



LABORATUVARLARDA HAVA DEĞİŞİM SAYISI VE ÖNEMİ

ERKİN BİLGESÜ

Dr. Kimya Y. Müh.

İNŞEL Yapı ve Teknik Donatım Sistemleri Ltd. Şti.

1.GİRİŞ

Laboratuvar tasarımında havalandırma sistemlerinin ve ilgili parametrelerinin doğru olarak belirlenmesi, her şeyden önce çalışanların sağlığı açısından kritik olan ve hem çalışan kişinin ve çalışma alanının yeterli düzeyde kirleticilerden korunabilmesi için ve hem de yatırım ve işletme maliyetleri bakımından çok önem taşıyan bir husustur. Maliyetler konusu bu makalenin kapsamına alınmamıştır.

Havalandırma sistemleriyle ilgili hesaplamalar için hangi hava değişim sayılarının temel alınacağı sorusu, bazı projelerde ilgili kurallarda veya standartlarda verilen değerler dikkate alınarak cevaplanabilmektedir. Ancak her proje için bu olanak bulunamadığında, yani yapılacak işle doğrudan ilgili bir yönetmelik veya standart mevcut olmadığında, hava değişim sayısı (HDS) için doğru bir karar vermek zorlaşmaktadır.

Farklı kaynaklardan toplanan aşağıdaki bilgiler, laboratuvar tasarımıda çalışan meslektaşlarımıza yardımcı olmak düşüncesiyle derlenmiştir.

Laboratuvar havalandırması konusunda hava değişimiyle ilgili bir karara varmak hedefiyle çalışma yapılırken öncelikle aşağıda sıralanmış olan ve hava kirleticilerle ilgili tehlikeleri dikkate almak önemlidir, zira sonuçta laboratuvar çalışanlarının sağlık risklerinden olabildiğince korunması tasarımdaki en temel unsurdur.

2. LABORATUVAR EMİSYONLARI, KAYNAKLARI VE SAĞLIĞA ETKİLERİ

“Toksik Hava Kirleticileri” olarak tanımlanan ve aşağıda örnekleri listelenen birçok kimyasal maddenin laboratuvarlar için en büyük tehlikeyi oluşturduğu bilinmektedir:

- benzen
- 1,3-butadien (butadien, vinil etilen)
- karbon tetraklorür
- kloroform
- 1,4-dioksan (dioksan, glikol etil eter)
- etilen glikol monobutil eter (butil glikol)
- etilen glikol monoetil eter (etil glikol, 2-etoksietanol)
- etilen glikol metil eter (metil glikol)
- formaldehit
- metanol
- metil kloroform
- metilen klorür
- perkloroetilen (etilentetraklorür, tetrakloroetilen, tetrakloroeten)
- toluen
- trikloroetilen (asetilen triklorür, etilen triklorür, trikloroeten, trilen, TCE, TRI)
- ksilenler (dimetilbenzen, ksilol)

Aşağıda örnekleri verilen birçok laboratuvar işlemi sözü edilen kirleticilerin emisyonuna yol açabilmektedir:

- kromatografi
- distilasyon
- geri distilasyon
- çözücülerin ısıtılması
- kimyasallarla yapılan işlemler
- kimyasalların dökülmesi
- geri toplayıcısı olmayan döner buharlaştırıcılar
- içinde kirleticiler bulunan açık kaplarla yapılan her türlü çalışma

Yukarıdaki bilgiler dikkate alındığında laboratuvarlarda oluşabilecek olan emisyonların önlenmesi ve belirlenmiş olan güncel limit değerlerin aşılmadığı ortamlar sağlanması gerektiği açıkça ortaya çıkmaktadır.

Emisyon limit değerleri için Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'nün "İç Hava Kalitesi için Kılavuz: Seçilmiş Kirleticiler" başlıklı dokümanı referans alınabilir [1]; bu kılavuzda aşağıdaki kirleticiler, kaynakları ve bunlarla ilgili limit değerler verilmiştir:

Kirleticiler	Kirletici Kaynakları İçin Örnekler	Emisyon Limitleri
Benzen	Çözücülerin stoklanması ve kullanımı, inşaat malzemeleri, mobilyalar, boyalar, yapıştırıcılar, fotokopi ve yazıcı çıktısı işlemleri, sigara dumanı, dış ortam havası.	32 mg/m ³ (8 saat için)
Karbon monoksit	Yanma (ısıtma ve pişirme) kaynakları, egzoz gazı, sigara dumanı, dış ortam havası.	100 mg/m ³ (15 dakika için); 35 mg/m ³ (1 saat için), 10 mg/m ³ (8 saat için), 7 mg/m ³ (24 saat için)
Formaldehit	Mobilyalar, boyalar, yapıştırıcılar, deterjanlar, kozmetik ürünler, sunta, duvar ve zemin kaplamaları, bilgisayarlar, fotokopi makineleri, sigara dumanı.	0.1 mg/m ³ (30 dakika için)
Naftalin	Çok amaçlı çözücüler, yağlayıcılar, lastik/kauçuk, sigara dumanı, dış ortam havası.	0.01 mg/m ³ (yıllık ortalama)
Azot dioksit	Sigara dumanı, gaz-yağ-odun-kömür kullanılan ocak, fırın ve ısıtıcılar, dış ortam havası.	200 mikro-gram/m ³ (1 saat için)
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	Sigara dumanı, katı yakıtla pişirme ve ısıtma işlemleri, kreosot (koruyucu) içeren ahşap ürünler, dış ortam havası.	8.7x10 ⁵ nano-gram/m ³
Radon	Toprak, yeraltı ve kuyu suları.	300 Bq (Bekerele) /m ³ = 10 mSv (mili-Sievert) (yıllık)
Trikloretilen (TCE)	Kontamine içme ve musluk suyu, TCE içeren ağaç boyaları, vernikler, yağlayıcılar ve yapıştırıcılar.	4.3x10 ⁻⁷ mikro-gram/m ³
Tetrakloretilen	Kontamine içme ve musluk suyu, kontamine toprak, kumaşlar, yazıcı mürekkepleri, yapıştırıcılar, temizleme sıvıları, parfümler, leke çıkarıcılar, su savar ürünler, ahşap ve motor temizleyicileri, kuru temizleme yapılmış giysiler.	0.25 mg/m ³ (yıllık)

Bu tablodan görüleceği gibi, azot dioksit, benzen, karbon monoksit ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar olarak adlandırılan kirleticiler dış ortam havasında da bulunabilmektedir. Bu nedenle laboratuvar havalandırma tasarımında bu faktörün de dikkate alınması ve çevresel kirletici riskleri varsa bu risklerin en aza indirilmesi önemlidir.

