Wargocki, 2011).

Bina içi hava kalitesi ve havalandırmayı değerlendirmek için Amerikan Test ve Malzemeler Birliği standart rehberinde (ASTM D6245) kişilerin oluşturduğu CO_2 indikatör kirletici olarak kullanılabilir denilmektedir (Öztürk vd., 2013). Kapalı bir ortamdaki kullanıcıların ana CO_2 kaynağı olduklarını söylemek mümkündür. Çünkü “normal bir iş ile uğraşan bir insan saate 20 litre ($0.02 m^3$) CO_2 üretir” (Bulut, 2012; Schramek, 1999). İç ortamda havalandırma yoksa ya da yetersiz ise, kişi sayısı arttıkça CO_2 konsantrasyonu da artar. Myhrvold ve arkadaşları (1996) yaptıkları çalışmada, dersliklerde CO_2 değerinin 1500 ppm üzerine çıktığında çocukların sağlık ve performanslarının olumsuz etkilendiğini belirlemiştir.

Tablo 2: İhk'ni etkileyen değişkenler, farklı ülke ve bölgelerde maruz kalınmasına izin verilen bu değişkenlerin sınır değerleri (Mujan vd., 2019)

Parametre	Bölge	ABD		Avrupa			Çin	Japonya	
		Hava sıcaklığı	Sınır değerler	22,5-26 °C yaz mevsiminde; 20,0-23,5 °C kış mevsiminde		22-27 °C yaz mevsiminde; 20-23 °C kış mevsiminde			22-28 °C yaz mevsiminde; 16-24 °C kış mevsiminde
Bağıl nem	Referans sınır aralığı	ANSI/ASRAE %40-%60 yaz mevsiminde; %30-%60 kış mevsiminde		WHO %25-%45			AQSIQ %40-%80 yaz mevsiminde; %30-%60 kış mevsiminde	MHLW 8 saate kadar %40-%70	
Hava hızı	Referans sınır aralığı	ANSI/ASRAE 0,25 m/sn		WHO 0,25 m/sn			AQSIQ 0,3 m/sn yaz mevsiminde; 0,2 m/sn kış mevsiminde	MHLW 0,5 m/sn	
Havalandırma (dış hava) karbon dioksit	Tavsiye edilen Referans sınır aralığı	mekânın türüne ve amacına bağlı olarak alana veya kişi sayısına göre.							
		8 saat 5000 ppm	dış çevre <700 ppm (1800 mg/m ³) üzeri	1 saat 10.000 ppm	8 saat 5000 ppm	24 saat 1000 ppm	24 saat 1000 ppm	24 saat 1000 ppm	
karbon monoksit	Referans sınır aralığı	ASRAE / ACGIH			WHO / MAK		AQSIQ	MHLW	
		1 saat; 35ppm	8saat; 9ppm	mak. 200 ppm	30 dk 60 ppm	8 saat 30 ppm	1 saat 10 mg/m ³	1 saat 20 ppm 24 saat 10 ppm	
formaldehit	Referans sınır aralığı	ASRAE/OSHA/EPA			WHO / MAK /HSC			AQSIQ	MHLW
		30 dk; 0,081ppm	1 saat 76 ppb	8 saat 27 ppb	5 dk 1 ppm	30 dk 0,081 ppm	8 saat 0,3 ppm	1 saat 0,08 ppm	5 saat 0,08 ppm
nitrojen dioksit	Referans sınır aralığı	ASRAE/OSHA/EPA			WHO / MAK /HSC			AQSIQ	MHLW
		15 dk 5 ppm	1 saat 3 ppm	1 yıl 0,05 ppm	1 saat 0,1 ppm	1 yıl 0,02 ppm	1 saat 240 µg/m ³	tanımlı değer yok	
ozon	Referans sınır aralığı	AGGIH/NAAQs/EPA			WHO / MAK			AQSIQ, SEPA	tanımlı değer yok
		1 saat 0,1 ppm	8 saat 0,05 ppm		8 saat 0,064 ppm	Maks. 0,05 ppm	1 saat 0,16 mg/m ³		
Sülfür dioksit	Referans sınır aralığı	ASRAE/OSHA/EPA			WHO			AQSIQ	tanımlı değer yok
		8 saat 2 ppm	1 yıl 80 µg/m ³		1 saat 0,133 ppm	24 saat 0,048 ppm	1 yıl 0,012 ppm	1 saat 0,5 mg/m ³	
Toplam uçucu organik bileşik	Referans sınır aralığı	ASRAE/OSHA/EPA			WHO / MAK			SEPA	tanımlı değer yok
		tanımlı değer yok			8 saat 300 µg/m ³			8 saat 0,6 mg/m ³	tanımlı değer yok
2,5 mm'den küçük panikülat maddesi	Referans sınır aralığı	8 saat; 3mg/m ³	24saat; 35µg/m ³	1 yıl; 15 µg/m ³	UK		AQSIQ	tanımlı değer yok	
					24 saat 25 µg/m ³	1 yıl 10 µg/m ³	tanımlı değer yok		
10 mm'den küçük partikül madde	Referans sınır aralığı	ASRAE/OSHA/EPA			WHO			24 saat	tanımlı değer yok
		8 saat 10 mg/m ³	24 saat 150 µg/m ³	1 yıl 50 µg/m ³	8 saat 4 mg/m ³	24 saat 50 µg/m ³	1 yıl 20 µg/m ³	0,15 mg/m ³	
toplam asılı parçacıklar	Referans sınır aralığı	ASRAE / ACGIH /EPA			WHO / MAK			AQSIQ	tanımlı değer yok
		8 saat 15 µg/m ³			tanımlı değer yok			tanımlı değer	tanımlı değer yok
son derece ince parçacıklar <1.0 mikron	Referans sınır aralığı	OSHA tanımlı değer yok			tanımlı değer yok			tanımlı değer yok	tanımlı değer yok

Yüksek toksisite ile uçucu organik bileşikler (uob) ve formaldehit en önemli iç ortam kirleticileri arasındadır. Uob'ler, özellikle boya, vernik, yapıştırıcı, döşemelik gibi yapı malzemelerinden kaynaklanmaktadır (Alyüz ve Veli, 2006). Ofis ortamlarında ise, bu yapı malzemelerine ilave olarak fotokopi makineleri ile diğer bazı ofis malzemeleri uob'ler için önemli kaynaklardır (Vural ve Balanlı, 2005). Düşük konsantrasyonlarda uyusukluk, baş ağrısı ve yorgunluk gibi özellikle sinir sistemiyle ilgili

şikâyetlere sebep olan uçucu organik bileşikler ve formaldehit, maruziyetin kronik hale gelmesi ile kanserojenik etkiler göstermektedirler (Alyüz ve Veli, 2006).

