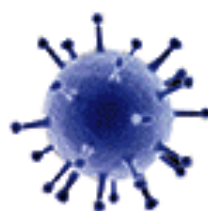
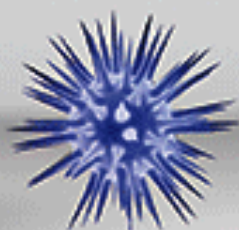
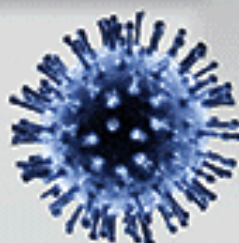


شهریور ۱۳۹۵

مطالعه و ارزیابی کیفیت هوای محیط‌های داخلی



وزارت بهداشت
و آموزش پزشکی
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

شناسنامه گزارش

عنوان:	مطالعه و ارزیابی کیفیت هوای محیط‌های داخل
کد گزارش:	QM95/06/11 (U)/01
تهیه شده توسط:	دانشکده مهندسی مکانیک – دانشگاه صنعتی شریف
به سفارش:	شهرداری تهران – شرکت کنترل کیفیت هوا شهرداری تهران
گردآوری و تألیف:	علی مصطفی‌زاده - حمیدرضا ساوالانپور
نظارت علمی:	دکتر بیژن فرهانی، دکتر وحید حسینی
طرح جلد:	مهسا خاک‌پناه



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

فهرست مطالب

۱	مقدمه.....	۱۹
۱.۱	آشنایی با هوای داخلی.....	۱۹
۲.۱	اهمیت کیفیت هوای داخل از نظر سازمان بهداشت جهانی.....	۲۲
۳.۱	انواع آلاینده‌های محیط‌های داخلی.....	۲۳
۴.۱	برخی از منابع آلاینده داخلی.....	۲۴
۵.۱	اثرات عوامل مختلف در محیط داخلی بر عملکرد و سلامت ساکنان.....	۳۱
۶.۱	تاثیر کیفیت هوای داخلی بر عملکرد دانش‌آموزان.....	۳۶
۷.۱	آسم، آلرژی و آلودگی هوای داخلی.....	۳۸
۸.۱	کیفیت هوای داخلی و گروه‌های حساس.....	۴۰
۹.۱	ارتباط کیفیت هوای داخل و خارج.....	۴۱
۲	آلاینده‌های محیط‌های داخلی.....	۴۴
۱.۲	آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی.....	۴۴
۲.۲	معرفی برخی از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌های داخلی.....	۴۷
۳.۲	دی‌اکسید کربن و هوای داخلی.....	۷۵
۴.۲	تاثیر مصالح و سن ساختمان بر غلظت و نوع آلاینده‌ها.....	۷۷
۳	حدود مجاز آلاینده‌های محیط‌های داخلی در جهان.....	۸۱
۱.۳	احتیاج به دستورالعمل‌ها.....	۸۱
۲.۳	تعیین دستورالعمل‌ها.....	۸۳
۳.۳	حدود مجاز آلاینده‌ها مطابق دستورالعمل‌ها.....	۸۴
۴.۳	عوامل تاثیرگذار بر راحتی و بهره‌وری ساکنان.....	۹۷
۴	انتخاب آلاینده‌های محیط‌های داخلی در ایران و حدود مجاز.....	۱۰۴
۱.۴	انتخاب آلاینده‌ها برای ایران.....	۱۰۴
۲.۴	تعیین دستورالعمل برای آلاینده‌های انتخابی.....	۱۰۶
۵	مقدمه‌ای بر اندازه‌گیری پارامترهای هوای داخلی.....	۱۱۱
۱.۵	پارامترها و آلاینده‌های مهم در محیط داخلی.....	۱۱۱
۲.۵	مدت زمان اندازه‌گیری‌ها.....	۱۱۱



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- ۳.۵ تعداد نقاط اندازه گیری ۱۱۲
- ۴.۵ مکان های اندازه گیری در محیط های داخلی ۱۱۳
- ۵.۵ روش های اندازه گیری ۱۱۴
- ۶.۵ راحتی و بهره وری ۱۱۵
- ۷.۵ سلامتی و ایمنی ۱۲۴
- ۶ روش های رایج اندازه گیری غلظت گازها ۱۲۶**
- ۱.۶ فناوری های پر کاربرد برای اندازه گیری گازها ۱۲۶
- ۷ روش های غیر فعال اندازه گیری غلظت آلاینده ها ۱۴۵**
- ۱.۷ مقدمه ای بر اندازه گیری غیر فعال ۱۴۵
- ۲.۷ اصول نمونه برداری غیر فعال ۱۴۶
- ۳.۷ مقایسه نمونه برداری غیر فعال با روش های رایج نمونه برداری ۱۵۶
- ۸ روش های فعال اندازه گیری غلظت آلاینده ها ۱۶۰**
- ۱.۸ مقدمه ای بر روش های اندازه گیری فعال ۱۶۰
- ۲.۸ کیسه های نمونه برداری هوا ۱۶۰
- ۳.۸ لوله های رنگی تشخیص گازها ۱۶۳
- ۹ دستگاه های اندازه گیری گازها و ذرات ۱۶۶**
- ۱.۹ دستگاه های اندازه گیری گازها ۱۶۶
- ۲.۹ دستگاه های اندازه گیری ذرات ۱۸۸
- ۳.۹ دستگاه های اندازه گیری رادون ۱۹۹
- ۴.۹ دستگاه های اندازه گیری باکتری و قارچ ۲۰۷
- ۱۰ دستگاه های پیشنهادی ۲۲۰**
- ۱.۱۰ انتخاب دستگاه پایش گازها ۲۲۰
- ۲.۱۰ دستگاه پایش فرمالدهید ۲۲۱
- ۳.۱۰ انتخاب دستگاه پایش ذرات ۲۲۱
- ۴.۱۰ انتخاب دستگاه پایش رادون ۲۲۱
- ۵.۱۰ انتخاب دستگاه پایش باکتری و قارچ ۲۲۲
- ۱۱ شناسایی مشکلات هوای داخلی و بهبود آن ها ۲۲۵**
- ۱.۱۱ شناسایی مشکلات هوای داخلی ۲۲۵



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲۱۱	بهبود کیفیت هوای داخلی.....	۲۲۶
۱۲	طراحی و ساخت ساختمان ها با توجه به کیفیت هوای داخلی.....	۲۳۵
۱.۱۲	هدف ۱: مدیریت فرآیند طراحی و ساخت به منظور رسیدن به کیفیت هوای داخلی خوب.....	۲۳۸
۲.۱۲	هدف ۲: کنترل رطوبت در ساختمان.....	۲۴۰
۳.۱۲	هدف ۳: محدود کردن ورود آلاینده ها به ساختمان.....	۲۴۳
۴.۱۲	هدف ۴: کنترل رطوبت و آلاینده های مربوط به سیستم های مکانیکی.....	۲۴۶
۵.۱۲	هدف ۵: محدود کردن آلاینده های حاصل از منابع داخل ساختمان.....	۲۴۸
۶.۱۲	هدف ۶: جمع آوری و خروج آلاینده های حاصل از تجهیزات و فعالیت های ساختمان.....	۲۵۰
۷.۱۲	هدف ۷: کاهش غلظت آلاینده ها از طریق تهویه، فیلتراسیون و پاک کننده های هوا.....	۲۵۲
۱۳	تصفیه کننده های هوا.....	۲۵۶
۱.۱۳	مقدمه.....	۲۵۶
۲.۱۳	انواع تصفیه کننده های هوا.....	۲۵۸
۳.۱۳	تاثیر تصفیه کننده های هوا در بهبود کیفیت هوای داخلی.....	۲۷۶
۴.۱۳	حداقل کارایی گزارش شده دستگاه های تصفیه هوا.....	۲۷۹
۱۴	معرفی دستگاه های تصفیه هوا.....	۲۸۵
۱.۱۴	معرفی دستگاه ها.....	۲۸۵
۲.۱۴	مقایسه دستگاه های تصفیه هوا.....	۲۹۶
۱۵	راه حل ها و اقدامات پیشگیرانه برای بهبود کیفیت هوای داخلی.....	۲۹۸
۱.۱۵	مقدمه.....	۲۹۸
۲.۱۵	آلاینده های بیولوژیکی.....	۳۰۰
۳.۱۵	منوکسید کربن و سایر محصولات احتراقی.....	۳۰۴
۴.۱۵	دود ثانویه.....	۳۰۶
۵.۱۵	فرمالدهید و ترکیبات آلی فرار.....	۳۰۷
۶.۱۵	آزبست.....	۳۰۹
۷.۱۵	رادون.....	۳۱۱
۱۶	بهبود کیفیت هوا با استفاده از گیاهان.....	۳۱۶
۱.۱۶	مقدمه.....	۳۱۶
۲.۱۶	نحوه بهبود کیفیت هوا توسط گیاهان.....	۳۱۶
۳.۱۶	برخی از گیاهان مناسب برای محیط های داخلی.....	۳۱۸



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- ۴.۱۶ انتخاب گیاهان مناسب و تعداد آنها..... ۳۲۳
- ۱۷ جمع بندی و پیشنهادات..... ۳۳۱
- ۱.۱۷ جمع بندی..... ۳۳۱
- ۲.۱۷ پیشنهادات برای ایران..... ۳۳۳
- ۱۸ منابع و مراجع..... ۳۴۰
- پیوست الف. نقشه عملی ملی کاهش رادون (ایالات متحده آمریکا)..... ۳۵۰
- الف. ۱. نقشه کاهش رادون..... ۳۵۰
- الف. ۲. ایجاد پایه های نقشه کاهش رادون..... ۳۵۱



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ رابطه میان ریسک نسبی بروز علائم آلرژیک و نرخ تهویه هوا در خانه ها [۵۰] ۳۹
- شکل ۲-۱ رابطه میان ریسک نسبی آسم و میانگین غلظت فتالات در گرد و خاک خانه ها [۴۹] ۳۹
- شکل ۱-۳ عناصر اصلی چرخه هوای داخلی [۸۴] ۸۲
- شکل ۲-۳ محدوده قابل قبول دمای و رطوبت ۱۰۲
- شکل ۱-۵ محدوده راحتی در زمستان و تابستان ۱۱۷
- شکل ۲-۵ محدوده راحتی با توجه به میزان پوشش افراد ۱۱۸
- شکل ۳-۵ تعداد نقاط اندازه گیری و محل آن ها طبق روش چیشف [۹۰] ۱۲۰
- شکل ۴-۵ اندازه گیری سرعت هوای کانال ۱۲۱
- شکل ۵-۵ کیچر هود هوا ۱۲۱
- شکل ۱-۶ یک حسگر الکتروشیمیایی ۱۲۸
- شکل ۲-۶ غشای هیدروفوبیک از نشت الکترولیت جلوگیری می نماید ۱۲۹
- شکل ۳-۶ تولید جریان در حسگر الکتروشیمیایی ۱۲۹
- شکل ۴-۶ یک نمونه حسگر گاز مادون قرمز ۱۳۳
- شکل ۵-۶ محدوده های مختلف در طیف الکترومغناطیس ۱۳۴
- شکل ۶-۶ یک موج ساده مکانیکی با فرکانس ده هرتز و طول موج یک دهم سانتیمتر (عدد موج ده) ۱۳۴
- شکل ۷-۶ نمایش مفهوم عبارات گذردهی، جذب و بازتاب ۱۳۶
- شکل ۸-۶ منحنی طیف سنجی گاز متان ۱۳۷
- شکل ۹-۶ یک حسگر فوتو یونی قابل حمل ۱۳۹
- شکل ۱۰-۶ طول موج های ساطع شده توسط آرگون، کریپتون و زنون ۱۴۰
- شکل ۱۱-۶ پیکربندی یک حسگر فوتو یونی نوعی ۱۴۲
- شکل ۱۲-۶ نحوه عملکرد حسگر فوتو یونی ۱۴۳
- شکل ۱-۷ نمونه بردار غیرفعال نوع لوله ای ۱۴۸
- شکل ۲-۷ نمونه بردار غیرفعال نوع بچ ۱۴۹
- شکل ۳-۷ نمونه بردار غیرفعال نوع شعاعی ۱۴۹
- شکل ۱-۸ چند نمونه لوله رنگی برای اندازه گیری غلظت گازهای مختلف ۱۶۴
- شکل ۱-۹ دستگاه AQ-EXPERT ۱۷۱
- شکل ۲-۹ دستگاه GASMET DX4040 به همراه PDA ۱۷۵