DSÖ, yukarıda sıralanan kirleticilerden kaynaklanabilecek olan sağlık risklerini de gözler önüne sermektedir:

Kirleticiler	Muhtemel Etki
Benzen	Bitkinlik ve baş ağrısı, heyecanlanmanın ardından konuşma sorunları, baş dönmesi, uykusuzluk, mide bulantısı, ellerde ve ayaklarda iğnelenme, yüksek konsantrasyona maruziyette ölüm. Hematolojik hastalıklar (aplastik anemi/vücudun yeterli miktarda kan üretememesi, pansitopeni/kan hücrelerinin sayısının azalması, trombositopeni/kanda pıhtılaşmayı sağlayan trombositlerin sayısında azalma, granüloopeni/enfeksiyonlara karşı savaşan kan hücrelerinde azalma, lenfopeni/beyaz kan hücre sayısının normalin altına düşmesi ve lösemi/kan kanseri). İmmünolojik hastalıklar (lökosit düşüklüğü, kemik iliği kanseri). Kromozom / DNA bozukluğu. Dikkat: <i>Benzen, Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu (IACR) tarafından “Grup 1: insanlar için kanserojen” olarak tanımlanmıştır!</i>
Karbon monoksit	Nörolojik semptomlar, yorgunluk, baş ağrısı, vertigo, iritasyon, hafıza bozukluğu, kulak çınlaması, işitme bozukluğu, koku duyusunun azalması ve mide bulantısı. Koroner kalp hastalığı semptomlarında artış. Yüksek düzeyde maruziyette bilinçsizlik ve ölüm. Dikkat: <i>Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın MADDELERİN VE KARIŞIMLARIN SINIFLANDIRILMASI, ETİKETLENMESİ VE AMBALAJLANMASI HAKKINDA YÖNETMELİĞİ’ne göre Zararlılık Sınıflandırması şu şekildedir:</i> <i>H220: Alev.Gaz 1 - Çok kolay alevlenir gaz.</i> <i>H331: Akut Tok. 3 - Solunması halinde toksiktir.</i> <i>H360: Ürm. Sis. Tok. 1A - Doğmamış çocukta hasara yol açabilir veya üremeye zarar verebilir.</i> <i>H372: BHOT Tekrar. Mrz. 1 - Uzun süreli ve tekrarlı maruz kalma sonucu organlarda hasara yol açar.</i>
Formaldehit	Rahatsızlığa neden olan koku, gözlerde ve üst solunum yollarında duyuşal iritasyon, akciğer etkileri (astım ve alerji) ve egzama. Nazofarenks (gırtlak üst bölge) kanseri, lenfohematopoetik maligniteler (miyeloid lösemi – kemik iliği kanseri). Dikkat: <i>Formaldehit, Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu (IACR) tarafından “Grup 1: insanlar için kanserojen” olarak tanımlanmıştır!</i>
Naftalin	Hemolitik anemi (alyuvarların azalması). Methemoglobinemi (kanda aşırı methemoglobin/oksijen taşıyamayan hemoglobin formu bulunması). Solunum yolu lezyonları (solunum yolu kanserojenliği dahil). Dikkat: <i>Naftalin, Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu (IACR) tarafından “Grup 2B: insanlar için muhtemelen kanserojen” olarak tanımlanmıştır!</i>
Azot dioksit	Astım belirtilerini düşündüren solunum semptomları, akciğer hava yollarında daralma, hırıltı, öksürük ve solunum sıkıntısı, hava yolu iltihabı ve bağışıklık savunmasında azalma, bunun sonucunda solunum yolu enfeksiyonlarına karşı artan duyarlılık.

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar)	Akciğer kanseri. Mutajenik ve genotoksik etkiler (DNA yapısında/genlerde ve kromozomlarda hasar veya değişiklik). Rahim içi büyüme kısıtlaması. Bronşit, astım ve astım benzeri semptomlar. İskemik kalp (koroner arter) hastalığı (damar daralması veya tıkanması). Dikkat: PAH grubundaki kimyasal maddeler içinde, Uluslararası Kansere Araştırma Kurumu (IACR) tarafından "Grup 1: insanlar için kanserojen", "Grup 2A: insanlar için büyük olasılıkla kanserojen" ve "Grup 2B: insanlar için muhtemelen kanserojen" olarak tanımlananlar bulunmaktadır!
Radon	Akciğer kanseri. Özellikle lösemi ve üst solunum yolu kanserleri olmak üzere diğer kanserler. Dikkat: Radon, Uluslararası Kansere Araştırma Kurumu (IACR) tarafından "Grup 1: insanlar için kanserojen" olarak tanımlanmıştır!
Trikloretilen	Nörolojik etkiler (görsel ve işitsel potansiyellerdeki değişiklikler, psikomotor performanslarda azalma). Kardiyak etkiler (ventriküler fibrilasyon/anormal kalp ritmi) ve yoğun maruziyet durumunda ölüm. Akut karaciğer ve böbrek yetmezliği, ardından şiddetli beyin ödemi ve ölüm. Parkinson hastalığı riski. Genotoksik etkiler: Non-Hodgkin lenfoma/lenf kanseri, karaciğer kanseri, böbrek kanseri, safra yolu kanseri. Dikkat: Trikloretilen, Uluslararası Kansere Araştırma Kurumu (IACR) tarafından "Grup 2A: insanlar için büyük olasılıkla kanserojen" olarak tanımlanmıştır
Tetrakloretilen	Akut zehirlenme etkileri: Lokal tahriş (gözler, mukoza zarları, solunum yolu ve cilt), akciğer ödemi, bulantı, kusma ve ishal, Merkezi Sinir Sistemi üzerine etkiler (koordinasyon kaybı, anormal davranışlar, yüksek konsantrasyona maruziyette bilinç kaybı), böbrek yetmezliği, kalp durması). Hepatotoksik etkiler: Anormal karaciğer fonksiyon testleri, siroz/karaciğer hasarı, hepatit/karaciğer iltihabı, hepatomegali/karaciğer büyümesi ve karaciğer hücresi nekrozu/ölümü vb. Böbrek üzerindeki etkiler: Böbrek fonksiyon bozuklukları, böbrek hasarı. Mutajenik ve kanserojen etkiler: Yemek borusu, rahim ağzı, karaciğer, pankreas, kan ve Non-Hodgkin lenf kanserleri riskleri. Dikkat: Tetrakloretilen, Uluslararası Kansere Araştırma Kurumu (IACR) tarafından "Grup 2A: insanlar için büyük olasılıkla kanserojen" olarak tanımlanmıştır!

Yukarıdaki tabloda özetlenen veriler, konunun ne denli önemli olduğunu ve laboratuvarlarda ortama yayılabilecek olan kirleticilere karşı mutlaka önlem alınması gerektiğini açıkça göstermektedir.

3. YEREL KAYNAKLARDAN ÖRNEKLER

Yerel mevzuatta çeşitli türdeki laboratuvarlarla ilgili olarak kolaylıkla bulabileceğimiz ve özellikle hava değişimine ve havalandırmaya yönelik gereklilikler aşağıdaki tabloda toplanmıştır:

Kaynaklar	Kaynaklardaki İlgili Gereklilikler (Orijinal dokümandaki bölüm numaralarıyla verilmiştir)
SAĞLIK BAKANLIĞI: TIBBİ LABORATUVARLAR YÖNETMELİĞİ (2024) [2] Fiziki Şartlar, Madde 12	(5) Tıbbi biyokimya laboratuvarı asgari aşağıdaki şartları sağlar: a) İdrar ve gaita testleri <i>uygun havalandırması</i> olan ayrı bir alanda veya aynı teknik alan içerisinde çalışılır. d) Ksilen ve formaldehit kullanılan alanlarda <i>kimyasalların, çalışanların soluduğu hava düzeyine çıkmasını engelleyen havalandırma sistemleri</i> kurulur.
SAĞLIK BAKANLIĞI: Ulusal Mikrobiyoloji Standartları LABORATUVAR GÜVENLİĞİ REHBERİ (2021) [3] 1. Giriş ve temel kavramlar / Tehlike/Risk kontrolü	Mikrobiyoloji laboratuvarlarındaki <i>tek yönlü hava akımını sağlayan havalandırma-iklimlendirme</i> sistemleri de patojenlerin daha yüksek hava basıncına sahip dış ortama kaçmasını engellediğinden bir mühendislik kontrolüdür.
3. Standartlar / S06 LABORATUVAR TASARIMI	Laboratuvarın alt yapı düzenlemeleri, <i>havalandırması</i> ve tasarımı biyolojik, kimyasal ve fiziksel tehlikeler göz önüne alınarak yapılmalıdır. Laboratuvarlarda aerosol ile bulaşma riski yüksek mikroorganizmalarla çalışılan alanlarda <i>havalandırma</i> birey ve çevre güvenliğini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.
5. Biyolojik tehlikeler / Biyogüvenlik Düzeyleri Biyogüvenlik Düzeyi-3 (BGD-3)	Laboratuvarın hava basıncı dış ortama göre negatiftir ve dolayısıyla dışarıdan <i>içeri doğru tek yönlü bir hava akımı</i> sağlanır. Dışarı atılan hava HEPA filtrelerden geçirilerek dış ortama salınır.
7. Kimyasal tehlikeler / Kimyasal tehlikelere karşı korunma Mühendislik Önlemleri	Mühendislik önlemleri tehlikeyi kaynağında sınırlamak amacıyla kullanılan donanımları ve havalandırma sistemlerini kapsar. Bunların başında çeker ocaklar gelir. <i>Genel laboratuvar havalandırması:</i> Tehlikeli kimyasalların yoğun olarak kullanıldığı laboratuvarlarda havanın %100'ünün dış ortama verilmesi gerekir. Laboratuvarda aynı havanın sirküle olmaması gerekir. Tehlikeli kimyasal buharlarının yayılmasını önlemek için laboratuvarların diğer alanlara göre <i>negatif basınçlı</i> olması önerilmektedir. Kimyasalların yoğun kullanılmadığı laboratuvarlarda, tehlikeli kimyasalların çeker ocak içinde çalışılması durumunda, ortamın iyi <i>havalandırılması</i> yeterli olabilir.
9. Laboratuvar tasarımı / BGD-2 laboratuvar tasarımında temel ilkeler Havalandırma	<i>Havalandırma</i> laboratuvar tasarımında yer alan en önemli ve en pahalı elemanlardan biridir. <i>Laboratuvar havalandırması</i> çalışan sağlığını korumaya yönelik olarak tasarlanmalıdır. Tam bir

Otoklav Odası	<i>havalandırma</i> sistemi tehlikeli aerosollerden, tehlikeli buhar veya kokulardan korur ve ortam sıcaklığının istenen aralıkta kalmasını sağlar. Belirli işlemlerden kaynaklanan hoş olmayan kokuların olduğu alanlarda, <i>doğal veya mekanik havalandırma</i> tavsiye edilir. Böylece, hem laboratuvar içinde hem de laboratuvar dışında çalışanlar ve toplum için güvenli bir çevre oluşturur. Tek yönlü hava akımı ile havayı <i>en tehlikesiz alandan en tehlikeliye doğru yönlendiren bir hava akımını</i> oluşturmak amaçlanır. Çalışma alanlarındaki hava basıncının koridor ve diğer laboratuvar-dışı alanlara göre daha düşük olması (<i>negatif basınç</i>) önerilir. BGD-2 laboratuvarlar için spesifik bir <i>havalandırma</i> gerekliliği yoktur ancak yeni yapılacak laboratuvarlarda <i>mekanik havalandırma</i> sistemlerinin bulunması, hava değişim sayısının saatte 6-12 olması ve içerideki havanın tamamının dış ortama verilmesi önerilir. Hava değişim sayısı laboratuvardaki cihazların sayısı ve soğutma ihtiyacına göre değişir. Mekanik <i>havalandırma</i> ile laboratuvar içindeki hava %100 dışarı verilir. BGD-3 laboratuvarlarda laboratuvar içindeki hava HEPA filtreden geçerek dışarı verilir. Merkezi <i>havalandırma</i> bulunan laboratuvarlarda otoklavın bulunduğu odada saatte en az 10 kez hava değişimi önerilir. Merkezi <i>havalandırması</i> olmayan laboratuvarlarda otoklav odasına <i>düzenli taze hava akışı</i> sağlanmalıdır. <i>Otoklavın bulunduğu odanın negatif basınçlı olması</i> diğer bir alternatif olup bu durumda kokunun diğer alanlara yayılması önlenir.
SAĞLIK BAKANLIĞI: LABORATUVAR GÜVENLİĞİ EL KİTABI (2019) [4] 4. KİMYASAL GÜVENLİK Kimyasal Güvenlik Seviyesi 1: KGS 1 grubuna giren laboratuvarlar (minimum tehlike sınıfı) Kimyasal Güvenlik Seviyesi 2: KGS 2 grubuna giren laboratuvarlar (düşük tehlike sınıfı) Kimyasal Güvenlik Seviyesi 3: KGS 3 grubuna giren laboratuvarlar (orta tehlike sınıfı) Kimyasal Güvenlik Seviyesi 4: KGS 4 grubuna giren laboratuvarlar (yüksek tehlike sınıfı)	KGS 1 laboratuvarları çeker ocak veya özel bir <i>havalandırma sistemi</i> gerektirmez. Böyle bir laboratuvarda çeker ocak gerekebilir. Bu laboratuvarlar, <i>çeker ocaklar veya lokal tahliyenin</i> gerekli olduğu laboratuvarlardır. Özel tasarlanmış laboratuvarlardır.

5. BİYOGÜVENLİK	BGD (Biyogüvenlik Düzeyi) 3 Tecrit ve BGD 4 Maksimum Tecrit Laboratuvarları: <i>Tek yönlü hava akımı/negatif basınç gereklidir.</i> Laboratuvar sıcaklığı 18 - 27 °C arasında; nemi ise $\leq$ %50 olmalıdır.
SAĞLIK BAKANLIĞI: TÜBERKÜLOZ LABORATUVARLARININ ÇALIŞMA USUL VE ESASLARINA DAİR TEBLİĞ BİRİNCİ BÖLÜM (2015) [5] Tüberküloz Laboratuvarlarının Biyogüvenlik Şartları, Madde 9 (1) Düşük riskli tüberküloz laboratuvarı (2) Orta riskli tüberküloz laboratuvarı ve (3) Yüksek riskli tüberküloz laboratuvarı	4) Alan havalandırmasının yeterli olması sağlanır. a) Laboratuvar tasarımı olarak <i>havalandırmanın temiz alandan kirli alana doğru tek yönlü olması</i> sağlanır. 2) Laboratuvar alanı <i>izlenebilir negatif basınçlıdır</i>.
SAĞLIK BAKANLIĞI: ULUSAL TÜBERKÜLOZ TANI REHBERİ (2014) [6] Düşük Riskli Laboratuvarın Fiziki Koşulları Orta Riskli Laboratuvarın Fiziki Koşulları Yüksek Riskli Laboratuvarın Fiziki Koşulları	Alanın <i>havalandırması</i> yeterli olmalıdır; bu işlem iklim koşulları uygun olan yerlerde <i>doğal havalandırma</i> ile de sağlanabilir. Temiz alandan <i>kirli alana doğru tek yönlü hava akımı</i> olan ve saatte 6-12 kez temiz hava değişimi sağlayan <i>mekanik havalandırma</i> sistemli bir çalışma alanı oluşturulmalıdır. Laboratuvar alanı <i>izlenebilir negatif basınçlı</i> olmalıdır. Laboratuvarın <i>havalandırma</i> sistemi, taze hava ile beslenen ve <i>genel havalandırma sisteminden bağımsız hava akışına sahip</i> olarak tasarlanmalı veya laboratuvarın havasının genel <i>havalandırma</i> sistemine dönüşü engellenmelidir.
SAĞLIK BAKANLIĞI: DİŞ PROTEZ LABORATUVARLARI YÖNETMELİĞİ (2005/2022) [7] Fiziki Alt Yapı Şartları, Madde 5	Laboratuvarlar; özel kanunlarında belirtilen şartlar dışında fiziki bakımdan şu özellikleri taşımalıdır: d) <i>Havalandırma</i> ve aydınlanması sağlık şartlarına uygun olmalıdır. h) Diş protez teknisyenliği meslek hastalığına sebebiyet verebilecek olan alçı, tesviye, akril hazırlama gibi işlemlerin yapıldığı çalışma alanlarında, ortama kimyasal madde/toz yayılımını engelleyen akril hazırlama kabini, maske, eldiven gibi araç ve gereçler kullanılır ya da bu işlemlerin yapıldığı alanın genel ortamdan ayrı bağımsız bir <i>havalandırma</i> şartı oluşturulur.

TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI: GIDA KONTROL LABORATUVARLARI YÖNETMELİĞİ UYGULAMA TALİMATI (2023) [8] Genel Esaslar, Madde 5	(4) Laboratuvarlarca özel ortam gerektiren analizlere (mikrobiyolojik, moleküler biyolojik, duyuşal, enstrümental analizler gibi) ait Yönetmelikte belirtilen şartlar (kontrollü giriş-geçiş, <i>havalandırma</i>, UV lamba, ısı, ışık, koku, nem gibi) sağlanmalıdır. (6) <i>Havalandırma</i> sistemi laboratuvar ortamına çıkan gazların uzaklaştırılmasını sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. (9) Mikrobiyoloji laboratuvar biriminde besiyeri hazırlama ve sterilize etme, ekim ve inkübasyon bölümlerinde tavan UV lambaları ve <i>HEPA filtreli havalandırma</i> bulunmalıdır. Ortamın mikrobiyal yükü belirli aralıklarla kontrol edilip kayıt altına alınmalıdır. (10) Moleküler biyoloji analiz biriminde numune hazırlama ve tartım odası, DNA izolasyon (ekstraksiyon) odası ve PCR (polimeraz zincir reaksiyon) öncesi işlemlerin yapıldığı odalarda <i>HEPA filtreli havalandırma</i> bulunmalıdır. DNA izolasyon (ekstraksiyon) odası ve PCR (polimeraz zincir reaksiyon) öncesi işlemlerin yapıldığı odada HEPA filtreli biyogüvenlik kabininin bulunması durumunda bu odalarda ayrıca <i>HEPA filtreli havalandırma</i> zorunluluğu bulunmamaktadır.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI: DENEYSEL VE DİĞER BİLİMSEL AMAÇLARLA KULLANILAN HAYVANLARIN REFAH VE KORUNMASINA DAİR KILAVUZ (2012) [9] 2. Çevre ve kontrolü: 2.1. Havalandırma:	2.1.1. Kuruluş odalarında ve hayvan muhafazalarında (kafesler gibi), barındırılan hayvanların gereksinimlerini karşılamak üzere yeterli <i>havalandırma</i> temin edilmelidir. <i>Havalandırma</i> sisteminin amacı, uygun kalitede yeterli taze hava sağlamak ve her türlü koku, zehirli gaz, toz ve enfeksiyöz ajanın düzeyini ve dağılımını asgaride tutmaktır. Ayrıca, bu sistem ısı ve nem fazlasının ortamdaki çıkarılmasını da sağlar. 2.1.2. Odadaki hava, sık sık yenilenmelidir. Saatte on beş ile yirmi hava değişimine denk bir <i>havalandırma</i> hızı normal şartlarda yeterlidir. Ancak, bazı şartlarda, örneğin stok yoğunluğunun düşük olduğu hallerde, saatte sekiz ile on hava değişimi yeterli olabilir. Bazı durumlarda, <i>doğal havalandırma</i> yeterli olabilir ve <i>mekanik havalandırmaya</i> ihtiyaç dahi duyulmayabilir. Arıtılmamış havanın yeniden dolaşıma verilmesinden kaçınılmalıdır. Buna karşın, temizleme rutinlerinin zayıf olduğu veya ihmalkârlık görüldüğü durumlarda, en verimli sistemin bile durumu telafi edemeyeceği vurgulanmalıdır.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI: DeneySEL ve Diğer Bilimsel Amaçlar İçin Kullanılan Hayvanların Refah ve Korunmasına Dair Yönetmeliğin Uygulama Talimatı (2012) [10] Yerleşim Yerleri, Kuruluşların Bölümleri, Hayvanların Bakım, Barınma ve Nakillerinde Genel Standartlar, Yerleşim yeri Madde 5	(1) Deney hayvanı merkezi olarak kurulacak yerleşim yerlerinin, hayvan sağlığı ve refahının yanı sıra halk sağlığı açısından da uygun yerlerde yapılması esastır. Bu amaçla kuruluş aşağıdaki esaslara uymakla yükümlüdür: c) Kuruluştaki hayvanlardan çevreye, çevreden de kuruluştaki hayvanlara hastalık etkeni ve zoonotik etkenin bulaşma ihtimali bulunmayan ya da en az olan yer olmalıdır. Bulaşma için riskli

Laboratuvar hayvanları için kuruluşlardaki donanım Madde 7	olan beşeri klinik veya poliklinik, kreş, yemekhane ve benzeri yerlere yapılmasına izin verilmez ya da kuruluşların kontrollü giriş ve çıkış için gerekli tedbirleri alması, <i>kontaminasyon riskini en aza indirecek havalandırma sistemi</i> kurmayı taahhüt etmesi kaydıyla izin verilir. (1) Hayvan sağlığı, refahı ve halk sağlığının korunması için gerekli donanım bulundurulur: b) <i>Havalandırma sistemi</i>, nem sistemi ve yedek güç ünitesi.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI: DENEYSEL VE DİĞER BİLİMSEL AMAÇLAR İÇİN KULLANILAN HAYVANLARIN REFAH VE KORUNMASINA DAİR YÖNETMELİK (2011/2019) [11] Kuruluşlar ve Hayvanların Bakım ve Barınması için Genel Bölümlerin Özellikleri, Madde 7	(2) Uygun çevre ve kontrolünün sağlanması için zorunlu şartlar aşağıda belirtilmiştir: a) <i>Havalandırma</i> ve sıcaklık bakımından; 1) Barındırma odalarının izolasyonu, ısıtılması ve <i>havalandırılması</i> hava akımının, toz düzeyinin ve gaz konsantrasyonunun barındırılan hayvanlar için zararlı olmayacak sınırlar dâhilinde tutulması sağlanır.
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI: İŞ HİJYENİ ÖLÇÜM, TEST VE ANALİZ LABORATUVARLARI HAKKINDA YÖNETMELİK (2017) [12] Laboratuvarın Asgari Özellikleri, Madde 11 Personelin Sağlık ve Güvenliği, Madde 15	(2) Birden fazla fiziksel, kimyasal ve biyolojik etken analizlerinin beraber yapılması ve birbirlerinin deney sonuçlarını ve bu sonuçların kalitesini olumsuz etkileme ihtimalinin bulunması durumlarında, laboratuvar bu ihtimali ortadan kaldıracak şekilde düzenlenir. d) <i>Uçucu kimyasal maddelerin kullanıldığı alanlarda havalandırma sistemi</i> kurulur.
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI: ÇEVRE ÖLÇÜM VE ANALİZ LABORATUVARLARI YETERLİK YÖNETMELİĞİ (2013) [13] Laboratuvarların Asgari Özellikleri, Madde 7	(1) Laboratuvarlar verilen hizmetin niteliğine bağlı olarak aşağıda yer alan asgari özellik ve nitelikleri taşımak zorundadır: a) Laboratuvarlarda analizlerin ve kullanılan cihazların gerektirdiği özel koşulları sağlamak üzere uygun aydınlatma, <i>iklimlendirme</i> ve <i>havalandırma</i> sistemleri bulundurulur.