Bir iç ortamın havasındaki kirleticilerin seyreltilerek temizlenmesi, bina kullanıcısının konforu için hava hareketi, ısı konfor ve uygun nem düzeyinin sağlanması amaçlarıyla havalandırma yapılır. Başlıca havalandırma yöntemleri; doğal, mekanik ve hibrit havalandırma olarak sayılabilir. Doğal havalandırma iç ve dış ortamlar arasındaki sıcaklık farkı ve dış ortamdaki rüzgâr basıncı sonucunda oluşur. Mekanik havalandırma yönteminde, iç ortamdaki değiştirilmek istenen havanın tahliyesi ve dış ortamdaki temiz hava alınması fanlar kullanılarak sağlanır. Hibrit havalandırma yönteminde doğal ve mekanik havalandırma yöntemleri birlikte kullanılır.

Binalar için enerji verimli havalandırma modeli geliştirmeye odaklanan birçok araştırma mevcuttur. Bunlardan bazıları, havalandırma sürecini daha verimli hale getirmek için yalnızca doğal havalandırma ve pasif yöntemlere odaklanmıştır. Ancak doğal havalandırmanın her zaman yeterli olamamasından ötürü havalandırma konusundaki yeni çalışmalar hibrit havalandırmaya odaklanmıştır.

Mekanik havalandırma yönteminde temiz havanın sağlanmasının yanı sıra, temiz havanın ısıtılması / soğutulması ve nem kontrolü gereksinimlerinin karşılanmasında HVAC sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. HVAC sistemleri, bu gereksinimleri sağlayan ekipman, dağıtım ağı ve terminallerden oluşur.

HVAC sistemleri, bina enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Avrupa Birliği'ndeki ofis binalarında tüketilen enerjinin %40 kadarı HVAC sistemleri tarafından kullanılmaktadır (Gruber vd., 2008). Avrupa Parlamentosu, Avrupa Birliği Konseyi ve binaların enerji performansına ilişkin 2010/31/EU Direktifi tarafından tanımlanan "yaklaşık sıfır enerjili binalar"a (Near Zero-Energy Buildings, NZEB's) ulaşmak için, iç ortam soğutma, ısıtma ve havalandırma için gereken enerjiyi en aza indirecek alternatif çözümlere ihtiyaç vardır (Attia ve Carlucci, 2015)

2.3. Aydınlatma ve Görsel Konfor

Görsel konfor, göz sağlığının korunarak yapılan görsel iş performansın artırılması ve bu koşullarda sürekliliğin sağlanması durumu olarak tanımlanabilir (Kutlu, 2018). EN 12464-1 (2011)'e göre görsel konforu belirleyen ana parametreler; ışıklılık dağılımı (luminance distribution), aydınlık düzeyi (illuminance) ve aydınlık düzgünlüğü (uniformity), kamaşma (glare), ışığın rengi, renksel geriverimi (colour rendering), kırpışma hızı (flicker rate) ve gün ışığı miktarı olarak sıralanmaktadır.

Farklı işlevlerdeki iç ortamların aydınlatılmasında sağlanması gereken aydınlatma parametreleri ve değerleri EN 12464-1'de tanımlanmıştır. Bu çalışmada örnek olarak ofis hacimleri ele alınmış; ofis hacimlerinde sağlanması gereken aydınlatma kriterleri Tablo 3'te sunulmuştur. Bu tablodaki (E_m) minimum aydınlık düzeyini, (UGR_L) kamaşma sınırlama katsayısını, (R_a) renksel geriverim indeksini simgelemektedir.

Aydınlık düzeyi, bir yüzeyin, bir noktasını çevreleyen sonsuz küçük bir parçacığının aldığı akının, bu yüzey parçacığının alanına bölümüdür; birimi lux'tür (Sirel, 1997). Aydınlık düzeyi gereksinimleri, yapılan eylem ve kullanıcı özelliklerine göre değişik değerlerdedir (Çelik vd., 2015).

Kamaşma, yüksek ışıklılıktaki yüzeylerin (aydınlatma aygıtı, pencere) doğrudan bakış alanı içinde yer alması, görüntülerinin parlak yüzeylerden yansması ya da ışıklılık dağılımlarının dengesiz oluşu sonucu ortaya çıkar (Aydın Yağmur ve Şerefhanoglu Sözen, 2016). Rahatsızlık veren kamaşmayı nicel olarak değerlendirmek için Görsel Konfor Olasılığı (Visual Comfort Probability-VCP) ve Birleşik Kamaşma Değeri (Unified Glare Rating-UGR) indeksleri geliştirilmiştir (Clear, 2012; Kayakuş, 2018).

Tablo 3: Ofis hacimlerinde sağlanması gereken aydınlatma kriterleri

İç ortamdaki görev veya etkinlik tipi	E_m (lx)	UGR _L	U_o	R_a	Özel Durumlar
Dosyalama, kopyalama vb.	300	19	0,40	80	
Yazma, okuma, veri işleme	500	19	0,60	80	Ekran ile yapılan işler için "4.9. Görüntülü Ekran Ekipmanları ile iş istasyonlarının (bilgisayar ünitelerinin) aydınlatılması" başlığına bakılmalıdır.
Teknik çizim	750	16	0,70	80	
CAD atölyesi	500	19	0,60	80	Ekran ile yapılan işler için "4.9. Görüntülü Ekran Ekipmanları ile iş istasyonlarının (bilgisayar ünitelerinin) aydınlatılması" başlığına bakılmalıdır.
Konferans ve toplantı odaları	500	19	0,60	80	Aydınlatma kontrol edilebilir olmalıdır
Resepsiyon	300	22	0,60	80	
Arşivler	200	25	0,40	80	

Sirel (1997) renksel geri verimi, bir ışıklayıcının aydınlattığı nesnelerin, renk türü ile ilgili görünüşleri üzerindeki etkisi olarak tanımlamaktadır. Renksel geriverim indeksi, ölçülen ışık kaynağının renksel geriverim özelliklerinin, 'referans' bir ışık kaynağına olan yakınlığını belirlemektedir (Kayakuş, 2018).