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- شکل ۹-۳ دستگاه GASMET DX4040 ۱۷۶
- شکل ۹-۴ دستگاه AEROQUAL S500 ۱۷۷
- شکل ۹-۵ کالیبراسیون دستگاه AEROQUAL S500 ۱۷۸
- شکل ۹-۶ نمونه ای از حسگرهای دستگاه S500 ۱۷۸
- شکل ۹-۷ دستگاه C16 PORTASENS II ۱۸۱
- شکل ۹-۸ دستگاه C16 به همراه برخی لوازم جانبی ۱۸۲
- شکل ۹-۹ نمونه ای از حسگرهای دستگاه C16 ۱۸۲
- شکل ۹-۱۰ دستگاه FMM-MD ۱۸۵
- شکل ۹-۱۱ نحوه پاسخ حسگرهای دستگاه FMM-MD به فرمالدهید و تغییر رنگ حسگر ۱۸۶
- شکل ۹-۱۲ دستگاه DUSTTRACK DRX 8533 ۱۸۸
- شکل ۹-۱۳ دستگاه DUSTTRACK DRX 8534 ۱۸۸
- شکل ۹-۱۴ مدل رومیزی و دستی DUSTTRACK DRX ۱۹۰
- شکل ۹-۱۵ ماژول مربوط به صفر کردن دستگاه مدل رومیزی ۱۹۲
- شکل ۹-۱۶ دستگاه AEROCET 531S ۱۹۳
- شکل ۹-۱۷ دستگاه AEROCET 831 ۱۹۵
- شکل ۹-۱۸ دستگاه DUSTMATE ۱۹۷
- شکل ۹-۱۹ دستگاه CORENTIUM PRO ۲۰۰
- شکل ۹-۲۰ نمونه ای از نمودارهای قابل رسم با نرم افزار CRA مربوط به دستگاه CORENTIUM PRO ۲۰۲
- شکل ۹-۲۱ دستگاه CORENTIUM ۲۰۳
- شکل ۹-۲۲ دستگاه RADON SCOUT ۲۰۴
- شکل ۹-۲۳ دستگاه RADON SCOUT PLUS ۲۰۶
- شکل ۹-۲۴ یک نمونه ظرف آگار با ارگانیسیم های زنده ۲۰۸
- شکل ۹-۲۵ پتری دیش استفاده نشده ۲۰۸
- شکل ۹-۲۶ دستگاه SPIN AIR ۲۱۱
- شکل ۹-۲۷ دستگاه انکوباتور دیجیتال شیماز ۲۱۴
- شکل ۹-۲۸ دستگاه انکوباتور هوشمند شیماز ۲۱۴
- شکل ۹-۲۹ دستگاه انکوباتور یخچالدار شیماز ۲۱۵
- شکل ۹-۳۰ نمونه انکوباتور شرکت آرا تجهیز رادین ۲۱۶



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- شکل ۹-۳۱ دستگاه FLASH & GO ۲۱۷
- شکل ۹-۳۲ دستگاه DOT ۲۱۸
- شکل ۱۱-۱ انواع مکانیزم های جذب ذرات معلق توسط الیاف پوشال کولر ۲۳۱
- شکل ۱۳-۱ نمونه ای از فیلترهای پلیسه دار ۲۶۱
- شکل ۱۳-۲ نمایش پدیده کرونا ۲۶۲
- شکل ۱۳-۳ فرآیند تخریب ترکیبات آلی فرار توسط روش PCO ۲۷۳
- شکل ۱۴-۱ دستگاه ALLEN BREATHE SMART ۲۸۵
- شکل ۱۴-۲ دستگاه ALLEN BREATHE SMART FIT50 ۲۸۷
- شکل ۱۴-۳ دستگاه ALLERAIR 5000 EXEC ۲۸۸
- شکل ۱۴-۴ دستگاه ALLEN PARALDA ۲۸۹
- شکل ۱۴-۵ دستگاه AUSTIN AIR HEALTHMATE PLUS ۲۹۰
- شکل ۱۴-۶ دستگاه AUSTIN AIR ALLERGY MACHINE ۲۹۱
- شکل ۱۴-۷ دستگاه ALEN T500 TOWER ۲۹۲
- شکل ۱۴-۸ دستگاه ALLEN FUR FAMILY SMART BUNDLE ۲۹۳
- شکل ۱۴-۹ دستگاه ALLERAIR 5000 DS ۲۹۴
- شکل ۱۴-۱۰ دستگاه AUSTIN AIR PET MACHINE ۲۹۵
- شکل ۱۵-۱ شماتیکی از سیستم RRNC ۳۱۳



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

فهرست جداول

جدول ۱-۱	مواد شیمیایی موجود در برخی از انواع رنگ‌ها	۳۰
جدول ۱-۲	دسته‌بندی آلاینده‌ها برای تنظیم دستورالعمل‌ها توسط سازمان بهداشت جهانی	۴۵
جدول ۲-۲	آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی بر اساس مستندات کشور استرالیا	۴۶
جدول ۳-۲	آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی بر اساس مستندات کشور کانادا	۴۶
جدول ۴-۲	آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی بر اساس مستندات کشور چین	۴۷
جدول ۵-۲	برخی خواص منوکسید کربن	۴۸
جدول ۶-۲	برخی خواص دی اکسید نیتروژن	۵۰
جدول ۷-۲	برخی خواص ازن	۵۲
جدول ۸-۲	برخی خواص بنزن	۵۶
جدول ۹-۲	برخی خواص فرمالدهید	۵۸
جدول ۱۰-۲	برخی خواص نفتالن	۶۰
جدول ۱۱-۲	برخی خواص رادون	۶۲
جدول ۱۲-۲	تعداد قارچ‌ها در نمونه‌گیری از ۱۸ خانه در هلند	۶۸
جدول ۱۳-۲	نرخ انتشار رادون از مصالح ساختمانی مختلف [۸۲]	۷۸
جدول ۱-۳	مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با منوکسید کربن (CO)	۸۵
جدول ۲-۳	مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با دی اکسید نیتروژن (NO ₂)	۸۶
جدول ۳-۳	مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با ازن (O ₃)	۸۷
جدول ۴-۳	مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با بنزن (C ₆ H ₆)	۸۸
جدول ۵-۳	مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با فرمالدهید	۸۹
جدول ۶-۳	مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با نفتالن	۹۰
جدول ۷-۳	مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با رادون	۹۰
جدول ۸-۳	مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با PM ₁₀	۹۱
جدول ۹-۳	مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با PM _{2.5}	۹۱
جدول ۱۰-۳	اهداف موقتی بلندمدت (سالانه) برای غلظت ذرات معلق	۹۳
جدول ۱۱-۳	اهداف موقتی کوتاه مدت (۲۴ ساعته) برای غلظت ذرات معلق	۹۴
جدول ۱۲-۳	طبقه‌بندی غلظت قارچ‌ها بر مبنای مطالعات اندرسون [۷۳]	۹۵
جدول ۱۳-۳	طبقه‌بندی غلظت باکتری‌ها بر مبنای مطالعات اندرسون [۷۳]	۹۶



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۳-۱۴ طبقه‌بندی آلرژن‌های DERPI و DERFI در گرد و خاک خانه.....	۹۷
جدول ۴-۱ مقادیر دستورالعملی آلاینده‌های داخلی شیمیایی و ذرات منتخب برای ایران.....	۱۰۸
جدول ۴-۲ مقادیر دستورالعملی آلاینده‌های بیولوژیکی برای ایران.....	۱۰۹
جدول ۴-۳ مقادیر دستورالعملی دما و رطوبت.....	۱۰۹
جدول ۵-۱ انواع آلاینده‌ها و پارامترهای مهم در محیط‌های داخلی.....	۱۱۱
جدول ۵-۲ تعداد نقاط لازم برای نمونه‌گیری.....	۱۱۲
جدول ۵-۳ مقادیر دستورالعملی دما و رطوبت در ایران.....	۱۱۶
جدول ۵-۴ مقدار هوای بیرونی لازم برای مکان‌های مختلف [۷۸].....	۱۲۳
جدول ۷-۱ جاذب‌های حرارتی رایج استفاده شده در نمونه‌بردارهای غیرفعال.....	۱۵۲
جدول ۷-۲ ماتریس انتخاب هندسه و جاذب نمونه‌بردارهای غیرفعال.....	۱۵۵
جدول ۷-۳ دستگاه‌های نمونه‌برداری غیرفعال تجاری.....	۱۵۶
جدول ۷-۴ مقایسه روش نمونه‌برداری غیرفعال با روش‌های رایج نمونه‌برداری.....	۱۵۷
جدول ۸-۱ مقایسه کیسه‌های نمونه‌برداری هوا ساخت شرکت RESTEK.....	۱۶۲
جدول ۹-۱ مشخصات فنی حسگرهای گازی دستگاه AQ-EXPERT.....	۱۷۱
جدول ۹-۲ مشخصات فنی حسگرهای غیر گازی دستگاه AQ-EXPERT.....	۱۷۲
جدول ۹-۳ مشخصات فنی دستگاه GASMET DX4040.....	۱۷۶
جدول ۹-۴ مشخصات انواع حسگرهای قابل نصب بر روی دستگاه AEROQUAL S500.....	۱۷۹
جدول ۹-۵ قیمت دستگاه AEROQUAL S500 و حسگرهای مختلف آن (استعلام شرکت پایش زیست آزما).....	۱۸۰
جدول ۹-۶ مشخصات انواع حسگرهای قابل نصب بر روی دستگاه C16 PORTASENS II.....	۱۸۳
جدول ۹-۷ مشخصات فنی دستگاه FMM-MD.....	۱۸۶
جدول ۹-۸ مشخصات فنی دستگاه DUSTTRACK DRX.....	۱۹۱
جدول ۹-۹ مشخصات فنی دستگاه AEROCET 531S.....	۱۹۴
جدول ۹-۱۰ مشخصات فنی دستگاه AEROCET 831.....	۱۹۶
جدول ۹-۱۱ مشخصات فنی دستگاه DUSTMATE.....	۱۹۸
جدول ۹-۱۲ مشخصات فنی دستگاه CORENTIUM PRO.....	۲۰۱
جدول ۹-۱۳ مشخصات فنی دستگاه RADON SCOUT.....	۲۰۵
جدول ۹-۱۴ مشخصات فنی دستگاه RADON SCOUT PLUS.....	۲۰۷
جدول ۹-۱۵ لیست قیمت انکوباتورهای شرکت شیماز (قیمت‌ها به میلیون تومان است).....	۲۱۳



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۹-۱۶ لیست انکوباتورهای شرکت آرا تجهیز رادین	۲۱۵
جدول ۱۰-۱ مقایسه دستگاه های اندازه گیری گازها	۲۲۳
جدول ۱۰-۲ مقایسه دستگاه های اندازه گیری ذرات	۲۲۳
جدول ۱۰-۳ مقایسه دستگاه های اندازه گیری رادون	۲۲۳
جدول ۱۰-۴ دستگاه های انتخاب شده برای اندازه گیری گازها	۲۲۳
جدول ۱۲-۱ اهداف کلیدی به منظور طراحی و ساخت ساختمان های مناسب از منظر کیفیت هوای داخلی	۲۳۷
جدول ۱۳-۱ خلاصه ای از فناوری های مختلف تصفیه هوا	۲۵۶
جدول ۱۳-۲ محدوده اندازه ذرات مطابق استاندارد ASHRAE 52.2	۲۸۱
جدول ۱۳-۳ تعیین معیار MERV فیلترها بر اساس استاندارد ASHRAE 52.2 [۱۲۶]	۲۸۲
جدول ۱۳-۴ آلاینده های قابل جذب، کاربردهای متداول و برخی از انواع فیلترهای هوا بر اساس معیار MERV [123]	۲۸۳
جدول ۱۴-۱ مقایسه دستگاه های تصفیه هوا	۲۹۶
جدول ۱۶-۱ گیاهان دارای قابلیت بهبود کیفیت هوا [۱۲۷]	۳۲۴
جدول ۱۷-۱ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای آشپزخانه	۳۳۴
جدول ۱۷-۲ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای حمام	۳۳۴
جدول ۱۷-۳ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای اتاق خواب	۳۳۵
جدول ۱۷-۴ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای زیرزمین	۳۳۵
جدول ۱۷-۵ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای گاراژ	۳۳۶
جدول ۱۷-۶ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای تمامی اتاق ها	۳۳۶
جدول ۱۷-۷ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای سیستم های سرمایش و گرمایش	۳۳۷
جدول الف-۱ نقشه عملی ملی رادون: راهکارهای برتر برای نجات جان انسان ها	۳۵۵



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

خلاصه مدیریتی

بر اساس آمار سازمان بهداشت جهانی و آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا، افراد به طور معمول بیشتر زمان عمر خود را در محیط‌های داخلی به سر می‌برند که این میزان ۹۰ درصد تخمین زده شده است؛ بنابراین کیفیت هوای محیط‌های داخلی می‌تواند تاثیر مستقیمی بر میزان سلامت و کارایی افراد داشته باشد. کیفیت پایین هوای داخلی به طور گسترده‌ای به عنوان یکی از مشکلات مهم بهداشتی، زیست‌محیطی و اقتصادی محسوب می‌گردد. به طور کلی تعریف معتبری برای کیفیت هوای داخلی در مجامع بین‌المللی وجود ندارد. نگرانی در مورد کیفیت هوای داخلی و مطالعه آن موضوع به نسبت جدیدی محسوب می‌گردد. سازمان بهداشت جهانی تخمین زده است که در حدود ۳۰ درصد از تمامی ساختمان‌های تجاری با مشکلات شدید کیفیت هوای داخلی مواجه هستند.

در این سند ابتدا به بیان اهمیت کیفیت هوای محیط‌های داخلی پرداخته شده است. سپس مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌های داخلی نظیر منوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، بنزن، رادون، ذرات معلق و برخی آلاینده‌های دیگر معرفی شده و اثرات آن‌ها بر روی سلامتی انسان بررسی شده است. سازمان بهداشت جهانی و برخی کشورها برای بهبود کیفیت هوای محیط‌های داخلی دستورالعمل‌ها و حدود مجازی را برای هر یک از آلاینده‌ها بر مبنای نتایج حاصل از تحقیقات پزشکی ارائه نموده‌اند. رویکرد اصلی این سند ارائه دستورالعمل‌هایی است تا بتوان با بهبود کیفیت هوای محیط‌های داخلی، علاوه بر جلوگیری از بروز بیماری‌ها، بهره‌وری افراد نیز در محیط‌های کاری افزایش پیدا کند.