NÜKLEER DÜZENLEME KURUMU: TIBBİ RADYOLOJİ ODALARININ HAVALANDIRILMASINA İLİŞKİN KILAVUZ 2024-KLV-001 [14]	İyonlaştırıcı radyasyon üreten cihazların kullanıldığı tıbbi radyoloji odalarında üretilen radyasyonun enerjisi nedeniyle söz konusu zararlı gazların dikkate değer ölçüde meydana gelmesi beklenmemektedir. Bununla birlikte bu alanlarda uygun sıklıkta hava değişiminin sağlanması amacıyla uygun <i>havalandırmanın</i> iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı açısından sağlanması önem taşımaktadır. Tıbbi radyoloji odalarında oluşan ozon ve azot oksit gazlarının konsantrasyon değerleri (ppm), eşik konsantrasyon değerlerinin altında olduğundan ihmal edilebilir düzeydedir. Bu nedenle söz konusu odalarda yürütülen tıbbi radyasyon uygulamaları sonucu ortaya çıkan <i>zararlı gazların uzaklaştırılmasına yönelik bir havalandırma</i> sisteminin kurulması zorunlu değildir. İş sağlığı ve güvenliği; çalışma sırasında insan sağlığına zarar verebilecek tüm unsurlardan korunmayı ve çalışma ortamının iyileştirilmesini hedef alan sistemli tüm faaliyetleri kapsadığından, çalışma alanında <i>havalandırma</i> sisteminin bulundurulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışanların ve halkın radyasyondan korunmasının sağlanabilmesi için; radyasyon güvenliği kapsamında çalışma esnasında tıbbi radyoloji odasında kapının kapalı olması, giriş çıkışların kontrol altında tutulması, duvarlarda zırhlama malzemesi bulunması gibi önlemler alınması gerekmektedir. Bu önlemler ve çalışılan alandaki hasta yoğunluğu gibi faktörlerin oda içerisindeki hava hijyeninin azalmasına yol açmasının engellenmesi, dolayısıyla <i>uygun sıklıkta hava değişiminin sağlanması</i> amacıyla ilgili mevzuata uygun <i>havalandırmaya</i> ilişkin gerekli olabilmektedir.
---	---

Yukarıdaki tabloda görülen gereklilikler göz önüne alınarak şu değerlendirmeler yapılabilir:

- Laboratuvarlarla ilgili mevzuat arandığında yönetmelik, kılavuz, rehber, el kitabı vb. şeklinde karşımıza çıkan kaynaklarda genellikle HDS bilgisinin yer almadığı ve “uygun havalandırma olması”, “havalandırmanın ortamdaki gazları uzaklaştıracak şekilde tasarlanması”, “kimyasalların çalışanlara ulaşmamasını sağlayan havalandırma sistemleri kurulması”, “uygun iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin bulundurulması”, “kontaminasyon riskini en aza indirecek havalandırma sistemi kurulması”, “uygun sıklıkta hava değişiminin sağlanması” gibi genel ifadelerle gereklilik tanımı yapıldığı görülmektedir.
- Ancak, konu laboratuvar güvenliği veya biyogüvenlik olduğunda, kaynak dokümanlarda HDS değerleriyle ilgili somut değerlerin verildiğini görmek mümkündür. Bazı örnekler aşağıdaki tabloda görülebilir:

Laboratuvar / Alan Tanımı	Hava Değişim Sayısı (Saat Başına ve Mesai İçinde)	Açıklamalar
BGD-2 Laboratuvarı	6-12	Yeni yapılacak laboratuvarlar için.
BGD-2 Lab. Otoklav Odası	En az 10	Merkezi havalandırma bulunan laboratuvarlar için. (Merkezi havalandırması olmayan laboratuvarlarda otoklav odasına düzenli taze hava akışı sağlanmalıdır.)
Orta riskli tüberküloz laboratuvarları	6-12	
Laboratuvar hayvanlarının barındırıldığı alanlar	15-20 8-10 (*)	(*) Bazı şartlarda, örneğin hayvan stok yoğunluğunun düşük olduğu hallerde.
Tıbbi radyoloji laboratuvarları	10	Mesaisi yoğun ve devamlı olan röntgen laboratuvarları için.

- Tablodaki HDS limitleri incelendiğinde, laboratuvarlardaki hava değişimi için en az 6 ve özellikle koku oluşan ortamlar için ise en çok 20 değerinin seçilmesi önerildiği görülmekle birlikte, yoğunlukla belirli bir aralık içinde kalınmasının yeterli olacağı anlaşılmaktadır.

Yukarıda görülen HDS ile ilgili mevzuat gerekliliklerinin söz konusu laboratuvarlar için sağlanması tabii ki zorunludur. Ancak HDS belirlenirken, ortamda oluşabilecek ısınin ve rutubetin uzaklaştırılması gereği de dikkate alınmakta ve hesaplama buna göre yapılmakta olduğundan, sonuçta temel alınacak olan HDS değeri mevzuat gereklerini karşıladığı sürece farklı, yani daha yüksek değerde seçilebilecektir. Ayrıca saatteki hava değişiminin gerektiğinde daha yüksek olması, türbülanslı hava akımının olduğu bir laboratuvar odası için zorunlu görülebilir. Bu duruma işaret eden bir makalede [15] hava değişim sayısının artırılmasının odadaki ana hava akış bölgesi dışında bulunan ve oda ortalamasından çok daha yüksek olan kirleticilerin konsantrasyonunu büyük oranda azalttığı gösterilmiştir. Bu kaynakta yer alan çalışma sonuçları, oda havalandırma tasarımının alanın tamamından

kirleticileri uzaklaştırmaya olanak vermediği (örneğin taze hava giriş ve atık hava çıkış menfezlerinin yerlerine, hava difüzörlerinin türüne, odadaki havanın dağılımını etkileyen donanımlara, ısısal etkilere bağlı olarak temiz havanın odanın tamamına dağıtılamadığı) durumlarda hava değişim sayısının yüksek seçilmesi gerektiğini göstermektedir. Sözü edilen çalışmada, kirletici kaynak konumuna ve HDS değerine bağlı olarak kirleticilerin ortamda tamamen farklı dağılımlar sergiledikleri, bu nedenle havalandırma tasarımı yapılırken kirleticinin ortaya çıktığı noktanın ana akış bölgesi içinde yer almasının veya akışın kaynak bölgesini içine alacak şekilde kurgulanmasının en iyi iç hava kalitesini sağlaması açısından önemli olduğu belirtilmiştir.

- Biyolojik ve kimyasal risklerin bulunduğu laboratuvarlarda genel olarak
 - dışarıdan içeriye, yani kirli alandan temiz alana doğru tek yönlü hava akımı sağlanarak patojenlerin dış ortama kaçmasının önlenmesi,
 - havanın geri döndürülmemesi ve %100 oranında dışarı atılması,
 - izlenebilir bir eksi basınç uygulanması
- gerektiği de ilgili bir çok kaynakta belirtilmektedir.

4. YABANCI KAYNAKLARDAN ÖRNEKLER

Yabancı kaynaklarda laboratuvarlardaki hava değişimi ile ilgili gereklilikler için bulunan bazı örnekler aşağıda verilmiştir:

A. CEN/TS 17441: Laboratuvar Kurulumları – Laboratuvarlarda havalandırma sistemleri [16]

- TS EN 16798-1'de (Binaların enerji performansı – Binalar için havalandırma; eski EN 15251'de) belirtilen konfor kriterlerine uygun olarak yeterli temiz hava sağlanmalıdır.
- Kirliliği havayı solumaktan kaynaklanabilecek sağlık risklerini önlemek için çeker ocaklarda veya laboratuvarlarda salınmış olabilecek tehlikeli maddelerin seyreltilmesi ve uzaklaştırılması gereklidir.
- Laboratuvar ekipmanları için gereken egzoz havası ve besleme havası ihtiyacı karşılanmalıdır.
- Bazı ülkelerdeki tipik uygulama örnekleri aşağıda görülebilir:

Almanya	8 hava değişimi (alan büyüklüğüne bağlı olarak)
Hollanda	5 hava değişimi (genel gereklilik)
İspanya	4 hava değişimi (laboratuvarın doluluk oranına bağlı olarak)

B. ANSI/ASSP Z9.5: Laboratuvar Havalandırması [17]

Tipik seyreltme havalandırması oranları, maruz kalma riskine ve ısıtma, soğutma ve konfor ihtiyaçları ve maruziyet kontrol cihazlarının sayısı ve boyutu ve mesai içi ile mesai dışı çalışma modları gibi minimum havalandırma oranlarını belirleyen diğer faktörlere bağlı olarak **saatte 4 ila 10 hava değişimi** arasında değişebilir.