İnsanlar, biyolojik saatlerinin düzgün çalışması ve günlük fiziksel-zihinsel aktivitelerini gerçekleştirecek enerjiye sahip olmak için gün ışığına ihtiyaç duyarlar (Aries, 2005). Günümüzde insanlar günün önemli bölümünü iç mekânlarda geçirdiğinden, iç mekânın tasarımında gün ışığından tam olarak yararlanılması önemlidir. İnsan görsel konforu en iyi şekilde gün ışığı ile sağlanır; gün ışığı insan ruhunu olumlu yönde etkiler ve gün içinde bu ışığa erişimi olan insanlar genellikle daha rahat ve neşeli olurlar (Aries, 2005).

Aydınlatmanın, binaların elektrik tüketiminde yaklaşık %33'lük bir payla önemli bir yere sahip olduğu kabul edilmiştir (Krarti vd., 2005). Binaların aydınlatılması için gün ışığından yararlanma, aydınlatma için kullanılan enerjinin azalması ve dolayısıyla enerji üretimindeki sera gazı emisyonlarının da azalması anlamına gelmektedir.

Binaların aydınlatma düzeninde gün ışığının payını artırmak için uygun önlemler, bir binanın sera etkileri üzerindeki etkisinin azaltılması ve insanların daha keyifli bir çalışma ve yaşam için koşullar yaratması için fırsatlar sağlar.

Ayrıca, doğal gün ışığının okullarda öğrenmeye de olumlu etkisi olduğu kanıtlanmıştır. California, Capistrano okul bölgesinde yapılan bir gündüz aydınlatması araştırması, gün ışığının en fazla olduğu sınıflardaki öğrencilerin, en az gün ışığı alan sınıflardaki öğrencilere göre matematikte %20 ve okumada %26 daha hızlı ilerlediklerini belirlemiştir (Prakash, 2005).

2.4. Akustik Konfor

Navai ve Veitch (2003) akustik konforu "akustik koşullardan hoşnut olma durumu" olarak tanımlamaktadır. Ancak iyi bir akustik ortamın sağlanması temel olarak rahatsızlık oluşumunun önlenmesi ile ilişkilidir. Elastik bir ortamda işitme duyusunun algılayabildiği küçük basınç dalgalanmalarının ya da değişimlerinin oluşturduğu duyuma ses denir. İstenmeyen ya da etkilenene bir anlam ifade etmeyen sesler gürültü olarak nitelendirilir (Çalışkan, 2004). Herhangi bir kaynaktan çıkan sesin yoğunluğu (şiddeti), o sesin havada yarattığı basıncın bir referans basınca oranının logaritmik değeri olarak tanımlanan desibell (dB) birimi ile ölçülür (TMMOB, 2015).

Bir iç ortamın akustik konforu hem sesin, hem de mekânın fiziksel özelliklerini içeren çok sayıda fiziksel etkenle bağlantılıdır. Sesin akustik konfor ile ilgili fiziksel özellikleri olarak kısa ve uzun süreli ses basınç seviyesi ve ses frekansı sayılabilir. Mekânın akustik konfor ile ilgili fiziksel özellikleri olarak ise ses yalıtımı, ses absorpsiyonu (yutulması) ve yankılanma süresi sayılabilir.

Ses yalıtımında ses dalgaları, içinde yol aldıkları ortamdan farklı yoğunluk veya esneklikte bir engelle karşılaşırsa enerjinin bir bölümü yansıtılır, bir kısmı da ısı enerjisine dönüşerek soğurulur, kalan kısım da geçişini tamamlar (Kaya ve Dalgar, 2017). Ses absorpsiyonunda ise, hava parçacıkları, yalıtım malzemesi içinde sürtünerek sesin bir kısmını ısı enerjisine dönüştürürler; böylece sesin enerjisi azalır (Kaya ve Dalgar, 2017). Yankılanma süresi, ortamdaki ses basıncı seviyesinin ses kaynağının susmasından itibaren 60 dB'ye düşmesi için gereken süredir.

Bir ortamdaki, ortama dıştan gelen veya ortam içinde üretilen istem dışı seslerin tümü ortam sesini, bir başka terimle ortam (*arkaplan*) gürültüsünü oluşturur (TMMOB, 2015). Arkaplan gürültüsü, sözlü iletişimde konuşmanın anlaşılabilirliğini etkiler; dikkat dağıtıcı ve rahatsız edici olabilir.

İç ortamda akustik konforun sağlanması ve arkaplan gürültüsünün olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması amacıyla beyaz gürültü, ses maskeleyme gibi yöntemlerden yararlanılmaktadır. Beyaz gürültü, arkaplan gürültüsünü bastırmak amacıyla, insan kulağının algılayabileceği tüm ses frekanslarının bileşiminden oluşur. Ses maskeleyme ise, maskeleyme ya da perdeleme, bir sesin işitme eşliğini artırarak diğer bir sesin işitilmesini engellemesi olarak açıklanabilir (Çalışkan, 2004).

Gürültü kontrolü, insanların etkin çalışması için gereklidir ve kötü tasarlanmış alanlar çalışan memnuniyetsizliğine ve üretkenliğin azalmasına neden olabilir (Frontczak vd., 2012). Evans ve arkadaşları (1998) yaptıkları çalışmada artan düzeyde gürültüye maruz kalan kişilerin yüksek tansiyona sahip olduklarını ve strese neden olan hormon salgılarının arttığını gözlemlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca, yüksek gürültü seviyelerinin hatırlama yeteneğini etkilediğini; konsantrasyon azalmasına ve bazı durumlarda kaygıya yol açtığını belirlemiştir.