در ایران کیفیت هوای محیط‌های داخلی تاکنون مورد توجه جدی قرار نگرفته است. به عنوان گام اول به منظور بهبود کیفیت هوای محیط‌های داخلی در ایران، هفت آلاینده شیمیایی مهم‌تر از بین آلاینده‌های محیط‌های داخلی انتخاب گردیده است. این آلاینده‌ها شامل منوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن، فرمالدهید، بنزن، رادون و ذرات معلق کمتر از ده و کمتر از دو و نیم میکرون می‌باشد. مقادیر دستورالعملی برای این هفت آلاینده در محیط‌های



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

داخلی ایران در فصل چهارم ارائه گردیده است. همچنین مقادیر دستورالعملی سه آلاینده بیولوژیکی شامل قارچ، باکتری و آلرژن‌های تولید شده توسط مایت‌های گرد و غبار خانگی نیز ارائه شده است. علاوه بر این تعیین محدوده دما و رطوبت مناسب نیز در محیط‌های داخلی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این زمینه استانداردهای معتبری نظیر ASHRAE 55 توسعه داده شده‌اند که پارامترهای مختلفی نظیر نوع پوشش افراد و میزان فعالیت آن‌ها را نیز برای تعیین شرایط تهویه مناسب در نظر می‌گیرند. اما به صورت کلی نیز می‌توان یک محدوده مناسب برای دما و رطوبت بر اساس فصول گرم و سرد سال انتخاب نمود. بر این اساس حدود مناسب دما تقریباً بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتیگراد و حدود مناسب رطوبت نیز بین ۳۰ تا ۶۰ درصد است.

آلاینده‌های هوای محیط‌های داخلی مهم شامل منوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن، فرمالدهید، ترکیبات آلی فرار، بنزن، رادون، ذرات معلق، کپک‌ها و قارچ‌ها بایستی به طور منظم اندازه‌گیری شوند. با توجه به محدوده غلظت‌های مجاز این آلاینده‌ها در محیط‌های داخلی که بسیار کوچک می‌باشد، برای اندازه‌گیری به دستگاه‌های ویژه و دقیقی نیاز است. برای این منظور در این گزارش به بررسی دستگاه‌های مختلف مناسب در محیط‌های داخلی نیز پرداخته شده است.

پیش از معرفی دستگاه‌ها ابتدا در فصل پنجم نحوه اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به تهویه به صورت مختصر بررسی شده است. سپس در فصل ششم انواع حسگرهای پر کاربرد موجود برای اندازه‌گیری غلظت گازها به صورت مفصل بررسی شده است که شامل حسگرهای الکتروشیمیایی، مادون قرمز و فوتیونی می‌باشد. پس از آن در فصول هفتم و هشتم روش‌های غیرفعال و فعال اندازه‌گیری آلاینده‌ها معرفی گردیده است و در فصل نهم برای آلاینده‌های گازی، ذرات معلق، رادون و باکتری و قارچ، دستگاه‌هایی که مناسب محدوده غلظت آلاینده‌های محیط‌های داخلی هستند، معرفی شده‌اند. برای هر دستگاه نحوه عملکرد، پارامترهای قابل اندازه‌گیری، دقت دستگاه و نحوه



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

کالیبراسیون آن به همراه روش سفارش کالا و قیمت حدودی آن توضیح داده شده است. در نهایت نیز در فصل دهم سه دستگاه از دستگاه های معرفی شده در فصل نهم به عنوان دستگاه های برتر برای خریداری معرفی شده اند. بر اساس این گزارش دستگاه Aeroqual S500 برای اندازه گیری گازهای منوکسید کربن، دی اکسید نیتروژن، ازن و ترکیبات آلی فرار، دستگاه FMM-MD برای اندازه گیری فرمالدهید، دستگاه Aerocet 831 برای اندازه گیری غلظت ذرات معلق و دستگاه Radon Scout Plus برای اندازه گیری رادون معرفی شده اند.

پس از بررسی دستگاه های اندازه گیری غلظت آلاینده ها، در فصل های یازدهم تا شانزدهم به بررسی روش های موجود برای کاهش میزان آلاینده های هوای محیط های داخلی پرداخته شده است. به طور کلی سه روش اساسی برای بهبود کیفیت هوای داخلی وجود دارد که عبارتند از:

۱- کنترل منبع آلودگی؛

۲- تهویه؛ و

۳- تصفیه کننده های هوا.

تحقیقات نشان داده است که بهترین روش، کنترل منبع آلودگی است. کنترل منبع آلودگی علاوه بر کارایی بسیار بالا، نسبت به سایر روش ها نظیر استفاده از تهویه، مصرف انرژی کمتر و در نتیجه هزینه کمتری خواهد داشت. به طور مثال بایستی از کشیدن سیگار در محیط داخلی خودداری کرده و یا لوازم احتراقی نظیر اجاق گاز به خوبی تنظیم شوند.

روش دیگر استفاده از تهویه برای خروج هوای آلوده و جایگزین کردن آن با هوای تازه است. ورود و خروج هوا به ساختمان می تواند از طریق سه مکانیزم نفوذ، تهویه طبیعی و یا تهویه مکانیکی صورت پذیرد. در صورتی که تهویه مناسب باشد، از تجمع آلاینده ها داخل فضاها بسته جلوگیری به عمل می آید.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

سومین روش بهبود کیفیت هوا استفاده از دستگاه های تصفیه هوا می باشد. دستگاه های تصفیه هوا به تنهایی قادر به بهبود کیفیت هوا نمی باشند و بایستی به طور همزمان با دو روش اصلی یعنی کنترل منبع آلودگی و تهویه استفاده گردند. در حال حاضر دستگاه های تصفیه هوایی که در دسترس هستند، توانایی کافی برای حذف آلاینده های گازی را ندارند و بیشتر کاربرد آن ها در حذف ذرات معلق کوچک و برخی از آلاینده های بیولوژیکی می باشد. دستگاه های تصفیه هوا در دو نوع کلی شامل دستگاه های تصفیه هوای تمام خانه و دستگاه های تصفیه قابل حمل عرضه می گردند.

گاز رادیواکتیو رادون به دلیل واکنش هایی که در خاک اتفاق می افتد حاصل می گردد. این گاز می تواند از طریق خاک زیر ساختمان وارد خانه شده و بر روی سلامتی افراد ساکن تاثیر منفی بر جای گذارد. برای جلوگیری از ورود گاز رادون به ساختمان ها، روشی به نام «سازه جدید مقاوم در برابر رادون» یا روش RRNC وجود دارد که در فصل شانزدهم توضیح داده شده است. در این روش گاز رادون تولید شده در زیر ساختمان با استفاده از تجهیزات خاصی به بیرون ساختمان هدایت می شود. رادون به عنوان دومین عامل سرطان ریه در آمریکا به شدت مورد توجه قرار گرفته و یک نقشه ملی رادون برای کاهش این گاز رادیواکتیو در آمریکا و جلوگیری از مرگ و میر ناشی از سرطان ریه تدوین شده است. هدف کوتاه مدت این نقشه تا سال ۲۰۲۰ کاهش ۳۲۰۰ مرگ ناشی از رادون در ایالات متحده آمریکا می باشد.

استفاده از گیاهان برای تصفیه هوا در دهه ۱۹۸۰ میلادی توسط ناسا مورد توجه قرار گرفت. نتایج تحقیقات در این زمینه ثابت کرده است که برخی از گیاهان خانگی نظیر آلوه ورا، برگ قاشقی، عنکبوتی و پیچک انگلیسی می توانند در حذف ترکیبات آلی فرار نظیر فرمالدهید و بنزن کارایی بالایی داشته باشند.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

هم چنین برخی از گیاهان توانایی حذف منوکسید کربن و افزایش رطوبت نسبی اتاق را نیز دارا هستند. در مجموع این طور به نظر می رسد که استفاده از گیاهان برای افزایش سلامتی و آرامش اعضای یک محیط داخلی می تواند مفید واقع شود.

بر اساس نتایج حاصل از این گزارش، در فصل هفدهم راهکارهایی برای بهبود کیفیت هوای داخلی در ایران داده شده است.

فصل اول

مقدمه‌ای بر کیفیت هوای داخلی



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱ مقدمه

۱.۱ آشنایی با هوای داخلی

کیفیت هوای داخلی اشاره به کیفیت هوای داخل و اطراف سازه‌ها و ساختمان‌ها دارد که در ارتباط با سلامتی و راحتی ساکنان آن می‌باشد. آگاهی از آلاینده‌های داخلی رایج و کنترل آن‌ها می‌تواند خطرات ناشی از آن‌ها را کاهش دهد. اثرات آلاینده‌های هوای داخلی بر روی سلامتی ممکن است زمان کوتاهی پس از مجاورت یا سال‌ها بعد خود را نشان دهد.

کیفیت پایین هوای داخلی به طور گسترده‌ای به عنوان یکی از مشکلات مهم بهداشتی، زیست‌محیطی و اقتصادی محسوب می‌گردد. به طور کلی تعریف معتبری برای کیفیت هوای داخلی در مجامع بین‌المللی وجود ندارد. اما به عنوان یک تعریف ساده می‌توان از تعریف بیان شده توسط وزولوفسکی استفاده کرد که به صورت زیر بیان می‌گردد:

"مجموع ویژگی‌های هوای داخلی که به هر طریقی بر سلامت و آسایش اشخاص تاثیر می‌گذارند [۱]."

نگرانی در مورد کیفیت هوای داخلی و مطالعه آن موضوع به نسبت جدیدی محسوب می‌گردد. سازمان بهداشت جهانی^۱ تخمین زده است که در حدود ۳۰ درصد از تمامی ساختمان‌های تجاری با مشکلات شدید کیفیت هوای داخلی مواجه هستند.

معمولاً افرادی که در محیط‌های با غلظت بالای آلاینده‌ها فعالیت می‌کنند از خطرات محیط کاری خود مطلع بوده و از امکانات و دستگاه‌های متعددی جهت حفاظت از خود در برابر آلاینده‌ها استفاده می‌نمایند. برخی از این

^۱ World Health Organization (WHO)



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

دستگاه‌ها شامل ماسک‌ها، کلاه ایمنی، دستکش و عینک ایمنی می‌باشند؛ اما کیفیت هوای داخلی که در این گزارش به آن پرداخته می‌شود، متوجه آن دسته از افرادی است که از خطرات آلاینده‌های محیط خود با خبر نیستند و بنابراین معمولاً اقدامات پیشگیرانه یا حفاظتی مناسبی نیز انجام نمی‌دهند؛ بنابراین در چنین مواردی موضوع کیفیت هوای داخلی بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

پس از بحران انرژی در سال ۱۹۷۰ میلادی، ساختمان‌ها در ابعاد کوچک‌تری ساخته شده و نرخ تبادل هوای بین خارج و داخل ساختمان‌ها کاهش یافته است. در واقع رویکرد اساسی این بوده است تا با چرخش مجدد هوای داخلی، نیاز به تهویه هوای خارج (گرم کردن یا سرد کردن) برای استفاده در محیط داخل ساختمان کمتر شده و در نتیجه مصرف انرژی نیز کمتر گردد. گرچه این روش باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی شده است اما این رویکرد باعث می‌گردد تا آلاینده‌ها داخل محیط‌های بسته داخلی به دام افتند.

پیشرفت‌های اخیر در زمینه ساخت کالاهای سبب شده تا استفاده از ترکیبات مصنوعی افزایش یابد. تغییرات شدید در فناوری سبب اختراعاتی نظیر رایانه‌ها و دستگاه‌های فتوکپی شده که گرچه کارایی بالایی داشته و باعث صرفه‌جویی در وقت می‌گردند اما تأثیرات نامطلوبی بر هوای داخلی خواهند داشت. این اثرات منفی زمانی بیشتر خواهد شد که بدانیم بر اساس آمار منتشر شده از سوی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا^۱ افراد بیشتر از حدود ۹۰ درصد اوقات خود را در محیط‌های داخلی می‌گذرانند.

بر مبنای همین عوامل حتی برخی مفاهیم جدید نیز گسترش یافته و امروزه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. برخی از این مفاهیم جدید عبارتند از:

^۱ U.S. Environmental Protection Agency (EPA)



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- **سندرم بیماری ساختمان^۱.** به شرایطی در ساختمان گفته می‌شود که ساکنین آن نشانه‌هایی از بیماری‌هایی را دارا هستند که به سپری کردن زمان زیاد در آن ساختمان نسبت داده می‌شود اما بیماری خاصی را به سبب آن نمی‌توان نام برد. معمولاً وجود اشکال در گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع از مهم‌ترین عوامل ایجاد این نشانه‌ها هستند.
- **بیماری‌های مرتبط با ساختمان^۲.** یک اصطلاح عمومی برای بیماری‌هایی است که علت ایجاد آن‌ها ساختمان است. عواملی هم‌چون خروج گاز از مواد ساختمانی استفاده شده در ساختمان، ترکیبات آلی فرار، کپک، خروج نامطلوب مولکول‌های ازن (تولید جانبی دستگاه‌های اداری)، مواد شیمیایی صنعتی و کم‌هوا دادن اتاق نام برد.
- **حساسیت شیمیایی چندگانه^۳.** در برخی موارد افراد به دلیل مجاورت طولانی مدت با برخی مواد شیمیایی نظیر ترکیبات معطر، حشره‌کش‌ها، دود، فرآورده‌های نفتی و بخارات ناشی از رنگ‌ها، حتی نسبت به غلظت‌های اندک این مواد نیز واکنش نشان می‌دهند. علائم این نوع حساسیت‌ها چندان مشخص نیست و در افراد مختلف متفاوت است. برخی علائم مشاهده شده شامل حالت تهوع، سرگیجه، التهاب پوست و مفاصل هستند.