C. ASHRAE: Laboratuvar Havalandırma Tasarımı Düzeylerinin Sınıflandırılması [18]

LVDL	Tehlikeli Madde Miktarları	Havaya Yayılma Potansiyeli	Tehlike Şiddeti	Laboratuvar veya Uygulama Örnekleri	Besleme ve Egzoz Hava Akışı Gereksinimleri
0	Göz ardı edilebilir	Göz ardı edilebilir	Göz ardı edilebilir	- Bilgisayar ve enstrümantasyon laboratuvarları - Orta öğretim laboratuvarları - Sıcaklık kontrollü odalar (soğuk odalar, sıcak odalar)	ANSI-ASHRAE Standard 62.1'e göre
1	Az	Göz ardı edilebilir	Düşük	- Orta öğretim laboratuvarları - Kalite Kontrol laboratuvarları - Biyolojik laboratuvarlar (dezenfektanlar dışında uçucu tehlikeli maddeler olmadan)	ANSI-ASHRAE Standard 62.1'e göre
2	Orta	Düşük	Düşük – Orta arası	- Üst-düzey lisans araştırma laboratuvarları - Biyokimya laboratuvarları (yoğunlukla sulu çözeltilerle çalışmalar) - Üniversite öğretim laboratuvarları	MESAİ İÇİ: 4 - 6 hava değişimi (Çevre-Sağlık-Güvenlik uzmanı tarafından yeterli bilgiye dayanarak yapılacak olan tehlike incelemesine ve sonuçlarına dayanılarak). Havalandırma etkinliğinin validasyonu yeterli seyreltme ve kirlenici gideriminin sağlandığını gösteriyorsa genel havalandırma oranı daha düşük olabilir. MESAİ DIŞI: ANSI-ASHRAE Standard 62.1'e göre

3	Büyük	Yüksek	Yüksek	- İnorganik ve organik sentez laboratuvarları - Tipik araştırma laboratuvarları	MESAİ İÇİ: Tüm endişe verici emisyon kaynakları yerel egzoz havalandırması kullanılarak kontrol altına alınırsa ve genel havalandırma sisteminden yetersiz hava dağıtımı veya karışımı endişe konusu değilse: •Tipik olarak 6 hava değişimi (*) Aksi halde •8 veya daha fazla hava değişimi, veya havalandırma etkinliğinin incelenmesi ve iyileştirilmesi. Havalandırma etkinliğinin validasyonu yeterli seyreltme ve kirletici gideriminin sağlandığını gösteriyorsa genel havalandırma oranı daha düşük olabilir. (*) Proje özelinde yapılan analizlere göre minimum hava değişim oranları artırılabilir. MESAİ DIŞI: Tipik olarak 4 hava değişimi (*) Havalandırma etkinliğinin validasyonu yeterli seyreltme ve kirletici gideriminin sağlandığını gösteriyorsa genel havalandırma oranı daha düşük olabilir. (*) Proje özelinde yapılan analizlere göre minimum hava değişim oranları artırılabilir.
---	-------	--------	--------	--	--

4	Çok Büyük	Çok Büyük	Aşırı	- Kimyasal geliştirme laboratuvarları - Polimer sentez laboratuvarları - İnorganik ve organik kimyasal sentez laboratuvarları - Özel yüksek tehlikeli araştırma laboratuvarları	MESAİ İÇİ: Tüm endişe verici emisyon kaynakları yerel egzoz havalandırması kullanılarak kontrol altına alınırsa ve genel havalandırma sisteminden yetersiz hava dağıtımı veya karışımı endişe konusu değilse: •Tipik olarak 8 hava değişimi (*) Aksi halde •10 veya daha fazla hava değişimi, veya havalandırma etkinliğinin incelenmesi ve iyileştirilmesi. Havalandırma etkinliğinin validasyonu yeterli seyreltme ve kirletici gideriminin sağlandığını gösteriyorsa genel havalandırma oranı daha düşük olabilir. (*) Proje özelinde yapılan analizlere göre minimum hava değişim oranları arttırılabilir. MESAİ DIŞI: Tipik olarak 4 hava değişimi (*) Havalandırma etkinliğinin validasyonu yeterli seyreltme ve kirletici gideriminin sağlandığını gösteriyorsa genel havalandırma oranı daha düşük olabilir. (*) Proje özelinde yapılan analizlere göre minimum hava değişim oranları arttırılabilir.
---	-----------	-----------	-------	--	--

D. OSHA: Laboratuvarlarda Tehlikeli Kimyasallara Mesleki Maruziyet [19]

- (b) Kontrolsüz kimyasal buharların laboratuvardan dışarı çıkmasının önlenmesi için, laboratuvardan atılan hava miktarı ile laboratuvara verilen hava miktarı arasında negatif bir basınç farkı bulunmalıdır.
- (d) Kimya laboratuvarlarındaki hava, iş günü boyunca kokulu veya toksik maddelerin konsantrasyonlarının artmaması için sürekli olarak değiştirilmelidir.
- (e) Laboratuvar havası yeniden dolaştırılmamalı, doğrudan dışarıya atılmalıdır.
- (f) Hava basıncı binanın geri kalanına göre negatif olmalıdır. Yerel emiş cihazı ve sistemleri yalnızca deneyimli bir mühendis veya endüstriyel hijyen uzmanı tarafından tasarlanmalıdır.

E. NRC: Laboratuvarda Tedbirli Uygulamalar - Kimyasal Tehlikelerin Ele Alınması ve Yönetimi [20]

- Genel laboratuvar havalandırması tipik olarak **saatte 6 ila 12 oda havası değişimi** sağlayacak şekilde ayarlanır. Ancak, havalandırma hızları için kesin bir gereklilik yoktur. Analitik ekipmana sahip olanlar gibi yüksek iç ısı yüklerine sahip laboratuvarları soğutmak veya büyük özel egzoz sistemi gereksinimleri olan veya çok sayıda çeker ocaklara veya diğer yerel egzoz havalandırma cihazlarına sahip laboratuvarlar için daha fazla hava akışı gerekebilir.
- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) Endüstriyel Havalandırma Kılavuzu'nda, “ ‘saat başına hava değişimi’ veya ‘dakika başına hava değişimi’, tehlikelerin, ısının ve/veya kokuların çevresel kontrolünün gerekli olduğu havalandırma kriterleri için zayıf bir temeldir. Gerekli havalandırma, soruna bağlıdır, sorunun meydana geldiği odanın boyutuna değil” ifadesi yer almaktadır.
- Kirleticilere maruz kalmayı önlemek için öncelikle seyreltme havalandırması yapıldığı durumlarda, havalandırma hızı laboratuvarda kullanılan maddelere bağlıdır.
- Standart endüstriyel hijyen hesaplamaları gerekli hızı belirlemeye yardımcı olabilir.

- Minimum hızları belirlemek için genellikle hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelleri kullanılır.
- Hava her zaman ofislerden, koridorlardan ve destek alanlarından laboratuvarlara doğru akmalıdır.
- Kimyasal laboratuvarlardaki tüm hava dışarıya verilmelidir ve tekrar dolaştırılmamalıdır. Bu nedenle, laboratuvar aynı zamanda temiz bir oda olmadığı sürece, kimyasal laboratuvarlardaki hava basıncı binanın geri kalanına göre negatif olmalıdır.