3. Yeşil Bina Sertifikaları ve İç Ortam Kalitesi İlişkisi

Son yıllarda bina tasarımında, düşük enerji tüketimine ve binaların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik artmakta olan bir sürdürülebilirlik eğilimi görülmektedir. ABD'de LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ve Birleşik Krallık'ta BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) gibi yeşil bina sertifika sistemleri, binaların tasarımı, yapımı ve işletilmesi süreçlerinde sürdürülebilirliği teşvik etmektedir. Ayrıca İOK, yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin değerlendirme ölçütlerinden biri olması nedeniyle bu çalışmada yeşil bina sertifikaları ve İOK ilişkisine yer verilmiştir.

BREEAM sertifikasyon değerlendirmesi enerji, sağlık ve esenlik (well-being), inovasyon, arazi kullanımı; malzeme, işletim, ulaşım; atıklar, su ve kirlilik kategorileri ile gerçekleştirilir. Görsel konfor, iç ortam hava kalitesi, ısı konfor, akustik performans gibi kriterlerin değerlendirilmesini kapsayan sağlık ve refah kategorisi (URL-2), BREEAM değerlendirmesinde elde edilebilecek toplam puanın %15'ini oluşturur. Altomonte vd. (2016) İngiltere'deki BREEAM sertifikalı ofis binalarında kullanıcı memnuniyetini araştırmış; BREEAM sertifikasının bina ve çalışma alanı memnuniyeti üzerinde önemli ve pratik bir etkisinin bulunmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

LEED sertifikasyon değerlendirmesi bütünleşik süreç yönetimi, sürdürülebilir araziler, su verimliliği, enerji ve atmosfer, iç ortam kalitesi, tasarımda inovasyon ve bölgesel öncelik kategorileri ile gerçekleştirilir. LEED sisteminin değerlendirmesinde minimum iç hava kalitesi performansı, tütün dumanı kontrolü ve yeşil temizlik politikası ön koşullarının sağlanması ön koşul olup; iç mekân hava kalitesi yönetim programı, gelişmiş iç mekân hava kalitesi stratejileri, ısı konfor, aydınlatma, gün ışığı

ve görsel konfor gibi kriterler yer almaktadır (URL-3). İç ortam kalitesi değerlendirmesi, LEED değerlendirmesinde elde edilebilecek toplam puanın %14,5'ini oluşturur. Altomonte vd., (2017) yaptıkları çalışmada, LEED sertifikalı binaların kullanıcılarının ve sertifikalı olmayan binaların kullanıcılarının bina, çalışma alanı ve çeşitli İOK göstergelerinin değerlendirmesinde eşit derecede memnun olduklarını göstermiştir. Bu çalışmada ayrıca, LEED değerlendirmesinin kapalı ofislerden ziyade açık ofislerde ve büyük binalar yerine küçük binalarda memnuniyet sağlamada daha etkili olduğuna dair kanıtlar tespit edilmiştir.

MacNaughton ve arkadaşları (2017) yüksek enerji performansına sahip 10 binadan oluşan bir örnekte, yeşil sertifikalı bina kullanıcılarının sertifikasız bina kullanıcılarına göre %26,4 daha yüksek bilişsel işlev değerlendirmesine ve daha iyi çevresel algıya sahip olduğunu; daha az fiziksel ve zihinsel sorun yaşadığını saptamıştır. Leaman ve Bordass, (2007) ise, yeşil sertifikalı binalarda çalışanların, çalıştıkları binalara ilişkin daha toleranslı tutum sergilediğini; yeşil sertifikalı binaların geleneksel binalara göre daha yüksek iç ortam koşulları sağladığını, ancak iş tatmininin daha yüksek olmadığını belirlemiştir.

Uluslararası WELL Sağlıklı Bina Enstitüsü (International Well Building Institute), WELL v1 ve WELL v2 standartları ile bina ve yapı çevrenin insan sağlığını etkileyen unsurlarını ölçmekte ve sertifikalandırmaktadır.

4. Tartışma

İok parametrelerinin karşılıklı etkileşimleri önemlidir. Bu nedenle, iok belirlenmesinde parametrelerin birlikte değerlendirilmesi gereklidir. Tablo 4'te bu çalışma kapsamında ele alınan iok'nin belirlenmesi için ölçülmesi gereken parametreler, ölçüm araçları ve kullanıcı değerlendirmesinde dikkate alınacak hususlar yer almaktadır.

Tablo 4: İok'nin belirlenmesi için gerekli ölçümler ve kullanıcı değerlendirmesindeki etkenler

	Ölçüm		Kullanıcı değerlendirmesinde dikkat edilmesi gereken etkenler
	Ölçülen parametre	Ölçme araçları	
Isıl Konfor ölçme yöntemleri	küresel termometre sıcaklığı	siyah küresel termometre	yaş
	bağıl nem	higrometre	yaş aralığı
	hava sıcaklığı	termometre	metabolizma düzeyi
	hava akış hızı	anemometre	aktivite düzeyi
İç hava kalitesi ölçme yöntemleri	havalandırma hızı (hava debisi)	debi ölçüm problemleri	bina kullanıcılarının iç hava kalitesi algısı
	iç ortam hava kirliliği düzeyi	CO, CO ₂ , formaldehit, uçucu organik bileşik vb için sensörler	
	dış ortam hava kirliliği düzeyi	CO, CO ₂ , partikül madde vb için sensörler	
Doğal ve yapay aydınlatma ölçme yöntemleri	ortam ve yapay ışığın cd/m ² ışık yoğunluğu	yatay aydınlık sensörü	bina kullanıcılarının aydınlatma algısı
	gün ışığı / yapay ışık oranı	aydınlık sensörlerinden elde edilen hesaplamalar	
	yatay yansımaya indeksi	hesaplama	
Gürültü ve akustik düzey ölçme yöntemleri	iç ortam ses düzeyi	ses basıncı sensörü	bina kullanıcılarının gürültü algısı
	dış ortam ses düzeyi	ses basıncı sensörü	
		hesaplama	

İç ortam havasının kalitesini sağlayan daha yüksek havalandırma oranları ve doğal havalandırma, arka plan gürültüsü oluşturarak dış gürültünün binaya girmesine ve memnuniyetsizliğe neden olabileceğinden akustik konfor üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Ayrıca, açık ofisler yeşil bina tasarımında gün ışığını en üst düzeye çıkarmak için yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak ses

bariyerlerinden yoksundurlar ve akustik memnuniyetsizlik yaratırlar (Altomonte vd., 2017). İç mekânlarda kullanılan bitirme malzemeleri, mobilya ve döşemelerin seçimi, iok'nin tüm yönleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir. Bu seçimlerde uob'leri ve hoş olmayan kokuları en aza indirecek ve ses emilimini en üst düzeye çıkaracak tercihler yapılmalıdır.