^۱ Sick Building Syndrome

^۲ Building Related Illness

^۳ Multiple Chemical Sensitivity

۲.۱ اهمیت کیفیت هوای داخل از نظر سازمان بهداشت جهانی

مطابق آمار سازمان بهداشت جهانی سالانه ۴/۳ میلیون نفر در سراسر جهان به دلیل بیماری‌های مربوط به آلودگی هوای داخلی، ناشی از استفاده نامناسب از سوخت‌های جامد برای پخت‌وپز، دچار مرگ زودرس می‌شوند. علت این مرگ‌ها به صورت زیر طبقه‌بندی شده است:

- ۳۴ درصد به دلیل سکته؛
- ۲۶ درصد به دلیل بیماری‌های قلبی؛
- ۲۲ درصد به دلیل بیماری مزمن انسداد ریه؛
- ۱۲ درصد به دلیل ذات‌الریه (سینه پهلوی)؛ و
- ۶ درصد به دلیل سرطان ریه.

حدود یک‌چهارم همه مرگ‌های زودرس به دلیل سکته (چیزی در حدود ۱/۴ میلیون مرگ که نیمی مربوط به زنان است) می‌تواند به مجاورت مزمن با آلاینده‌های هوای خانگی ایجاد شده توسط پخت‌وپز با سوخت‌های جامد نسبت داده شود. بیش از یک‌سوم مرگ‌های زودرس ناشی از بیماری مزمن انسداد ریه در بزرگسالان و در کشورهای فقیر و متوسط به دلیل مجاورت با آلاینده‌های هوای خانگی است. زنانی که در معرض غلظت‌های بالای دود سیگار قرار دارند تا ۲ برابر بیش از زنانی که در محیط‌های داخلی عاری از سیگار هستند از بیماری مزمن انسداد ریه رنج می‌برند. نتایج تحقیقات هم‌چنین وجود ارتباط میان آلاینده‌های هوای داخلی و وزن کم نوزادان هنگام تولد، سل، آب مروارید و سرطان‌های گلو و حنجره را به اثبات رسانده است.

در این راستا سازمان بهداشت جهانی با ارائه دستورالعمل‌ها و برگزاری سمینارها و کارگاه‌های آموزشی اقدامات فراوانی جهت بهبود سطح کیفی هوا در محیط‌های داخلی انجام داده است.

۳.۱ انواع آلاینده‌های محیط‌های داخلی

آلاینده‌هایی که می‌توانند بر کیفیت هوای محیط‌های داخلی اثرگذار باشند را می‌توان بر اساس نوع آن‌ها در سه دسته کلی تقسیم‌بندی نمود:

- **بیولوژیکی.** باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها، مایت‌ها، کپک، گرده‌ها، مو و مدفوع حیوانات از جمله آلاینده‌های بیولوژیکی هستند که می‌توانند بر کیفیت هوا اثرگذار باشند.
- **شیمیایی.** پاک‌کننده‌ها، حلال‌ها، سوخت‌ها، چسب‌ها، محصولات جانبی احتراق و انتشار آلاینده‌ها از وسایل داخل خانه و همچنین پوشش‌های کف و آلاینده‌های حاصل از منابع طبیعی. از این دست می‌توان رادون، ویروس‌ها، قارچ‌ها و کپک‌ها را نام برد.
- **آلاینده‌های حاصل از احتراق.** از این دست می‌توان منوکسید کربن و دود سیگار را مثال زد.
- **آلاینده‌های ساخته بشر.** از این دست می‌توان آذوقه و ترکیبات آلی فرار را عنوان نمود.
- هر کدام از انواع آلاینده‌ها می‌توانند اثرات دیوارهای اتاق‌ها از جمله آلاینده‌های شیمیایی محسوب می‌گردند.
- **ذرات و آئروسول‌ها.** ذرات و آئروسول‌ها در واقع مواد جامد یا مایعی هستند که به علت کوچک بودن و وزن بسیار کم می‌توانند به راحتی در هوا معلق بمانند. ذرات به صورت کلی در سه دسته بسیار ریز، ریز و درشت دسته‌بندی می‌گردند و از گرد و خاک، فعالیت‌های ساختمانی، چاپ، فتوکپی، فرآیندهای ساخت‌وساز، احتراق و برخی واکنش‌های شیمیایی نشأت می‌گیرند.

البته دسته‌بندی‌های دیگری نیز برای آلاینده‌ها وجود دارد. به طور مثال می‌توان آلاینده‌ها را بر مبنای منبع ایجاد آن‌ها نیز به سه دسته کلی زیر تقسیم نمود:



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

متفاوتی را بر روی سلامت افراد داشته باشند. همچنین اثر یک آلاینده با غلظت مشخص نیز می‌تواند در افراد مختلف سبب ایجاد مشکلات متفاوتی گردد. همین موضوع باعث پیچیدگی‌هایی برای تعیین استاندارد یا دستورالعمل‌های مربوط به کیفیت هوای محیط‌های داخلی می‌گردد. در فصل بعد انواع آلاینده‌های محیط‌های داخلی به صورت دقیق‌تر بررسی شده است.

۴.۱ برخی از منابع آلاینده داخلی

منابع زیادی در داخل ساختمان‌ها و محیط‌های بسته وجود دارند که باعث تولید و انتشار آلاینده‌ها می‌شوند. در این بخش برخی از این منابع معرفی و بررسی خواهند شد.

۱.۴.۱ دستگاه‌های فتوکپی و پرینتر



براون [۲] نتایج آزمایش‌هایی را که بر روی انتشار دستگاه‌های فتوکپی و پرینترهای لیزری انجام داده است را به شرحی که در ادامه آورده شده است، بیان می‌دارد. نتایج او نشان می‌دهند که دستگاه‌های فتوکپی حتی زمانی که استفاده نمی‌شوند (ولی روشن هستند) نیز نسبت به حالت خاموش مقادیر قابل توجهی از آلاینده‌ها را منتشر می‌نمایند. مجموع ترکیبات آلی فرار منتشر شده از این دستگاه‌های فتوکپی حتی به ۱۹۰۰ میکروگرم بر مترمکعب نیز

می‌رسد که از این میزان اتیل بنزن با حدود ۶۰۸ میکروگرم بر مترمکعب، ام‌ژیلن و پی‌ژیلن در مجموع با ۵۱۵ میکروگرم بر مترمکعب و استیرنیوژیلن با ۳۹۰ میکروگرم بر مترمکعب ترکیبات اصلی هستند. از باقی ۱۰ ترکیب آلی فرار، بنزالدهید، و C استر و بوتنیل بنزن گروه بعدی ترکیبات مهم به شمار می‌روند.

نتایج براون نشان می‌دهد که دستگاه‌های پرینتر لیزری میزان انتشار متفاوتی دارند و در حالیکه برخی از آن‌ها مقادیر زیادی از ن توليد می‌کنند اما برخی دیگر اینگونه نیستند. هفت مورد از مجموع سیزده پرینتر بررسی شده مقادیر بیشتری از ازن، دی‌اکسید نیتروژن و ذرات معلق را نسبت به دستگاه‌های فتوکپی منتشر می‌نمودند ولی میزان انتشار ترکیبات آلی فرار آن‌ها کمتر بوده است. رایج‌ترین ترکیبات آلی فرار دستگاه‌های پرینتر نیز ژیلن، بنزن، استیرن و نونانول بوده است. برخی از انواع پرینترها نیز اسنافتین منتشر می‌کرده‌اند.

۲.۴.۱ فرش



بلک و همکاران [۳] به بررسی تاثیر شست‌وشوی فرش در کاهش میزان آلاینده‌های زیستی پرداختند. دو نوع فرش مورد استفاده قرار گرفت. آلاینده‌های زیستی مختلفی نظیر دو گونه مایت، سوسک، شوره گربه، قارچ و باکتری مورد بررسی قرار گرفتند. بعد از تمیزکاری و شست‌وشو میزان قارچ‌ها و باکتری در هر دو فرش به میزان قابل توجهی کاهش یافته بود گرچه یکی از فرش‌ها از دیگری تمیزتر شده بود.

۳.۴.۱ حیوانات خانگی



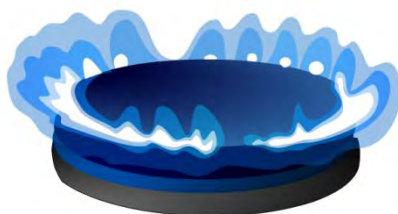
شوره حیوانات خانگی (تکه‌های ریزی از پوست گربه‌ها، سگ‌ها و سایر حیوانات خانگی که روی زمین ریخته می‌شوند) یکی از قوی‌ترین و فراگیرترین (به عبارت دیگر این شوره‌ها هر جایی از قبیل خانه‌ها، محل کار، کتابخانه‌ها و حتی بیمارستان‌ها نیز یافت می‌شوند) آلرژن‌های انسان به حساب می‌آیند. این آلرژن‌ها هستند که می‌توانند عوارض پزشکی نظیر آسم را ایجاد کنند.

این شوره ها به قدری کوچک هستند که معمولا با چشم غیرمسلح قابل دیدن نمی باشند و می توانند تا قسمت های انتهایی دستگاه تنفسی نیز نفوذ کنند. علاوه بر شوره، حیوانات خانگی پروتئین های آلرژی زایی را نیز توسط بزاق، مدفوع، عرق و ادرار منتشر می نمایند که اثرات تجمعی این آلاینده ها می تواند شرایط ناگواری را در یک محیط داخلی رقم بزند. شوره حیوانات خانگی بسیار چسبنده بوده و می توانند تا مدت ها بر روی هر چیزی چسبیده باشند. برخی از علایم مجاورت با آلرژن های حیوانات خانگی شامل سرفه، سرگیجه، بی حالی، تب، آبریزش چشم، عطسه، تنگی نفس و مشکلات گوارشی است. افرادی که حساسیت بیشتری دارند معمولا کودکان، افراد مسن و افرادی که مشکلات تنفسی و آلرژی دارند، هستند. شوره حیوانات ممکن است به گسترش آسم یا بدتر کردن علایم آن در افرادی که به دلیل دیگری دچار آسم هستند نیز کمک نماید.

آلرژن به هر چیزی گفته می شود که می تواند باعث واکنش های آلرژیک و مشکلات تنفسی در افراد مختلف شود.

بهترین راه حل برای برطرف کردن مشکلات مربوط به شوره حیوانات، حذف حیوانات خانگی است، اگرچه ممکن است ماه ها طول بکشد تا اثرات مربوط به شوره آن ها به طور کامل از بین برود. در صورتی که حذف حیوان خانگی ممکن نیست بایستی از اقدامات دیگری نظیر شست و شوی مرتب حیوان و همچنین شست و شوی دست ها پس از هر بار تماس با حیوان بهره جست.

۴.۴.۱ اجاق گاز



اجاق های گاز که برای پخت و پز مورد استفاده قرار می گیرند نیز می توانند یکی از عوامل کیفیت پایین هوای داخلی، به خصوص زمانی که بدون هود استفاده شوند، به حساب بیایند. اجاق های گاز عامل انتشار دی اکسید



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

نیتروژن، منوکسید کربن و فرمالدهید هستند که هر کدام از آن‌ها می‌توانند باعث تشدید بیماری‌های تنفسی شوند [۴،۵].

تخمین زده شده است که اجاق‌های گاز بین ۲۵ تا ۳۳ درصد در تابستان و ۳۵ تا ۳۹ درصد در زمستان به غلظت میانگین هفتگی دی‌اکسید نیتروژن داخل خانه‌ها اضافه می‌کنند. تفاوت میزان اثرگذاری در فصول مختلف سال به دلیل کاهش نرخ تهویه هوا در زمستان است. هم‌چنین در مورد منوکسید کربن نیز تخمین زده شده است که ۳۰ درصد غلظت در تابستان و ۲۱ درصد غلظت در زمستان به دلیل وجود اجاق‌های گاز است. علت سهم بیشتر منوکسید کربن در تابستان نیز کمتر بودن غلظت منوکسید کربن در هوای بیرون است. هم‌چنین نتایج تحقیقات نشان داده است که اجاق‌های گاز در مقایسه با سایر منابع داخلی نظیر مبلمان و اثاثیه منزل سهم بسیار کمتری در تولید فرمالدهید دارند [۶].

۵.۴.۱ آفت‌کش‌ها



بسیاری از محصولات خانگی نظیر حشره‌کش‌ها، مواد ضدعفونی، سم موش و محصولات سم‌پاشی گل و گیاهان از آفت‌کش‌ها محسوب می‌شوند. آفت‌هایی که آفت‌کش‌ها آن‌ها را کنترل می‌کنند شامل حشرات، گیاهان، جوندگان و میکروارگانیسم‌ها می‌باشند [۷]. نشان داده شده است که تعداد و غلظت آفت‌کش‌ها در محیط‌های داخلی معمولاً بیشتر از محیط‌های خارجی است.

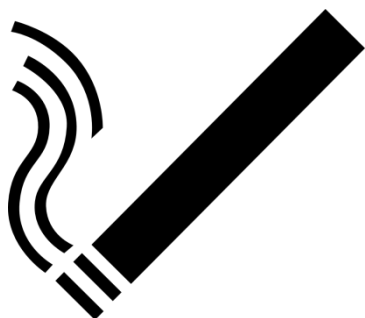
افراد از طریق تنفس، خوردن ناگهانی و ریخته شدن بر روی پوست در معرض آفت‌کش‌ها قرار دارند. آفت‌کش‌ها می‌توانند از طریق استفاده یا ذخیره‌سازی آن‌ها در محیط‌های داخل وارد فضای ساختمان شوند یا از طریق ورود هوای بیرون به داخل یا حیوانات خانگی به فضای داخل راه یابند. هم‌چنین آفت‌کش‌ها می‌توانند به هر سه شکل جامد، مایع و گاز در هوای داخل ساختمان وجود داشته باشند.