F. CDC: Sağlık Tesislerinde Tüberküloz Mikobakterisinin Bulaşmasını Önlemeye Yönelik Kılavuz [21]

- Mikrobiyoloji laboratuvarlarında **en az 6 hava değişimi** sağlanmalı, hava akışı komşu alanlardan laboratuvara doğru olmalı ve hava doğrudan dışarı atılmalıdır.
- Havadaki kirleticilerin %99 ve %99,9 etkinlikte ortamdan uzaklaştırılması için gereken en az hava değişim sayıları aşağıdaki tabloya göre seçilebilir:

Saat başına hava değişimi	Uzaklaştırma etkinliği için gereken süre (dakika)	
	%99	%99,9
2	138	207
4	69	104
6	46	69
12	23	35
15	18	28
20	7	14
50	3	6
400	<1	1

Bu tablodaki veriler dikkate alındığında, 6 hava değişimi ile çalıştırılan bir laboratuvarda kirleticilerin %99 ve %99,9 oranında ortamdan uzaklaştırılabilmesi için sırasıyla 46 ve 69 dakika süre gerekeceği görülmektedir. Bu tür bir toparlanma süresinin uzun ve kabul edilemez olduğu durumlarda hava değişiminin artırılması zorunlu olacaktır. Ayrıca laboratuvarda bir kaza sonucu tehlikeli maddelerin ortama yayıldığı durumda, havalandırma sisteminin kısa süre içinde ortam hava kalitesini yeniden çalışabilir düzeye getirmesi isteniyorsa, tasarımın buna olanak sağlayacak şekilde yapılması gerektiği de ortaya çıkmaktadır.

G. NFPA 45 Amerikan Milli Yangın Koruma Birliği: Kimyasallar Kullanan Laboratuvarlar İçin Yangın Koruması Standardı [22]

- Kimyasalların bulunduğu laboratuvar üniteleri sürekli olarak havalandırılmalıdır.
- Mesai dışındaki zamanlarda (örneğin geceleri ve hafta sonları) laboratuvarların minimum havalandırma hızı **saatte dört oda havası değişimidir**.
- Mesai zamanlarında laboratuvarlar, laboratuvarın kullanım koşullarına uygun olarak, genellikle **saatte sekizden fazla oda havası değişimiyle** çalışırlar.

Yukarıda verilen örnek referans dokümanlarda yer alan bilgilere dayanılarak aşağıdaki vargılar çıkarılabilir:

- Havalandırma tasarımında aşağıdaki tabloda verilen HDS değerlerinin en düşük öneriler olarak kabul edilmesi ve açıklamalardaki hususların dikkate alınması uygun olacaktır:

Laboratuvar / Alan Tanımı	Hava Değişim Sayısı (Saat Başına ve Mesai İçinde)	Açıklamalar
Orta miktarda tehlikeli madde bulunan, havaya yayılma potansiyeli düşük ve tehlike şiddeti orta olan laboratuvarlar: • Üst-düzey lisans araştırma laboratuvarları • Biyokimya laboratuvarları (yoğunlukla sulu çözeltilerle çalışmalar) • Üniversite öğretim laboratuvarları	4-6	Çevre-Sağlık-Güvenlik uzmanı tarafından yeterli bilgiye dayanarak yapılacak olan tehlike incelemesine ve sonuçlarına dayanılarak belirlenmelidir. Havalandırma etkinliğinin validasyonu yeterli seyreltme ve kirletici gideriminin sağlandığını gösteriyorsa genel havalandırma oranı daha düşük olabilir.
Büyük miktarda tehlikeli madde bulunan, havaya yayılma potansiyeli ve tehlike şiddeti yüksek olan laboratuvarlar: • İnorganik ve organik sentez laboratuvarları • Tipik araştırma laboratuvarları	6 (Mesai dışında: 4)	Tüm endişe verici emisyon kaynakları yerel egzoz havalandırması kullanılarak kontrol altına alınırsa ve genel havalandırma sisteminden yetersiz hava dağıtımı veya karışımı endişe konusu değilse bu değer tipik olarak seçilebilir. Aksi halde =>8 hava değişimi önerilir.

		Havalandırma etkinliğinin validasyonu yeterli seyreltme ve kirlenici gideriminin sağlandığını gösteriyorsa genel havalandırma oranı daha düşük olabilir. Proje özelinde yapılan analizlere göre minimum hava değişim oranları artırılabilir.
Çok büyük miktarda tehlikeli madde bulunan, havaya yayılma potansiyeli ve tehlike şiddeti çok yüksek olan laboratuvarlar: • Kimyasal geliştirme laboratuvarları • Polimer sentez laboratuvarları • İnorganik ve organik kimyasal sentez laboratuvarları • Özel yüksek tehlikeli araştırma laboratuvarları	8 (Mesai dışında: 4)	Tüm endişe verici emisyon kaynakları yerel egzoz havalandırması kullanılarak kontrol altına alınırsa ve genel havalandırma sisteminden yetersiz hava dağıtımı veya karışımı endişe konusu değilse bu değer tipik olarak seçilebilir. Aksi halde =>10 hava değişimi önerilir. Havalandırma etkinliğinin validasyonu yeterli seyreltme ve kirlenici gideriminin sağlandığını gösteriyorsa genel havalandırma oranı daha düşük olabilir. Proje özelinde yapılan analizlere göre minimum hava değişim oranları artırılabilir.
Kimya Laboratuvarları	En az 8 (Mesai dışında: en az 4)	
Mikrobiyoloji Laboratuvarları	En az 6	

- HDS değerlerinin aşağıda sıralanan faktörler dikkate alınarak belirlenmesi, havalandırma tasarımının en doğru şekilde yapılmasını sağlayacaktır:
 - Laboratuvardaki tehlikeli madde miktarları
 - Tehlikeli maddelerin havaya yayılma potansiyeli
 - Havaya yayılan kirlenicilerin oluşturduğu tehlikenin büyüklüğü
 - Odayı ısıtma ihtiyacı
 - İç ısı yükü olan cihazlar için gereken soğutma ihtiyacı
 - Laboratuvar ekipmanları için gereken egzoz havası ihtiyacı
 - Çalışanların ihtiyacı olan konfor şartları
 - Havadaki kirlenicileri kontrol amacıyla kullanılan çeker ocak, lokal emiş (egzoz tahliye) cihazı gibi ekipmanların sayısı ve kapasitesi
 - Havalandırma etkinliği (havalandırma sisteminin odadaki havayı değiştirme yeterliliği ve kirlenicileri uzaklaştırma etkinliği)