Gürültü önlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan petrol ve mineral kökenli ses emici paneller, iç hava kalitesini ve dolayısıyla kullanıcı sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu amaçla, alternatif malzemelerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Günümüzde enerji performansına dayalı bina tasarımı önem kazanmıştır. Ancak, enerji performansını artırmaya odaklanan bina tasarım yaklaşımları, kullanıcı konforu, sağlığı ve üretkenliğini artırma hedefleriyle çelişebilir. Enerji performansına dayalı bina tasarımı genellikle bina kabuğunu mümkün olduğunca hava geçirmez hale getirmek ve bina sakinleri üzerinde olumsuz etkileri olabilecek iç mekân hava kirleticilerinin birikimini artırarak havalandırma oranlarını azaltmak şeklinde uygulanmaktadır. Diğer yandan, iok konusunda faaliyet gösteren araştırmacı, tasarımcı ve uygulamacıların "sağlıklı yüksek performanslı bina"ya öncelik vermeye başladığı açıktır. Yeşil bina sertifika sistemlerinin iok koşulları bakımından kullanıcılarda ne denli memnuniyet sağladığı ve bu memnuniyet oranının sertifikasız bina kullanıcılarının memnuniyeti ile kıyaslanması konusunda çok sayıda araştırmaya rastlanmıştır. Bu araştırmalarda, yeşil bina sertifika sistemlerinin iok belirlemede kullanılan kriterlerin daha güvenilir bir şekilde tanımlanması gerektiği vurgusu yapılmaktadır. İok parametrelerinin kontrolü için uyarlanabilir davranış izleme ve sürekli bina izleme sistemlerine çok dikkat edilmelidir.

SONUÇ:

Bu çalışmada, iok konusunda mevcut olan literatür analiz edilmiş; kullanıcıların sağlığı, konforu ve üretkenliği üzerinde etkileri olan ısı konforu, iç ortam hava kalitesi, aydınlatma ve görsel konfor, akustik konfor parametreleri ele alınmıştır. Bu parametrelerin konut, ofis ve okul gibi binalarda kullanıcı sağlığı, konforu ve verimliliği üzerindeki etkilerine yer verilmiştir.

Kullanıcıların sağlığı, konforu ve üretkenliğini artıracak iç ortam koşulları, tasarım ve bina sistemi işlemleri ile karşılanabilir. Ancak uygun iok sağlanmasında yaş, cinsiyet, metabolizma farklılıkları gibi nedenlerle kullanıcılardaki iok algısı değişkenlik gösterebilmektedir.

İOK parametrelerinin yeterliliklerinin belirlenmesinde kullanılan araçlar ile ölçüm ve kullanım sonrası değerlendirme yöntemleri ele alınmıştır. Araçlar ile ölçüm yönteminde ölçülen parametreler ve ölçme araçları tanımlanmış; kullanım sonrası değerlendirme yönteminde etkili unsurlar sıralanmıştır.

BREEAM ve LEED yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin binalarda iok'nin gelişimine etkileri açıklanmıştır. İOK konusunda bir seviye hedeflemeleri nedeniyle yeşil bina sertifikalarının iok'ni olumlu yönde etkiledi söylenebilir.

Özellikle ısı konforu ve iç hava kalitesi parametreleri arasında olmak üzere, ele alınan dört iok parametresi arasında karşılıklı etkileşimler saptanmıştır. Bu bağlamda bina düzeyinde iok parametrelerinin bütüncül olarak değerlendirilmesi önemlidir. Daha fazla iok parametresi dikkate alınarak iklime duyarlı bir iok indeksi geliştirilmelidir.

Küresel ısınma ve enerji kaynaklarındaki kısıtlılık gibi sorunların yaşandığı günümüzde, binalarda düşük enerji tüketimi ile iok sağlanması önem kazanmıştır. Bina tasarımında pasif tasarım ilkelerinin yaygınlaşması ile iok sağlanması için tüketilecek enerji miktarı azaltılabilir. Temiz hava sağlanması gibi gereksinimler için hibrit sistemlerin tercih edilmesi, enerji tasarrufu sağlamaktadır. Az sayıda kullanıcı için de geçerli olabilecek, daha düşük hata payı ile veri elde edilebilecek kişisel konfor modelin gibi yeni yaklaşımların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması gereklidir.

Etik Standart ile Uyumluluk

Çıkar Çatışması: Yazar, kendileri ve / veya diğer üçüncü kişi ve kurumlarla çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

Etik Kurul İzni: Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

Finansal Destek: Bu çalışma için herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

KAYNAKÇA:

- Almeida, R. M., De Freitas, V. P., Delgado, J. M., (2015). *School buildings rehabilitation: indoor environmental quality and enclosure optimization* (pp. 35-83). Springer International Publishing. ISBN-13 : 978-3319153582
- Altomonte, S., Saadouni, S., Schiavon, S., (2016, 11-13 July). Occupant Satisfaction in LEED and BREEAM-Certified Office Buildings, 36th International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Cities, Buildings, People: Towards Regenerative Environments, Los Angeles.
- Altomonte, S., Schiavon, S., Kent, M.G., Brager, G., (2017). Indoor environmental quality and occupant satisfaction in green-certified buildings. *Building Research and Information*, 1-20. <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1383715>
- Alyüz, B., Veli, S., (2006). İç ortam havasında bulunan uçucu organik bileşikler ve sağlık üzerine etkileri, *Trakya Univ Journal of Science*, 7(2), 109-116
- Annesi-Maesano, I., Baiz, N., Banerjee, S., Rudnai, P., Rive, S.,SINPHONIE Group, (2013). Indoor air quality and sources in schools and related health effects. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 16, 491–550.
- Ari, S., Wilcoxon, P., Khalifa, H.E., Dannenhoffer, J.F., Isik, C., (2008). A practical approach to individual thermal comfort and energy optimization problem. *NAFIPS 2008 - 2008 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society*, 2008, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/NAFIPS.2008.4531261>
- Aries, M. B. C., (2005). Human lighting demands: healthy lighting in an office environment. *Technische Universiteit Eindhoven*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. <https://doi.org/10.6100/IR594257>
- ASHRAE, (2017a). ASHRAE Standard 55, Thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE Inc., Atlanta, GA
- ASHRAE, (2017b). ASHRAE Handbook of Fundamentals., ASHRAE Inc., Atlanta, GA
- Aslan, D.E., (1997). İç hava kalitesi ve kontrolü. Makine Mühendisleri Odası, Teskon Program Bildirileri 55-63.
- Attia S., Carlucci S., (2015). Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate. *Energy and Buildings*, 102:117-128. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.017>
- Aydın Yağmur, Ş., Şerefhanoglu Sözen, M., (2016). Dersliklerde Görsel Konfor ve İç Yüzeylerin Etkisi. *Megaron*, 11(1): 49-62.

- Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D., Kochhar, N., Awbi, H. and Williams, M., (2012). Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment*, 48: 215–223.
- Bermejo, P., Redondo, L., De La Ossa, L., Rodríguez, D., Flores, J., Urea, C., Gámez, J.A., Puerta, J.M., (2012). Design and simulation of a thermal comfort adaptive system based on fuzzy logic and on-line learning. *Energy and Buildings*. 49: 367-379. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.032>
- Bulut H. (2012). Havalandırma ve iç hava kalitesi açısından CO₂ miktarının analizi. *Tesisat Mühendisliği* - Sayı 128, s.62 (Schramek, E.R., (1999). Recknagel-Sprenger Schramek- Isıtma Ve Klima Tekniği El Kitabı, Çev. O. Saraçoğlu, A. Razgat, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar, Ankara)
- Chenari B., Carrilho, J. D., da Silva, M. G., (2016). Towards sustainable, energy-efficient and healthy ventilation strategies in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59, 1426–1447. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.074> (Kleiven T. 2003. Natural ventilation in buildings. Norwegian University of Science and Technology)
- CIBSE, (2013). The limits of thermal comfort : avoiding overheating in European buildings. CIBSE Tm 52 1-25. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>. (Seppänen, O.A., Fisk, W.J., (2006). Some quantitative relations between indoor environmental quality and work performance or health. *Hvac&R Res.* Oct. 12.)
- Choi, J.-H., Yeom, D., (2019). Development of the data-driven thermal satisfaction prediction model as a function of human physiological responses in a built environment. *Building and Environment* 150, 206-218. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.007>
- Çalışkan M., (2004). Gürültü: kavram ve yaklaşım. *İş Yaşamında Gürültü ve İşitmenin Korunması*, Türk Tabipleri Birliği Yayınları, Ed: Erol Belgin, Mehmet Çalışkan. ISBN 975-6984-65-1
- Çelik, K., Küçükılıç Özcan, E., Ünver, R., (2015). Hacim ve aygıt özelliklerinin aydınlığa etkisinin açık planlı ofis örneğinde incelenmesi, *Megaron*, 10(1), 80-91
- Çınar, H., Döngel, N., Atar, M., Aydın, İ., (2016). Konutlarda hava kalitesini etkileyen kirleticiler ve kullanıcı memnuniyetinin tespit edilmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 9(3), 31-40. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tubav/issue/24726/261486>
- De Dear, R.J., Akimoto, T., Arens, E.A., Brager, G., Candido, C., Cheong, K.W.D., Li, B., Nishihara, N., Sekhar, S.C., Tanabe, S., Toftum, J., Zhang, H., Zhu, Y., (2013). Progress in thermal comfort research over the last twenty years. *Indoor Air* 23, 442-461. <https://doi.org/10.1111/ina.12046>
- Demirarslan, K. O., Başak, S., (2018). Hasta bina sendromu kavramı literatür araştırması ve çeşitli mekânların iç hava kalitelerinin karşılaştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 190-201. <https://doi.org/10.21923/jesd.340029>
- Ekici, C., (2013, 26-28 Eylül). PMV metodu ile ısı konfor ölçümü ve hesaplanması. VIII. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, Gebze-Kocaeli
- EN 12464-1, (2011). Light and lighting - lighting of work places - part 1: indoor work places. Brussels: European committee for standardization.
- Evans, G. W., Stecker, R., (2004). Motivational consequences of environmental stress. *Journal of Environmental Psychology*, 24(2), 143-165.