خطرات ناشی از تنفس آفت کش ها به میزان سمی بودن آن آفت کش و مدت زمان مجاورت با آن بستگی دارد. هم چنین دفعات مجاورت با آفت کش و شرایط جسمی فرد نیز در تاثیر گذاری آفت کش بر روی وی موثر خواهد بود. به طور کلی بررسی اثرات آفت کش ها با توجه به تنوع آن ها کار آسانی نیست اما نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که قرار گرفتن در معرض آفت کش ها می تواند اثرات زیر را به همراه داشته باشد:

- علائم خفیف نظیر سردرد، خستگی و تنگی نفس؛
- واکنش های شدید نظیر استفراغ و از دست دادن هوشیاری؛
- اثرات منفی بلند مدت بر روی سیستم عصبی، رفتاری، ایمنی و غدد درون ریز؛ و
- برخی از سرطان ها نظیر سرطان خون و سارکوم بافت نرم.

بهترین راه جلوگیری از آلودگی هوای داخلی با آفت کش ها، عدم استفاده از آن ها می باشد.

۶.۴.۱ سیگار



دود ثانویه یا دود تنباکوی محیطی یکی دیگر از عوامل و منابع تولید آلاینده های داخلی است. دود ثانویه از دو منبع به هوا منتشر می شود:

- ۱- دود بازدمی از فرد سیگاری؛ و
- ۲- دود حاصل از انتهای روشن سیگار.

دود ثانویه نسبت به دود اصلی سیگار سمی تر بوده و غلظت بالاتری از مواد سرطان زا را شامل می شود. هم چنین ذرات موجود در دود ثانویه نسبت به دود اصلی ریزتر بوده و به راحتی راه خود را به بافت های ریه پیدا می کنند.

دود ثانویه سیگار به عنوان یکی از عوامل ایجاد سرطان شناخته شده است که بیش از ۷۰۰۰ ترکیب شیمیایی مختلف را شامل می شود. از این تعداد ترکیب شیمیایی حداقل ۷۰ مورد قابلیت ایجاد سرطان را دارند. شواهدی وجود دارند که نشان می دهند دود ثانویه در بزرگسالان می تواند منجر به سرطان های حنجره، حلق، بینی، مثانه،



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

مقعد، معده و سینه شوند. همچنین دود ثانویه می تواند در کودکان باعث بروز سرطان غدد لنفاوی، خون، ریه و حتی تومورهای مغزی شود [۸].

علاوه بر سرطان، دود ثانویه می تواند مشکلات دیگری را نیز برای سلامت افراد به وجود آورد. به طور مثال دود ثانویه بر روی رگ های خونی و قلب اثر گذاشته و خطر سکته قلبی را در افراد غیرسیگاری بالا می برد. برخی مطالعات حتی دود ثانویه را به برخی تغییرات احساسی و ذهنی نظیر افسردگی نیز ربط داده اند [۸].

۷.۴.۱ رنگ



رنگ استفاده شده برای نقاشی دیوارها و درهای ساختمان ها به عنوان یکی از اصلی ترین منابع تولید ترکیبات آلی فرار در محیط های داخلی شناخته شده است. بیشتر این ترکیبات معطر، خارش زا و حتی سمی هستند. ترکیبات شیمیایی که توسط رنگ ها منتشر می شوند به فرمولاسیون شیمیایی آن ها بستگی دارد. برخی ترکیبات شیمیایی مهم موجود در انواع رنگ ها در جدول ۱-۱ آورده شده است. زمانی که رنگ تازه ساختمان در

حال خشک شدن است، غلظت ترکیبات آلی فرار می تواند تا ۱۰۰۰ برابر بیشتر از غلظت آن در محیط بیرون باشد. یکی از دلایل این موضوع سطح بزرگ رنگ زده شده در خانه ها و سایر اماکن است. ساختمان های رنگ زده شده ممکن است حتی تا ۶ ماه بعد از رنگ آمیزی نیز مقادیر قابل توجهی از ترکیبات آلی فرار را منتشر نمایند.

جدول ۱-۱ مواد شیمیایی موجود در برخی از انواع رنگ ها

رنگ های روغنی، براق و آلکیدی	رنگ لاتکس
بنزن	پروپیلن گلیکول
ژیلن	اتیلن گلیکول
نفتالن	تکسانولز
آلکان های سنگین	بوتوکسی اتوکسی اتانول
	بوتیل پروپیونات
	الکل
	آلدهید

بسیاری از تولیدکنندگان رنگ ادعا می کنند که رنگ آن ها حاوی ترکیبات آلی فرار نیست. نتایج تحقیقات آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا نشان می دهد که حتی اگر این ادعا درست نیز باشد اما برخی از ترکیبات آلی فرار نظیر فرمالدهید می توانند به عنوان محصول جانبی حین رنگ آمیزی یا پس از آن تولید شوند.

نتایج تحقیقات اسپارکس و همکاران [۹] نشان داده است که رنگ آمیزی دیوارهای گچی با رنگ لاتکس^۱ منجر به انتشار ترکیبات آلی فرار می شود و این انتشار تا حدود ۲۰۰ روز پس از رنگ آمیزی نیز ادامه خواهد یافت.

تاثیر رنگ بر روی سلامتی نیز نظیر تاثیر ترکیبات آلی فرار بر روی سلامتی است. به طور کلی علایمی مانند سردرد، تهوع، سرگیجه، آسیب به سیستم عصبی، ریه و کلیه و مشکلات تنفسی ممکن است به دلیل استفاده از رنگ حاصل شود. هم چنین تحقیقات وجود رابطه میان برخی سرطان ها و مجاورت با برخی ترکیبات آلی فرار را نیز به اثبات رسانده است.

^۱ Latex paint



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۵.۱ اثرات عوامل مختلف در محیط داخلی بر عملکرد و سلامت ساکنان

به صورت کلی واکنش افراد مختلف به انواع آلاینده‌ها یکسان نمی‌باشد. هم‌چنین در مورد هر آلاینده مشخص نیز سطح غلظتی که باعث تحریک و آسیب به افراد می‌شود، متفاوت است؛ به همین دلایل است که تعیین مقادیر استاندارد یا دستورالعملی برای حد غلظت آلاینده‌های مختلف بسیار دشوار بوده و گاهی نیز غیر ممکن است.

نشانه‌های نوعی که توسط کیفیت نامطلوب هوا در افراد ایجاد می‌شود وابسته به میزان حساسیت آن فرد متفاوت است و شامل مواردی نظیر احساس لرز، عرق کردن، سوزش چشم، انواع آلرژی‌ها، سرفه، عطسه، حالت تهوع، خستگی، خارش پوست و مشکلات تنفسی خواهد بود. در حالات شدیدتر، واکنش‌های فرد به حدی می‌رسد که دیگر نمی‌تواند هیچ عملی انجام دهد. راه عاقلانه این است که از اقدامات پیشگیرانه استفاده شده و هر عاملی که می‌تواند باعث ایجاد اثرات منفی در کیفیت هوای محیط‌های داخلی گردد، شناسایی و تا حد ممکن حذف گردد.

اندازه‌گیری کیفیت محیط داخلی در برگیرنده ارزیابی جنبه‌هایی از محیط می‌باشد که بر روی سلامتی و راحتی ساکنان اثرگذار هستند. مطالعات علمی بر روی کیفیت محیط داخلی تلاش کرده‌اند تا رابطه میان کیفیت هوای داخلی، نرخ تهویه، دما، نور و صدا را با عملکرد ساکنان توضیح دهند. بر اساس تحقیقات صورت گرفته، اثر کیفیت محیط داخلی بر ساکنان از طریق سه پارامتر تعیین می‌گردد [۱۰]:

- بهره‌وری^۱؛
- رفتار^۲؛ و
- سلامت.

^۱ Productivity

^۲ Behaviour

به دلیل پیچیدگی‌هایی که در بررسی اثرات کیفیت محیط داخلی بر عملکرد ساکنان وجود دارد، معمولاً در تحقیقات علمی اثر یک یا دو پارامتر فوق در نظر گرفته می‌شود. مطالعات اخیر نشان داده است که ۲ تا ۷ برابر بهبود کیفیت محیط داخلی در مقایسه با استانداردها و شرایط موجود، سبب افزایش بهره‌وری در ادارات و یادگیری در مدارس می‌شود و همچنین خطر علائم آلرژیک و آسم را نیز در خانه‌ها کاهش می‌دهد، البته برای اینکه کیفیت محیط داخلی برای گروه‌های حساس نیز مناسب باشد باید کیفیت محیط داخلی ۱ تا ۲ مرتبه بزرگی بهبود یابد [۱۱].

۱.۵.۱ اثر کیفیت هوای داخلی



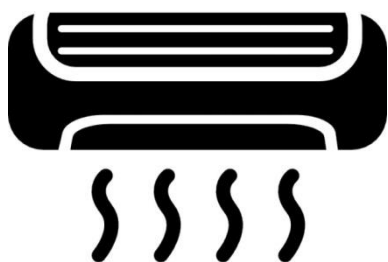
اشنایدر [۱۲] به این نتیجه رسید که کیفیت هوای داخلی به دلیل اثرگذاری بر دو پارامتر بهره‌وری و سلامت، بیشترین اثر را بر روی عملکرد ساکنان نسبت به سایر موارد (نظیر دما و رطوبت) دارد. کودکان و نوجوانان به دلیل آنکه مجاورت کمتری در طول عمر خود با شرایط محیطی مختلف داشته‌اند (تا مقاومت بدنشان زیاد شود) و همچنین نسبت به وزن بدن خود حجم هوای زیادتری را

تنفس می‌کنند، در برابر آلودگی‌ها حساسیت بالاتری دارند [۱۳]. سلامت و تندرستی دانش‌آموزان یک عامل اساسی تاثیرگذار در حضور در کلاس [۱۴]، رفتار آن‌ها در کلاس و بهره‌وری آن‌هاست [۱۵]. نتایج تحقیقات اسمج و همکاران [۱۶] نشان می‌دهد که علائم آسم در مدارس با کلاس‌های بزرگ، نرخ تهویه هوای کم، مشکلات رطوبت به دلیل تعمیر و نگهداری ضعیف و ذرات آلرژن معلق در هوا تشدید می‌گردد.

هیچ‌کدام از تحقیقات علمی که به بررسی رابطه میان کیفیت هوای داخلی و عملکرد دانش‌آموزان پرداخته‌اند، تاثیر کیفیت هوا را بر همه پارامترها (بهره‌وری، رفتار و سلامت) بررسی نکرده‌اند. در مجموع می‌توان گفت مطالعات علمی

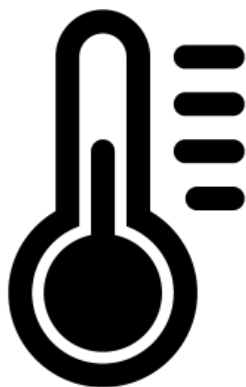
هنوز نتوانسته اند تاثیر دقیق کیفیت هوای داخلی را بر عملکرد دانش آموزان نشان دهند [۱۰] ولی برخی از نتایج به دست آمده در بخش ۶.۱ توضیح داده شده است.

۲.۵.۱ اثر نرخ تهویه



تهویه هوای کافی می تواند اثر کیفیت پایین هوا را کاهش دهد [۱۷] و شواهد رابطه میان عملکرد دانش آموزان و تهویه ضعیف را نشان داده اند [۱۴]. اگر چه این نتیجه غیر قاطع است ولی توجه به این نکته که تهویه ضعیف کلاس ها بر روی بهره وری و سلامتی اثر گذار است، قابل توجه می باشد. تهویه هوای ناکارآمد می تواند سبب کاهش تمرکز دانش آموزان و افزایش مشکلات سلامتی [۱۸]، افزایش غیبت دانش آموزان [۱۹] و عملکرد پایین در کودکان و بزرگسالان [۲۰] شود.

یکی از مسائل مهم افزایش بیش از حد غلظت دی اکسید کربن در کلاس است. طبق تحقیقات اشنایدر [۱۲] غلظت های بالاتر از ۱۰۰۰ ppm دی اکسید کربن می تواند منجر به سر درد، خواب آلودگی و مشکلات تمرکز حواس شود. این در حالی است که مطالعات دیزی و همکاران [۱۷] نشان می دهد که غلظت دی اکسید کربن در کلاس می تواند تا ۴۰۰۰ ppm نیز افزایش یابد. تحقیقات گروه هچانگ ماهون [۲۱] نشان داده است بهبود تهویه هوا به دلیل استفاده از پنجره های قابل باز و بست (صرف نظر از وجود سیستم تهویه مطبوع مکانیکی)، ۷ تا ۸ درصد سبب پیشرفت دانش آموزان نسبت به حالتی شده است که پنجره ها ثابت بوده اند.