- Tasarım yapılırken havalandırma etkinliğini en üst düzeye çıkaracak önlemlerin alınması önemlidir.
- Laboratuvardaki havalandırma etkinliğinin iyileştirilebildiği durumlarda hava değişiminin azaltılması mümkündür.
- Laboratuvarı besleyen taze havanın tehlikeli kirleticilerden arındırılması ve hedeflenen iç hava kalitesinde olmasının sağlanması, dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır.
- Laboratuvarda ortaya çıkan kirleticilerin ortama yayılmasının önlenmesi amacıyla oluştuğu noktadan, bir lokal emiş sistemi yardımıyla uzaklaştırılması ve bu tür sistemlerin deneyimli uzmanlar tarafından tasarlanması sağlanmalıdır.
- Laboratuvardan emilen ve tehlikeli kirletici içeren atık havanın tamamının doğrudan dışarıya atılması, hiçbir zaman yeniden dolaştırılmaması temel bir prensip olmalıdır.
- İçinde tehlikeli kirleticilerin bulunduğu laboratuvarlarda, hava akımının daima laboratuvar çevresindeki alanlardan laboratuvara doğru yönlendirilmesi, yani laboratuvarda eksi basınçlı bir ortam oluşturulması zorunlu görülmelidir.
- Gerekli görüldüğünde, laboratuvar havasındaki kirletici konsantrasyonlarının sürekli olarak izlenmesinin sağlanması düşünülmelidir.
- İç hava kalitesi standartlarına göre gereken konfor (yeterli temiz hava girişi, sıcaklık ve nem) şartlarının sağlanması ve böylelikle ilgili mevzuata uyulması zorunludur.
- Kimyasalların bulunduğu laboratuvarların sürekli olarak havalandırılması gerekir. Mesai dışı zamanlarda da daha düşük bir HDS seçilerek havalandırma yapılması gerekli görülmelidir.
- Havadaki kirleticilerin ortamdan uzaklaştırılması için gereken ve HDS değerlerine bağlı olarak değişen toparlanma sürelerinin dikkate alınması ve acil durumda havalandırma sisteminin çalışma ortamını yeniden güvenli hale getirebilmesi için gereken sürenin göz önünde bulundurulması, çalışanların sağlığının korunması açısından çok önemlidir.

5. SONUÇ

Laboratuvarlarda insan sağlığı açısından tehlike oluşturabilen birçok madde kullanıldığından çalışma ortamının havalandırılması konusunda çok bilinçli ve dikkatli olunması ve gerekli tüm önlemlerin alınması kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca, laboratuvara dış ortamdan gelebilecek olan ve yukarıda örnekleri verilen çok sayıda tehlikeli madde bulunduğundan, havalandırma tasarımında bu tür kirleticilere yönelik önlem alınmadığında çalışan sağlığının çok olumsuz etkilenebileceği de mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu bilgiler ışığında, her tür laboratuvarla ve özellikle tehlikeli maddelerle çalışılan laboratuvarlarda, uygun bir havalandırma ve iklimlendirme sistemleri kurulmasının, ilgili mevzuatta zorunlu tutulmaması durumunda bile, kesinlikle düşünülmesi ve bu konunun, günümüzde alınması önemli ve gerekli olan tasarruf önlemleri kapsamında ihmal edilmemesi gerektiği açıkça görülmektedir.

Laboratuvarlar için en doğru HDS değerinin belirlenmesinde, sadece deneyime dayalı olarak bir seçim yapılması veya kaynak dokümanlarda görülen bir değerin alınması yerine, bu makalede sözü edilen tüm risklerin ve faktörlerin temel alınması yoluyla kapsamlı bir değerlendirme yapılması ve çıkacak sonuca göre tasarıma yn verilmesi veya HDS için doğru bir karara varılması, en başta çalışanların sağlığı açısından son derece önemlidir.

Mevzuatlarda zorunlu olarak görülen ve detaylı olarak tanımlanmayan havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin doğru seçimi, uygun kurulumu ve ilgili güncel standartlara göre işletmeye alınması ve kalifikasyonu, ayrıca sistem performanslarının akredite muayene kuruluşları tarafından test edilerek doğrulanması kritik konulardır ve bunlar ancak deneyimli, uzman kişi ve kuruluşlar tarafından gerçekleştirildiğinde laboratuvarlar ve çalışanları için sağlıklı bir çalışma ortamı oluşturulmuş olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] WHO Guidelines for indoor air quality: Selected pollutants
DSÖ İç Hava Kalitesi için Kılavuz: Seçilen Kirleticiler (2010)
- [2] Sağlık Bakanlığı: Tıbbi Laboratuvarlar Yönetmeliği (2024)
- [3] Sağlık Bakanlığı: Ulusal Mikrobiyoloji Standartları Laboratuvar Güvenliği Rehberi (2021)
- [4] Sağlık Bakanlığı: Laboratuvar Güvenliği El Kitabı (2019)
- [5] Sağlık Bakanlığı: Tüberküloz Laboratuvarlarının Çalışma Usul ve Esaslarına Dair Tebliğ, Birinci Bölüm (2015)
- [6] Sağlık Bakanlığı: Ulusal Tüberküloz Tanı Rehberi (2014)
- [7] Sağlık Bakanlığı: Diş Protez Laboratuvarları Yönetmeliği (2022)
- [8] Tarım ve Orman Bakanlığı: Gıda Kontrol Laboratuvarları Yönetmeliği Uygulama Talimatı (2023)
- [9] Tarım ve Orman Bakanlığı: Deneysel ve Diğer Bilimsel Amaçlarla Kullanılan Hayvanların Refah ve Korunmasına Dair Kılavuz (2012)
- [10] Tarım ve Orman Bakanlığı: Deneysel ve Diğer Bilimsel Amaçlar İçin Kullanılan Hayvanların Refah ve Korunmasına Dair Yönetmeliğin Uygulama Talimatı (2012)
- [11] Tarım ve Orman Bakanlığı: Deneysel ve Diğer Bilimsel Amaçlar İçin Kullanılan Hayvanların Refah ve Korunmasına Dair Yönetmelik (2019)
- [12] Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı: İş Hijyeni Ölçüm, Test ve Analiz Laboratuvarları Hakkında Yönetmelik (2017)
- [13] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı: Çevre Ölçüm ve Analiz Laboratuvarları Yeterlik Yönetmeliği (2013)
- [14] Nükleer Düzenleme Kurumu: Tıbbi Radyoloji Odalarının Havalandırılmasına İlişkin Kılavuz, 2024-KLV-001
- [15] Çetin Y. E., Avcı M. ve Aydın O.: “Hava değişim katsayısının kirleticileri uzaklaştırma performansına etkisinin incelenmesi”, Politeknik Dergisi, 24(2): 453-459, (2021)
- [16] CEN/TS 17441:2020 Laboratory Installations – Ventilation systems in laboratories
Avrupa Standardizasyon Komitesi/Teknik Spesifikasyonlar: Laboratuvar Kurulumları – Laboratuvarlarda havalandırma sistemleri

KAYNAKLAR

- [17] ANSI/ASSP Z9.5-2022 Laboratory Ventilation
Amerikan Milli Standartlar Enstitüsü/ Amerikan Güvenlik Profesyonelleri Derneği: Laboratuvar Havalandırması
- [18] ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers): Classification of Laboratory Ventilation Design Levels (2018)
Amerikan Isıtma, Soğutma ve Hava Şartlandırma Mühendisleri Derneği: Laboratuvar Havalandırma Tasarımı Düzeylerinin Sınıflandırılması
- [19] US OSHA, 29 CFR Part 1910.1450 Occupational Exposure to Hazardous Chemicals in Laboratories (2013)
Amerikan İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi: Laboratuvarlarda Tehlikeli Kimyasallara Mesleki Maruziyet
- [20] National Research Council (NRC) of the National Academies: Prudent Practices in the Laboratory: Handling and Management of Chemical Hazards (2011)
Ulusal Akademiler - Ulusal Araştırma Konseyi: Laboratuvarlarda Tedbirli Uygulamalar: Kimyasal Tehlikelerin Ele Alınması ve Yönetimi
- [21] US CDC: Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium tuberculosis in Health-Care Settings (2005)
Amerikan Hastalık Önleme Merkezi: Sağlık Tesislerinde Mycobacterium Tuberculosis Bakterisinin Bulaşmasını Önlemeye Yönelik Kılavuz
- [22] National Fire Protection Association, Standard NFPA 45: Standard on Fire Protection for Laboratories Using Chemicals (2000)
Amerikan Milli Yangın Koruma Birliği: Kimyasallar Kullanan Laboratuvarlar İçin Yangın Koruma Standardı