- Evans, G.W., Bullinger, M., Hygge, S., (1998). Chronic noise exposure and physiological response: A prospective study of children living under environmental stress. *Psychological Science*, 9, 75-77. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00014>
- Fisk, W.J., Mendell, M.J., Daisey, J.M., Faulkner, D., Hodgson, A.T., Nematollahi, M., Macher, J.M., (1993). Phase 1 of the California healthy building study: a summary. *Indoor Air* 3, 246-254. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1993.00005>
- Fisk, W.J., Black, D., Brunner, G., (2012). Changing ventilation rates in U.S. offices: implications for health, work performance, energy, and associated economics. *Building and Environment* 47, 368-372. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.001>.
- Frontczak M., Wargocki P., (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor Environments. *Building and Environment* 46, 922-937. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>
- Frontczak, M., Schiavon, S., Goins, J., Arens, E., Zhang, H., Wargocki, P., (2012). Quantitative relationships between occupant satisfaction and satisfaction aspects of indoor environmental quality and building design. *Indoor Air* 22, 119-131. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00745.x>
- Gruber E, Plessner S, Dusée R, Sofronis I, Lima P, Rivière P. (2008) Deliverable D26: Report on the project results. Technical report, EL-TERTIARY project, Intelligent Energy - Europe.
- Haverinen-Shaughnessy, U., Moschandreas, D.J. and Shaughnessy, R.J. (2011). Association between substandard classroom ventilation rates and students' academic achievement, *Indoor Air*, 21, 121-131.
- Heinzerling, D., Schiavon, S., Webster, T., Arens, E., (2013). Indoor environmental quality assessment models: A literature review and a proposed weighting and classification scheme. *Building and Environment* 70, 210-222 <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.027>
- Hoof, J. V. (2008). Forty years of Fanger's Model of thermal comfort: comfort for all. *Indoor Air*, 18 (3) 182-201.
- ISO 7730 International Standard, (1994). Moderate thermal environments – determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort 32. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Kaya, A. İ., Dalgar, T. (2017). Ses yalıtımı açısından doğal liflerin akustik özellikleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Özel Sayı 1, 25-37.
- Kayakuş, M. (2018). Eğitim kurumlarındaki aydınlatmanın uluslararası standartlara göre incelenmesi. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)*, 7(2),240-246. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mbd/issue/40281/439709> (Clear, R.D., (2012). Discomfort Glare: What Do We Actually Know?. *Lighting Research & Technology*, 45(2): 141-158.)
- Kaynaklı ve Yamankaradeniz, (2002). Isıl konfor parametrelerinin optimizasyonu. *Mühendis ve Makina Dergisi*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Aralık sayısı. <https://denizli.mmo.org.tr/muhendis-ve-makina-dergisi/aralik-2002>

- Kim, J., Schiavon, S., Brager, G., (2018). Personal comfort models e a new paradigm in thermal comfort for occupant-centric environmental control. *Building and Environment* 132, 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.023>.
- Krarti, M., Erickson, P. M., Hillman, T. C., (2005). A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. *Building and environment*, 40(6), 747-754. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.08.007>
- Koyun, T. (2016). Seçilen bir ortam için ısı konfor seviyesinin belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28 (1), 57-66. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fumbd/issue/29255/313202>
- Kutlu, R., (2018). Çevresel faktörlerin mekan kalitesi ve insan sağlığına etkileri. *Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, 8(1), 67-78. <https://doi.org/10.7456/10801100/007>
- Leaman, A., Bordass, B., (2007). Are users more tolerant of “green” buildings? *Building Research and Information* 35, 662-673. <https://doi.org/10.1080/09613210701529518>
- MacNaughton, P., Satish, U., Laurent, J.G.C., Flanigan, S., Vallarino, J., Coull, B., Spengler, J.D., Allen, J.G., (2017). The impact of working in a green certified building on cognitive function and health. *Building and Environment* 114, 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.041>
- Mendell, M.J., Eliseeva, E.A., Davies, M.M., Spears, M., Lobscheid, A., Fisk, W.J. and Apte, M.G., (2013). Association of classroom ventilation with reduced illness absence: a prospective study in California elementary schools. *Indoor Air*, 23, 515–528.
- Mujan, I., Anđelković, A. S., Munčan, V., Kljajić, M., Ružić, D. (2019). Influence of indoor environmental quality on human health and productivity - A review. *Journal of Cleaner Production* 217, 646-657 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.307>
- Myhrvold, A. N., Olsen, E., Lauridsen, O., (1996). Indoor environment in schools—pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations. *Indoor Air*, Nagoya, Japan.
- Navai M, Veitch J. A. (2003). Acoustic satisfaction in open-plan offices: review and recommendations. *Research Report RR-151*. Ottawa, Canada: Institute for Research in Construction, National Research Council Canada. <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/rr/rr151/rr151.pdf>
- Obi, I. C., (2015). Strategic management in building designs for sick building syndrome control: the effect of ideal building orientation. *ARP International Journal of Social Science*, 1(1): 13-23.
- Olesen B. W. (2012). Revision of EN 15251: indoor environmental criteria. *REHVA European HVAC Journal* 6-12.
- Olesen, B. W., (2005). Indoor environment health-comfort and productivity. 8th REHVA World Congr, pp. 1-17. CLIMA 2005.
- Orhan, İ., Kaya, L. G. (2016). LEED belgeli yeşil binalar ve iç mekan kalitesinin incelenmesi, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Özel Sayı 1*, 18-28. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/makufebd/issue/24657/260800>
- Öztürk B., Aykaç H., Kaya S., (2013, 17-20 Nisan). *Bina İçi Havalandırma Sistemlerinin Tasarım İlkeleri*, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, ss ;1938