۳.۵.۱ اثر دما

شواهد نشان می دهند که دمای ایده آل برای یادگیری به ویژگی های فردی و شرایط بیرونی بستگی دارد [۲۲]. دماهای بالا میزان ناراحتی را در میان دانش آموزان



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

افزایش داده و منجر به کاهش بازه (مدت زمان) یادگیری و توجه دانش آموز و در نتیجه کاهش موفقیت و پیشرفت او می شود در حالیکه دماهای کم سبب کاهش چالاکی می شود [۳، ۱۴]. مطابق تحقیقات اشنایدر [۱۲] معلمان بررسی شده اظهار کرده اند که مشکل کنترل دما بر عملکرد دانش آموزان و فرآیند آموزش آن ها اثرگذار است. هیگین و همکاران [۲۴] نشان دادند که کنترل حرارتی محیط بسیار مهم است و نبود کنترل دما موجب کاهش بهره وری و افزایش غیبت ها می شود. ژاکو و تانر [۲۵] به این نتیجه رسیدند که محیط حرارتی کلاس بر روی بهره وری دانش آموزان در همه سطوح آموزش اثرگذار است. مطالعات فنگ [۲۶] نیز نشان داده است که کاهش دمای هوا به اندازه ۲ تا ۳ درجه سانتیگراد، به طور مثال از ۲۳-۲۴ درجه سانتیگراد به ۲۱ درجه سانتیگراد، می تواند کیفیت هوای داخلی را تا ۲ برابر افزایش دهد.

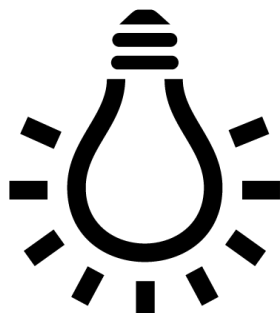
۴.۵.۱ اثر رطوبت



نتایج تحقیقات نشان داده است که رطوبت نسبی کمتر از ۴۰ درصد می تواند منجر به افزایش خشکی گلو شود و رطوبت های نسبی کمتر از ۲۰ درصد نیز تاثیرات منفی بر روی نرخ چشمک زدن افراد داشته باشد [۲۶]. البته افزایش بیش از حد رطوبت نسبی نیز به دلیل ایجاد شرایط مناسب برای رشد قارچ،

کپک و سایر آلاینده های بیولوژیکی توصیه نمی شود. در مجموع محدوده رطوبت نسبی تقریبی ۴۰ تا ۶۰ درصد قابل قبول به حساب می آید [۲۷].

۵.۵.۱ اثر نور



تحقیقات در زمینه نور و محیط یادگیری دانش آموزان نشان داده است که نور روز به طور چشمگیری بر روی نرخ یادگیری اثرگذار است. نتایج مطالعات گروه



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

هچانگ ماهون [۲۱] در طول یک سال نشان داد که کودکان کلاس های ابتدایی که در معرض نور روز هستند در ریاضیات ۲۰ درصد و در مطالعه ۲۶ درصد سریعتر عمل نموده اند. پلیمپتون و همکاران [۲۸] نتایج چهار مطالعه موردی مدارس با نوررسانی بهبود یافته را با هم مقایسه کرده و به این نتیجه رسیدند که بهره وری و سلامت دانش آموزان نیز بهبود یافته است.

اشنایدر [۱۲]، فیشر [۲۳] و لاکنی [۲۹] معتقد هستند که طراحی مناسب سیستم نوررسانی طبیعی و مصنوعی در کلاس درس بر رفتار کلاسی دانش آموزان اثرگذار است. نتایج تحقیقات نیکلاس و بیلی [۳۰] نشان می دهد که در نور کامل (نور شامل طیف فروسرخ تا نزدیک فرابنفش) تولید ویتامین D موجب بهبود وضعیت دندان ها و رشد دانش آموزان می گردد. در مجموع نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که میزان نور بر روی یادگیری و بهره وری افراد تاثیرگذار است.



۶.۵.۱ اثر صدا

پژوهش ها نشان می دهند که سطح بالای صداهای خارجی به طور خاص برای فرآیند یادگیری مضر هستند [۳، ۱۴، ۱۸]. صدا با ارتباطات درون کلاس تداخل کرده [۳۱] و سبب اختلال در پردازش اطلاعات کودک می گردد [۲۹].

هم چنین اشنایدر [۱۲] وجود واکنش های منفی به سطوح بالای صدا در کلاس درس نظیر از دست دادن تمرکز حواس، تداوم کمتر در کار و سطح بالاتر اشتباه را گزارش کرده است. فیشر [۲۳] و اشنایدر [۱۲] به این نتیجه رسیدند که فشار خون دانش آموزانی که در معرض سطوح بالای صدا هستند افزایش می یابد. هم چنین فیشر [۲۳] به این نتیجه رسید که دانش آموزانی که مدت زمان زیادی در معرض صدا هستند استرس بیشتری دارند.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۶.۱ تاثیر کیفیت هوای داخلی بر عملکرد دانش آموزان



کودکان به طور ذاتی نسبت به آلاینده های محیطی آسیب پذیرتر هستند زیرا بدن آن ها هنوز در حال رشد و توسعه است. شرایط محیطی نامناسب در مدارس نظیر تمیزکاری و شست و شوی ناکافی و تهویه بد می تواند منجر به بروز مشکلات پزشکی حاد در کودکان گردد. بررسی تاثیرات کیفیت هوای داخل بر سلامت و عملکرد دانش آموزان هم چنان در حال انجام است [۳۲،۳۳].

شواهد علمی مدت ها است که وجود ارتباط میان کیفیت پایین هوای داخلی و مشکلات تنفسی نظیر آسم را اثبات کرده است. مشکلات تعمیر و نگهداری در مدارس نظیر رطوبت اضافی و استفاده بیش از حد از شوینده های شیمیایی منجر به بروز آسم و آلرژی می گردد. مطالعات زیادی نشان داده اند که عملکرد کلی دانش آموزان با بیماری و غیبت از مدارس، کاهش می یابد [۳۴،۳۵].

تحقیقات نشان داده اند که بهبود کیفیت هوای داخلی باعث افزایش بهره وری و بهبود عملکرد ذهنی دانش آموزان و حتی بزرگسالان نظیر تمرکز حواس و به خاطر آوردن مطالب می شود. این موضوع لزوم برنامه ریزی برای بهبود کیفیت هوای داخلی مدارس که شامل برنامه های تعمیر و نگهداری نیز می گردد را به عنوان یکی از اجزای کلیدی استراتژی توسعه و بهبود سطح آموزش، یادآوری می کند. در حالیکه برخی از مدیران مدارس بودجه های مربوط به تعمیر و نگهداری مدارس را جدی نگرفته و گاهی آن را در راه های دیگری خرج می نمایند اما شواهد علمی بیان می دارند که:

- سلامتی، حضور در کلاس و عملکرد دانش آموزان می تواند با بهبود تعمیرات و نگهداری مدارس افزایش یابد [۳۶،۳۷]؛ و
- مدارس که وضعیت فیزیکی بهتری دارند در مقایسه با مدارس که کادر سراینداری ضعیف تر و مشکلات تاسیساتی بیشتری دارند عملکرد تحلیلی بهتری از خود نشان می دهند [۳۸].



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

نرخ تهویه در بیشتر مدارس کمتر از حدود توصیه شده است، درحالیکه وجود تهویه هوای مناسب و کافی در تمامی کلاس‌های مدارس منجر به:

- کاهش غیبت‌ها و انتقال بیماری‌های ویروسی [۳۹]؛
- بهبود سلامت و بهره‌وری معلمان؛ و
- بهبود نتایج و عملکرد دانش‌آموزان در امتحانات [۴۰-۴۲]

می‌شود.

در یک مطالعه نشان داده شد که دانش‌آموزان کلاسی با نرخ تهویه هوای بهتر، ۱۴ تا ۱۵ درصد امتیاز بیشتری در یک امتحان استاندارد نسبت به دانش‌آموزان کلاسی با نرخ تهویه هوای پایین به دست آوردند [۴۳].



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران

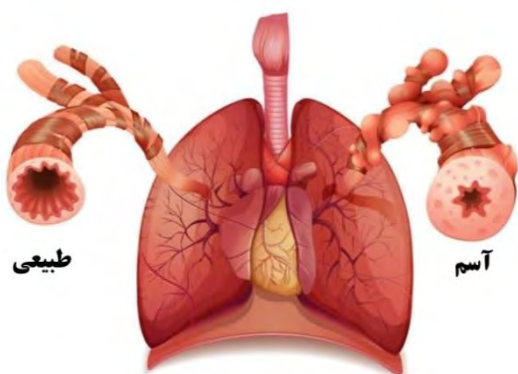


شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۷.۱ آسم، آلرژی و آلودگی هوای داخلی



آسم یک بیماری التهابی مزمن مجاری تنفسی است که نشانه‌های رایج آن عبارتند از خس‌خس، سرفه و تنگی نفس که به سه‌گانه آسم معروف هستند. اینطور ارزیابی شده است که مجموعه‌ای از عوامل محیطی و ژنتیکی در ایجاد آسم اثرگذار هستند. آسم مزمن‌ترین بیماری در کودکان به حساب می‌آید.

مهم‌ترین آلاینده‌های داخلی تاثیرگذار بر آسم ذرات معلق، دی‌اکسید نیتروژن و آلرژن‌های معلق در هوا هستند [۴۴]. ذرات معلق حاصل از منابع داخلی متفاوت از ذرات معلق تولید شده در محیط بیرون هستند. نتایج تحقیقات کوئینگ و همکارانش [۴۵] نشان داده است که ذرات معلق PM_{2.5} حاصل از منابع داخلی اثر بیشتری در کاهش عملکرد ریه نسبت به ذرات معلق خارجی دارند.

ذرات معلق درشت در محیط داخلی منجر به تشدید علائم آسم می‌شود. بر این اساس ثابت شده است که هر ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب افزایش در غلظت ذرات معلق بین ۲/۵ تا ۱۰ میکرومتر باعث می‌شود تا ۶ درصد به تعداد روزهای بروز علائم آسم (خس‌خس، سرفه و تنگی نفس) افزوده شود. هم‌چنین افزایش غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرومتر، به اندازه ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب، ۷ درصد به تعداد روزهای بروز علائم آسم می‌افزاید [۴۴].

دی‌اکسید نیتروژن از محصولات احتراق دما بالا است. اگرچه برخی از مطالعات [۴۶] به این نتیجه رسیده‌اند که دی‌اکسید نیتروژن در محیط‌های داخلی اثرات منفی بر سلامت تنفسی دارد ولی برخی مطالعات دیگر [۴۷] نتوانسته‌اند رابطه‌ای میان آن‌ها پیدا کنند.

آسم یک بیماری التهابی و آلرژیک است و مجاورت با آلرژن‌های داخلی یک عامل شناخته شده برای شیوع آسم است. آلرژن‌ها می‌توانند توسط آفات (مایت، سوسک، جوندگان)، حیوانات خانگی (گربه‌ها، سگ‌ها)، گیاهان (گرده) و



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران

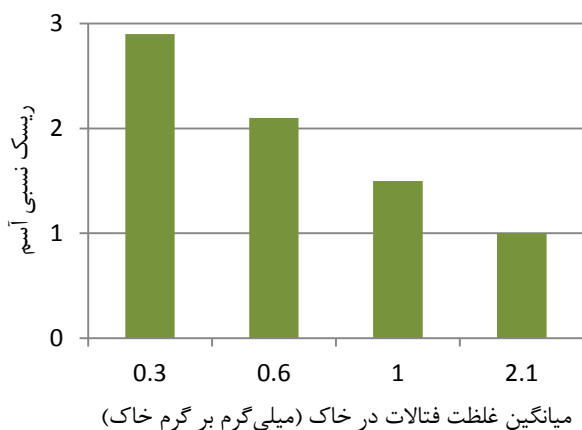


شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

قارچ (کپک‌ها) تولید شوند. تحقیقات زیادی بر روی اثرات آلرژن‌ها بر روی آسم انجام شده و وجود رابطه میان آن‌ها به اثبات رسیده است [۴۸]. در مجموع می‌توان گفت که نتایج مطالعات مختلف انجام شده نقش آلودگی هوای داخلی را بر روی آسم مشخص نموده است و بهترین راه مبارزه با آن پیشگیری از مجاورت با این آلاینده‌ها می‌باشد. بورنهایگ و همکاران [۲۷،۲۸] رابطه میان کیفیت هوای داخلی با آسم و آلرژی را در ۱۱۰۰۰ کودک در اسکندیناوی بررسی کردند و برای این منظور اندازه‌گیری‌های دقیق شیمیایی، فیزیکی، بیولوژیکی و پزشکی در ۲۰۰ خانه با کودکان مبتلا به آسم و ۲۰۰ خانه با کودکان سالم انجام دادند. این خانه‌ها در مناطقی با کیفیت هوای بیرونی عالی انتخاب شده بودند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که علائم آلرژیک به تهویه هوا مرتبط هستند. چهار برابر بهبود نرخ تهویه هوا و در نتیجه بهبود کیفیت هوای داخلی می‌تواند علائم آلرژیک را با ضریب ۲ کاهش دهد. هم‌چنین نتایج وجود رابطه میان غلظت فتالات و آسم را به اثبات رساندند. تاثیرات نرخ تهویه هوا بر علائم آلرژیک و غلظت فتالات بر آسم به ترتیب در شکل ۱-۱ و شکل ۲-۱ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱ رابطه میان ریسک نسبی آسم و میانگین غلظت فتالات در گرد و خاک خانه‌ها [۴۹]



شکل ۱-۱ رابطه میان ریسک نسبی بروز علائم آلرژیک و نرخ تهویه هوا در خانه‌ها [۵۰]



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

فتالات‌ها در بسیاری از پلیمرها نظیر پی‌وی‌سی^۱ به عنوان روان‌کننده^۲ استفاده می‌شوند. کاهش غلظت فتالات‌ها تا ۷ برابر، خطر آسم را تا ۳ برابر کاهش می‌دهد. بنابراین مشاهده می‌شود که ۴ تا ۷ برابر بهبود کیفیت هوای داخلی می‌تواند تأثیرات مثبت فوق‌العاده‌ای در کاهش خطرات آسم و علایم آلرژیک داشته باشد [۱۱].

۸.۱ کیفیت هوای داخلی و گروه‌های حساس

استانداردها و راهنماهای مربوط به کیفیت هوای داخلی اذعان می‌نمایند که در صورت اجرای آن‌ها باز هم گروه‌های حساس نظیر کودکان، سالخوردگان، افراد مبتلا به آسم و آلرژیک و سایر بیماران که معمولاً ۱۵ تا ۳۰ درصد جمعیت را تشکیل می‌دهند، ممکن است احساس ناراحتی داشته باشند. اما این سوال مطرح می‌گردد که به عنوان مثال برای کاهش درصد افراد ناراضی از کیفیت هوا از ۲۰ درصد به ۱ درصد، چه مقدار بایستی کیفیت هوا را بهبود بخشید؟ بر اساس مدل فنگر برای «کیفیت هوای حسی»^۳ [۵۱] که در راهنماهای اروپایی [۵۲] استفاده شده است، دست یافتن به چنین بهبودی نیاز به افزایش کیفیت هوای داخلی با ضریب ۲۰ یا بیشتر خواهد داشت.

اگر بخواهیم این افزایش کیفیت را تنها با تهویه به دست آوریم نیاز به نرخ تغییر هوای بزرگی خواهد بود که به دلیل مصرف انرژی زیاد و هزینه بالا امری غیرعملی محسوب می‌شود؛ در نتیجه بایستی از سایر روش‌های جایگزین نظیر کنترل منبع آلودگی و تصفیه‌کننده‌های هوا نیز در کنار تهویه استفاده شود.

^۱ Polyvinyl chloride (PVC)

^۲ Plasticiser

^۳ Perceived air quality



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۹.۱ ارتباط کیفیت هوای داخل و خارج

به دلیل افزایش انتشار آلاینده‌ها از صنایع و ترافیک شهرها، کیفیت هوای خارج در طول ۶۰ سال گذشته از اهمیت بیشتری برخوردار گردیده است؛ به همین دلیل پایش آلاینده‌های هوا در محیط‌های بیرونی نیز مورد توجه قرار گرفت. اما نتایج بررسی‌ها نشان داد که افراد ساکن در شهرها بیشتر زمان خود را در محیط‌های داخل به سر می‌برند و در نتیجه بیش از آنکه در معرض آلاینده‌های بیرون باشند در مجاورت آلودگی هوای داخل ساختمان‌ها می‌باشند؛ به همین خاطر در ۵۰ سال گذشته توجه فراوانی به کیفیت هوای داخل شده و اندازه‌گیری‌های فراوانی در این زمینه صورت گرفته است.

مشاندرز و همکاران [۵۳] به بررسی ارتباط غلظت آلاینده‌ها در محیط‌های داخل و خارج پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که غلظت ذرات معلق در هوای ساختمان‌های مسکونی بیشتر از محیط بیرون است ولی این موضوع در مورد ساختمان‌های اداری صادق نیست. کاوالو و همکاران [۵۴] مقادیر دی‌اکسید نیتروژن، ترکیبات آلی فرار، فرمالدهید، PM_{10} و آزبست موجود در گرد و غبار را در ۱۰ مدرسه با تهویه هوای طبیعی و ۷ ساختمان اداری با تهویه مکانیکی در ایتالیا اندازه‌گیری نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که غلظت دی‌اکسید نیتروژن، PM_{10} و آزبست به صورت تقریبی در همه مدارس در محیط‌های داخلی و خارجی یکسان است. از طرفی نسبت غلظت ترکیبات آلی فرار و فرمالدهید در محیط‌های داخلی به خارجی به ترتیب در محدوده ۱ تا ۱۵ و ۳ تا ۱۵ متغیر است.

وشلر و همکاران [۵۵] بر روی تاثیر نرخ تهویه بر غلظت ازن در ساختمان‌های دارای تهویه مکانیکی تمرکز کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که نسبت غلظت ازن داخلی به خارجی به صورت غیرخطی ولی قابل پیش‌بینی با نرخ هوا تغییر می‌کند. موراسکا و همکاران [۵۶] به بررسی ارتباط میان ذرات معلق در هوای داخل و خارج ۱۶ خانه مسکونی از طریق اندازه‌گیری غلظت عددی ذرات زیرمیکرون و ذرات بالای میکرون و غلظت جرمی ذرات کوچکتر از ۲/۵ میکرومتر ($PM_{2.5}$) پرداختند. مقایسه میان نسبت غلظت ذرات داخلی به خارجی نشان داد که گرچه مقدار



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

این نسبت از $0/2$ تا $2/5$ برای شرایط تهویه کم و زیاد متغیر است اما مقدار متوسط این نسبت برای ذرات زیرمیکرون بین $0/78$ تا $1/07$ و برای ذرات بالای میکرون $0/95$ تا 1 است. همچنین نسبت غلظت داخل به خارج برای $PM_{2.5}$ نیز در محدوده $1/01$ تا $1/08$ است.

بلانندو و همکاران [۵۷] در سال ۲۰۰۵ میلادی پژوهشی در هشت مدرسه کشور فرانسه انجام دادند تا ارتباط میان کیفیت هوای داخل و خارج را مورد بررسی قرار دهند. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که نسبت غلظت نیتریک‌اکسید در محیط‌های داخلی به خارجی از $0/5$ تا 1 متغیر است. همچنین نسبت غلظت دی‌اکسید نیتروژن نیز در محیط‌های داخلی به خارجی در محدوده $0/88$ تا 1 قرار دارد. علاوه بر این ارتباط مشخصی میان میزان نفوذپذیری ساختمان و این نسبت‌ها یافت نگردید.

از طرفی بلانندو و همکاران به این نتیجه رسیدند که نسبت غلظت ازن در محیط‌های داخلی به خارجی در محدوده صفر تا $0/45$ متغیر بوده و به شدت به میزان نفوذپذیری ساختمان وابسته است. در واقع هرچه میزان نفوذپذیری ساختمان کمتر باشد، نسبت غلظت‌ها نیز کوچکتر خواهد بود. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که حضور افراد در محیط‌های داخلی به دو طریق سبب افزایش ذرات معلق در هوا می‌گردد:

۱- معلق شدن دوباره ذرات ته‌نشین شده؛ و

۲- تولید ذرات جدید.

آن‌ها همچنین غلظت ذرات معلق را در حضور افراد و بدون حضور آن‌ها اندازه‌گیری و با هم مقایسه کردند. نتایج نشان می‌دهند که در همه موارد نسبت غلظت هنگام حضور افراد به غلظت در اتاق‌های خالی از سکنه بیش از یک بوده و گاهی اوقات تا 100 نیز افزایش می‌یابد.

فصل دوم

آلاینده‌های محیط‌های داخلی



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲ آلاینده‌های محیط‌های داخلی

۱.۲ آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی

سازمان‌ها و کشورهای مختلف، معیارهای متفاوتی برای انتخاب آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی دارند. در این بخش آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی از دید برخی سازمان‌ها نظیر سازمان بهداشت جهانی و برخی کشورها نظیر استرالیا بررسی شده است.

۱.۱.۲ سازمان بهداشت جهانی

آلاینده‌های بسیاری در محیط‌های داخلی یافت می‌گردد که در سه دسته کلی آلاینده‌های بیولوژیکی، شیمیایی و آئروسل قرار می‌گیرند. سازمان بهداشت جهانی بر اساس سه معیار زیر دستورالعمل‌هایی را برای برخی از آلاینده‌ها ارائه داده است:

- وجود منابع آلاینده در محیط‌های داخلی؛
- در دسترس بودن اطلاعات اپیدمیولوژی و سم‌شناسی آلاینده؛ و
- بالاتر بودن حد آلاینده در محیط‌های داخلی از حد سلامت.

بر مبنای معیارهای فوق، آلاینده‌ها به دو دسته کلی تقسیم شده و در جدول ۱-۲ آورده شده است. دسته اول آلاینده‌هایی هستند که معیارهای فوق را دارا بوده و بایستی دستورالعمل‌هایی برای آن‌ها تنظیم گردد. دسته دوم آلاینده‌هایی هستند که هنوز مدارک و شواهد کافی در مورد اثرات آن‌ها در دسترس نبوده و نیاز به بررسی‌های



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

بیشتری دارند. هم‌چنین سازمان بهداشت جهانی دود سیگار را نیز به عنوان یکی از آلاینده‌های محیط‌های داخلی به حساب می‌آورد و هیچ حد مجازی را نیز برای آن در نظر نگرفته است.

جدول ۱-۲ دسته‌بندی آلاینده‌ها برای تنظیم دستورالعمل‌ها توسط سازمان بهداشت جهانی

دسته اول. آلاینده‌های انتخاب شده	دسته دوم. آلاینده‌هایی که شواهد بیشتری نیاز دارند
بنزن	استالدهید
منوکسید کربن	آزبست
فرمالدهید	زیست‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها
نفتالین	پیش‌گیرنده‌های شعله
دی‌اکسید نیتروژن	گلیکول اتر
ذرات معلق ($PM_{2.5}$, PM_{10})	هگزان
هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه به‌ویژه بنزو-آ-پایرن	نیتریک اکسید
رادون	ازن
تری‌کلرواتیلن	فتالات‌ها
تتراکلرواتیلن	استیرن
	تولوئن
	زایلین

منبع: [۵۸]

۲.۱.۲ استرالیا

کشور استرالیا در زمینه بررسی آلاینده‌های محیط‌های داخلی و نحوه بهبود کیفیت هوای محیط‌های داخلی تحقیقات فراوانی انجام داده است. بر اساس همین تحقیقات که بر روی آلاینده‌های موجود در خانه‌ها، مراکز اداری و مکان‌های عمومی کشور استرالیا صورت گرفته است، میزان انواع آلاینده‌ها محاسبه شده است. در نهایت استرالیا آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی را به صورتی که در جدول ۲-۲ آورده شده، در نظر گرفته است. باکتری



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

لژیونلا و مایت‌ها نیز جزئی از آلاینده‌های میکروبی محسوب می‌گردند ولی به دلیل شناخت بهتری که از لژیونلا و مایت‌ها وجود دارد، این دو آلاینده در دسته‌بندی جداگانه‌ای در جدول ۲-۲ آورده شده‌اند.

جدول ۲-۲ آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی بر اساس مستندات کشور استرالیا

آزبست	فرمالدهید
رادون	ترکیبات آلی فرار
دود سیگار	آفت‌کش‌ها
ذرات معلق	دی‌اکسید نیتروژن
باکتری لژیونلا	منوکسید کربن
مایت	دی‌اکسید کربن
آلاینده‌های میکروبی	ازن

منبع: [۵۹]

۳.۱.۲ کانادا

سازمان بهداشت کانادا نیز برای برخی از آلاینده‌های محیط‌های داخلی دستورالعمل‌های ویژه‌ای را ارائه داده است. در جدول ۳-۲ این آلاینده‌ها که شامل ۱۰ نوع آلاینده می‌باشد، معرفی شده است.

جدول ۳-۲ آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی بر اساس مستندات کشور کانادا

بنزن	نفتالین
منوکسید کربن	دی‌اکسید نیتروژن
فرمالدهید	ازن
ذرات معلق ($PM_{2.5}$)	رادون
کپک	تولوئن



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۴.۱.۲ چین

دولت و وزارت بهداشت چین نیز لیستی از برخی آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی توسعه داده‌اند که به مرور زمان کامل‌تر شده است. در این لیست برای ۱۲ آلاینده محیط‌های داخلی استانداردها و مطلوبات بهداشتی ارائه شده است. در جدول ۴-۲ این ۱۲ آلاینده معرفی شده است.

جدول ۴-۲ آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی بر اساس مستندات کشور چین

فرمالدهید	دی‌اکسید سولفور
بنزن	دی‌اکسید نیتروژن
بنزو-آ-پایرن	منوکسید کربن
ذرات معلق	دی‌اکسید کربن
ترکیبات آلی فرار	آمونیاک
باکتری‌ها	ازن

منبع: [۶۰]

هم‌چنین وزارت صنایع چین کدی را برای کاهش انتشار برخی آلاینده‌ها ساختمان‌ها در نظر گرفته است که مهندسين عمران بایستی هنگام ساخت و ساز یا نوسازی ساختمان‌ها آن را در نظر بگیرند. این کد شامل آلاینده‌های رادون، فرمالدهید، بنزن، آمونیاک و ترکیبات آلی فرار است [۶۰].

۲.۲ معرفی برخی از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌های داخلی

در این قسمت برخی از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌های داخلی معرفی شده و اثرات آن‌ها بر سلامتی افراد نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱.۲.۲ منوکسید کربن

منوکسید کربن در دمای اتاق گازی بی بو، بی مزه و بی رنگ است. منوکسید کربن هم از طریق فعالیت‌های انسانی و هم به صورت طبیعی تولید می‌گردد. به صورت معمول این گاز بر اثر احتراق ناقص مواد آلی حاصل می‌گردد. برخی خواص منوکسید کربن در جدول ۵-۲ آورده شده است.