- Prakash P. (2005) Effect of indoor environmental quality on occupant's perception of performance: a comparative study. *University of Florida, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. (Heschong Mahone Group. (1999). Daylighting in Schools. An investigation into the relationship between daylight and human performance. Fair Oaks, CA: Heschong Mahone Group)
- Quang, T. N., He, C., Knibbs, L.D., Dear, R., Morawska, L., (2014). Co-optimisation of indoor environmental quality and energy consumption within urban office buildings. *Energy and Buildings* 85, 225-234. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.021>
- Sarbu I., Sebarchievici, C. (2013). Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings. *Energy and Buildings* 60, 410–419 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.005>
- Simons, E., Hwang, S., Fitzgerald, E.F., Kielb, C. and Lin, S., (2010). The impact of school building conditions on student absenteeism in upstate New York, *Am. J. Public Health*, 100(9), 1679–1686. doi: 10.2105/AJPH.2009.165324
- Sirel, Ş., (1997). *Aydınlatma sözlüğü*, YEM Yayın.
- Şenkal Sezer, F., (2016). Sağlık ocaklarında konfor koşullarının değerlendirilmesi: Bursa/Nilüfer örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1), 197-208. <http://dx.doi.org/10.21605/cukurovaummfd.242811>
- Talon, C., Goldstein, N., 2015. Smart Offices: How intelligent building solutions are changing the occupant experience. *Navigant Research*, INTEL Sponsored White Paper. 1-13.
- TMMOB, (2015). *Okullarda İç Çevre Kalitesi Rehberi*. TMMOB Makine Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, ISBN: 978-605-01-0688-6
- Turpin, R.S., Ozminkowski, R.J., Sharda, C.E., Collins, J.J., Berger, M.L., Billotti, G.M., Baase, C.M., Olson, M.J., Nicholson, S., (2004). Reliability and validity of Stanford presenteeism scale. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 46 (11), 1123-1133.
- Ugranlı T., Sofuoğlu S. C., Ekren O., Toksoy M., Aktakka S., (2015, 8-11 Nisan). *İzmir İlköğretim Okullarında İç Hava Kalitesi Eğitim Projesi Uygulama Okulunda İç Hava Kalitesi*. 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, MMO yayını, s.1997-2009
- URL-1: [https://xp20.ashrae.org/terminology/index.php?term=indoor%20environment%20quality%20\(IEQ\)](https://xp20.ashrae.org/terminology/index.php?term=indoor%20environment%20quality%20(IEQ)) (erişim tarihi 26.02.2022)
- URL-2: <https://erketasarim.com/yesil-bina-danismanligi/breeam-sertifika-danismanligi/> (erişim tarihi 03.03.2022)
- URL-3: <https://www.usgbc.org/articles/indoor-environmental-quality-and-lead-v4> (erişim tarihi 03.03.2022)
- Vural M. S., Balanlı, A., (2005). Yapı ürünü kaynaklı iç hava kirliliği ve risk değerlendirme de ön araştırma. *Megaron YTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 1(1): 28-39.
- WHO, (1984). Indoor Air Quality Research, Euro Report and Studies. No:103, 1984.
- Yurdakul, S. , Ayyıldız, N. , Çelik, V. E., İçöz, E. (2019). Süleyman Demirel Üniversitesi seçili dersliklerinin iç çevre kalitesi açısından incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(4), 811-818. <https://doi.org/10.21923/jesd.541011>

EXTENDED SUMMARY:**Research Problem:**

Today, people spend most of their time indoors such as home, office, school. Health and productivity problems such as sick building syndrome, building-related illness, decreased learning performance in schools and the productivity of employees in office environments, which have been common in recent years, are associated with indoor quality. In this study, it is aimed to draw attention to the importance of indoor environment quality (İEQ) in terms of human health and productivity by associating the concepts of indoor environment quality and sustainable building.

Research Question:

What are the effects of indoor environment quality on the health, comfort and productivity of building occupants? What are the methods used to determine indoor environment quality? What are the limit values of indoor quality parameters? Is indoor environment quality related to green building certification systems?

Literature Review:

Sick Building Syndrome occurs due to “insufficient ventilation, pollutants from the external environment, pollutants originating from inside the building, construction materials used in building construction, insufficient light, inappropriate humidity and temperature, odors, sound and electromagnetic pollution” (Demirarslan and Başak, 2018).

There are opinions that the İEQ has a major impact on workforce performance and productivity. A phrase for the workers who attend work while having reduced productivity due to health problems or other events that distract them from full productivity was introduced in last decade - "presenteeism" (Turpin vd., 2004). In the United Kingdom and the United States, it is estimated that the State lose roughly 15 billion pounds and 38 billion dollars respectively, due to reduced productivity of workers and illnesses caused by inadequate supply of fresh air alone (Mujan vd., 2019).

Evans and Stecker (2004) concluded in their study that both severe and continuous exposure to environmental stressors such as noise, crowds or air pollution can cause “learned helplessness syndrome” in children as well as adults. The results of the study conducted by Annesi-Maesano et. All (2013) on indoor air quality in schools revealed the effects of indoor air quality on health (especially respiratory health) and cognitive performance. In addition, the negative effects of inadequate indoor air quality on students' absenteeism and school performance studies are available (Mendell et al., 2013), (Simons et al., 2010), (Bakó-Biró et al., 2012), (Haverinen-Shaughnessy et al., 2011).

The amount of energy consumed in buildings depends on factors such as providing suitable indoor conditions for building occupants and building operation. According to the recent studies the cost of poor indoor environment for the employer, the owner and also for the society, as a whole are frequently considerably higher than the cost of the energy which are used in the same building (Olesen, 2012).

Methodology:

Within the scope of this study, thermal comfort, indoor air quality, lighting and visual comfort, and acoustic comfort, which can be actively measured and controlled, are discussed. The method of this study is based on literature research by scanning research articles, thesis studies, standards and guidelines on indoor environmental quality.

After structuring the study, first of all, basic concepts were tried to be defined. Information was collected by conducting a wide literature review on these concepts. The information obtained is grouped as the definition of indoor environmental quality parameters, their effects on user health and productivity, and their relationship with green building certificates.

Result and Conclusion:

Indoor conditions that will increase the health, comfort and productivity of occupants' can be met with design and building system operations. However, in providing appropriate indoor quality conditions, the perception of İEQ in occupants may vary due to differences in age, gender, metabolism.

The tools used to determine the adequacy of the İEQ parameters, the measurement methods of the İEQ parameters, the post-use evaluation methods of the building occupants are discussed. In the method of measuring the indoor environment quality by using tools, the İEQ parameters measured and the tools used for the measurement process were defined; The factors that are effective in determining the indoor environment quality with the post-use evaluation method are listed.

The effects of BREEAM and LEED green building certification systems on the development of İEQ in buildings are explained. It can be said that green building certificates have a positive impact on the İEQ, since they target a level in the İEQ.

Interactions were determined between the four İEQ parameters, especially between thermal comfort and indoor air quality parameters. In this context, it is important to evaluate the İEQ parameters holistically at the building level. It is necessary to develop a climate sensitive İEQ index, taking into account more İEQ parameters.

In today's world, where problems such as global warming and limitations in energy resources are experienced, it has gained importance to provide low energy consumption in buildings. With the widespread use of passive design principles in building design, the amount of energy to be consumed in order to provide İEQ can be reduced. Preferring hybrid systems for requirements such as providing clean air provides energy savings. It is necessary to develop and expand new approaches such as the personal comfort model, which can be valid for a small number of users and can obtain data with a lower margin of error.