جدول ۵-۲ برخی خواص منوکسید کربن

CO	فرمول مولکولی
28.01 g/mol	جرم مولکولی
1.145 @ 25°C	تبدیل از ppm به mg/m^3

۱.۱.۲.۲ منابع در محیط‌های داخلی و خارجی

منوکسید کربن در محیط‌های داخلی از دو طریق سرچشمه می‌گیرد؛ یا به دلیل وجود منابع داخلی نظیر وسایل احتراقی تهویه شده یا تهویه نشده، دود سیگار و سوزاندن عودها و یا به دلیل ورود هوای فیلتر نشده از بیرون که حاوی منوکسید کربن است. مطالعات نشان می‌دهند در حالتی که منابع داخلی تولید منوکسید کربن وجود نداشته باشد، غلظت منوکسید کربن داخل با خارج تقریباً یکسان است. اما به طور کلی عواملی که بر تولید، توزیع و حذف منوکسید کربن از محیط‌های داخلی تاثیرگذار است عبارتند از:

- نوع، طبیعت (عواملی که بر نرخ تولید منوکسید کربن اثر می‌گذارند) و تعداد منابع؛
- مشخصات منبع؛
- مشخصات ساختمان؛
- نرخ تهویه هوا؛



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- غلظت در محیط بیرون؛ و
- وجود و کارایی سیستم های حذف آلاینده های هوا.

۲.۱.۲.۲ اثرات بر روی سلامتی

منوکسید کربن با ورود به جریان خون، به مولکول های هموگلوبین که وظیفه اکسیژن رسانی را بر عهده دارند، متصل شده و تشکیل کربوکسی هموگلوبین یا COHb می دهد و در نتیجه اکسیژن رسانی را با دشواری هایی روبه رو می کند.

بر مبنای مطالعات انجام شده بر روی اشخاص و گروه های مختلف، مشخص شده است که حساس ترین افراد نسبت به منوکسید کربن بیماران کرونری می باشند. بر همین مبنا نتایج نشان می دهند که برای جلوگیری از آسیب در تمامی سطوح جمعیت، سطح کربوکسی هموگلوبین در خون افراد نباید بیش از ۱/۵ درصد از مقدار پایه آن در خون فرد افزایش یابد. معمولاً در افراد سیگاری سطح پایه کربوکسی هموگلوبین ۱ درصد و در افراد عادی ۰/۵ درصد است.

۲.۲.۲ دی‌اکسید نیتروژن

دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) متعلق به خانواده اکسیدهای نیتروژن (NO_x) است. دی‌اکسید نیتروژن گازی قرمز متمایل به قهوه‌ای است که حلالیت پایینی در آب داشته و در محیط‌های داخلی و خارجی یافت می‌شود. از ترکیب دی‌اکسید نیتروژن با آب، نیتریک اسید (HONO) که آلاینده به حساب می‌آید تولید می‌گردد. برخی خواص دی‌اکسید کربن در جدول ۶-۲ آورده شده است.



جدول ۶-۲ برخی خواص دی‌اکسید نیتروژن

NO_2	فرمول مولکولی
46.01 g/mol	جرم مولکولی
1.882 @ 25°C	تبدیل از ppm به mg/m^3

۱.۲.۲.۲ منابع در محیط‌های داخلی و خارجی

دی‌اکسید نیتروژن بر اثر منابع داخلی و خارجی تولید می‌گردد. مهم‌ترین منابع خارجی این گاز را می‌توان وسایل نقلیه مانند هواپیما، لوکوموتیوها، نیروگاه‌های با سوخت فسیلی، فرآیندهای شیمیایی و مهم‌تر از همه خودروها را نام برد. در محیط‌های داخلی نیز کوره‌ها، گرمکن‌ها، آبگرمکن‌ها و اجاق‌های گازسوز، نفتی یا چوبی و همچنین دود سیگار می‌توانند منابع تولید دی‌اکسید نیتروژن باشند. در صورتی که این لوازم به خوبی تهویه شده باشند، انتشار دی‌اکسید نیتروژن از آن‌ها بسیار کم خواهد بود ولی در غیر اینصورت می‌توانند مشکلاتی را به وجود آورند.

به طور کلی هرچه دمای احتراق بالاتر باشد، مقادیر بیشتری نیتریک اکسید تولید می‌گردد. سپس نیتریک اکسید در هوای محیط با اکسیژن واکنش داده و دی‌اکسید نیتروژن تولید می‌گردد [۶۱].



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۲.۲.۲ اثرات بر روی سلامتی

تماس مستقیم دی اکسید نیتروژن با چشم و غشاهای آن ممکن است سبب خارش چشم گردد، اگرچه این اتفاق بیشتر در محیط های صنعتی و پس از یک تماس ناگهانی با غلظت های بالایی از دی اکسید نیتروژن محتمل است.

دی اکسید نیتروژن می تواند احتمال عفونت گوش میانی، اگزما، عفونت های گوش و حلق و بینی و حساسیت به آلرژن های غذایی را در کودکان افزایش دهد. همچنین در بزرگسالان نیز افزایش انعقاد خون بعد از مدت زمان طولانی مجاورت با دی اکسید نیتروژن مشاهده شده است. همچنین نتایج جدید نشان می دهند که مجاورت کوتاه مدت با دی اکسید نیتروژن از حدود ۳۰ دقیقه تا ۲۴ ساعت، می تواند در افراد سالم سبب افزایش التهاب مجاری تنفسی و در افراد با بیماری آسم سبب علایم تنفسی گردد.

۳.۲.۲ ازن

ازن گازی بی‌رنگ است که یک عامل اکسیدکننده قوی بوده و به سرعت با سطوح و سایر ترکیبات در هوا واکنش نشان می‌دهد. برخی خواص ازن در جدول ۷-۲ آورده شده است.



جدول ۷-۲ برخی خواص ازن

O_3	فرمول مولکولی
48 g/mol	جرم مولکولی
2.0 @ 20°C	تبدیل از ppb به $\mu\text{g}/\text{m}^3$

۱.۳.۲.۲ منابع در محیط‌های داخلی و خارجی

در محیط‌های خارجی معمولاً ازن بر اثر واکنش‌های فتوشیمیایی تشکیل می‌گردد اما در محیط‌های داخلی ازن به عنوان یکی از محصولات جانبی تمیزکننده‌های هوا منتشر می‌گردد. همچنین برخی لوازم اداری نظیر دستگاه‌های فتوکپی و پرینترها نیز مقادیری ازن به هوا وارد می‌نمایند. به صورت معمول غلظت ازن در محیط‌های داخلی کمتر از محیط‌های خارجی می‌باشد.

۲.۳.۲.۲ اثرات بر روی سلامتی

ازن می‌تواند علائم متفاوتی را در افراد سالم و افراد با مشکلات تنفسی ایجاد نماید، نظیر:

- سرفه؛
- ناراحتی قفسه سینه؛
- کاهش عملکرد ریه؛
- تنگی نفس؛ و
- خارش چشم، بینی و حلق.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۴.۲.۲ ترکیبات آلی فرار

ترکیبات آلی فرار^۱ به صورت گاز از برخی مواد مایع و جامد مشخصی منتشر می‌شوند. ترکیبات آلی فرار در دمای اتاق فشار بخار بالایی دارند که به علت نقطه جوش پایین آن‌هاست. ترکیبات آلی فرار شامل گستره وسیعی از مواد شیمیایی است که برخی از آن‌ها ممکن است اثرات مخرب بلندمدت یا کوتاه مدت بر روی سلامتی افراد داشته باشند. غلظت بسیاری از ترکیبات آلی فرار در فضاهای داخلی بیشتر از (تا ده برابر) غلظت این آلاینده‌ها در محیط بیرون است.

ترکیبات شیمیایی آلی به عنوان ماده تشکیل‌دهنده در بسیاری از محصولات خانگی یافت می‌شوند. رنگ‌ها، جلادهنده‌ها و واکس‌ها همه شامل حلال‌های آلی که بسیاری از اعمال تمیزکاری، ضدعفونی و آرایش را انجام می‌دهند، می‌باشند. سوخت‌ها نیز از مواد شیمیایی آلی ساخته شده‌اند. همه این محصولات می‌توانند ترکیبات آلی را هنگام استفاده یا ذخیره‌سازی از خود منتشر نمایند.

۱.۴.۲.۲ منابع در محیط‌های داخلی و خارجی

اصلی‌ترین منبع ترکیبات آلی فرار در محیط‌های خارجی خودروها و سوخت می‌باشند. جایگاه‌های بنزین سالانه مقادیر بسیار زیادی از ترکیبات آلی فرار را به هوا منتشر می‌نمایند. هنگام سوخت‌گیری خودروها یا هنگام پر کردن مخزن جایگاه توسط تریلرهای حامل سوخت مقادیر قابل توجهی از ترکیبات آلی فرار به هوا منتشر می‌شوند. هم‌چنین خودروها نیز خود منبع دیگری برای انتشار این مواد هستند.

¹ Volatile Organic Compounds (VOCs)



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

در محیط‌های داخلی نیز منابع متعددی برای ترکیبات آلی فرار می‌توان نام برد. به طور کلی به دلیل منابع زیاد ترکیبات آلی فرار در محیط‌های داخلی، معمولاً غلظت این آلاینده در هوای ساختمان‌ها بیش از غلظت آن در هوای آزاد است. محصولات خانگی که می‌توانند ترکیبات آلی فرار را منتشر نمایند عبارتند از:

- ❖ رنگ‌ها، پاک‌کننده‌های رنگ و سایر حلال‌ها؛
- ❖ مواد نگهدارنده چوب؛
- ❖ اسپری‌ها؛
- ❖ افشانه‌های هوا و مواد دافع بید؛
- ❖ سوخت‌ها و محصولات خودرویی ذخیره‌شده؛
- ❖ مواد سرگرمی نظیر رنگ نقاشی یا خمیر بازی؛
- ❖ لباس‌های خشک‌شویی شده؛
- ❖ حشره‌کش‌ها؛
- ❖ مبلمان و مصالح ساختمانی؛
- ❖ تجهیزات اداری نظیر دستگاه‌های کپی و پرینت؛ و
- ❖ مواد گرافیکی و هنری نظیر چسب‌ها، ماژیک‌های معمولی و محلول‌های عکاسی.





معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۴.۲.۲ اثرات بر روی سلامتی

قابلیت ترکیبات آلی فرار در ایجاد اثرات منفی بر روی سلامتی بسیار متنوع است به گونه ای که برخی بسیار سمی هستند ولی اثرات برخی دیگر نیز هنوز مشخص نشده است. همانند سایر آلاینده ها، میزان و نوع اثرات ترکیبات آلی فرار بر روی سلامتی به عوامل زیادی نظیر سطح غلظت مجاورت و مدت زمان آن بستگی دارد. برخی از علایمی که بسیاری از مردم در زمان کوتاهی پس از مجاورت با ترکیبات آلی فرار احساس می نمایند را می توان به صورت زیر نام برد:

- سوزش چشم و مجاری تنفسی؛
- سر درد؛
- سرگیجه؛ و
- اختلالات بینایی و حافظه؛
- تهوع؛
- خونریزی از بینی؛
- احساس خستگی؛
- حساسیت های پوستی؛ و
- تنگی نفس.

برخی از ترکیبات آلی فرار می توانند باعث بروز سرطان در حیوانات شوند و برخی دیگر نیز مظنون به ایجاد سرطان در انسان هستند. البته سرطان را بودن برخی از ترکیبات آلی فرار برای انسان نظیر بنزن کاملاً مشخص شده است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



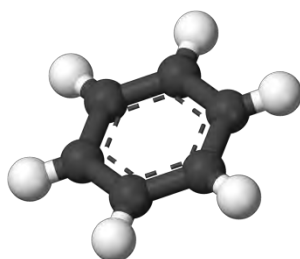
شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۵.۲.۲ بنزن

بنزن یک ترکیب آلی فرار حلقوی است که یک حلقه کربن شش تایی اشباع نشده دارد. بنزن در دمای اتاق به صورت گازی بی رنگ، فرار و با بویی مخصوص است. مایع بنزن قابلیت اشتعال بالایی دارد. برخی خواص بنزن در جدول ۸-۲ آورده شده است.



جدول ۸-۲ برخی خواص بنزن

C_6H_6	فرمول مولکولی
78.1 g/mol	جرم مولکولی
3.194 @ 25°C	تبدیل از ppm به mg/m^3

۱.۵.۲.۲ منابع در محیط های داخلی و خارجی

منابع اصلی بنزن در محیط های خارجی خودروها، پمپ بنزین ها و صنایع مرتبط با نفت، روغن، گاز طبیعی، مواد شیمیایی و فولاد هستند [۶۲]. مواد استفاده شده در ساخت، بازسازی و تغییر دکوراسیون محیط های داخلی یکی از منابع اصلی تولید بنزن می باشند [۶۳]. برخی مواد مبلمان و مواد پلیمری نظیر وینیل و پی وی سی، کف پوش های لاستیکی و فرش های پلاستیکی منابع دیگری از بنزن محسوب می گردند.

یکی از منابع بسیار مهم بنزن در ساختمان ها وجود گاراژهای متصل به داخل ساختمان است. گازهای خروجی از اگزوز خودرو در گاراژ و آلاینده های تبخیری از وسایل گازسوز، حلال ها و سایر میعانات نفتی که در گاراژ نگهداری می شوند، سبب انتشار بنزن و نفوذ آن به داخل ساختمان می گردد. استفاده از اجاق هایی که از نفت سفید به عنوان سوخت استفاده می کنند، یکی دیگر از منابع مهم بنزن در کشورهای در حال توسعه است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

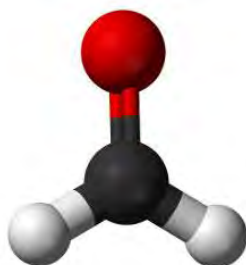
۲.۵.۲.۲ اثرات بر روی سلامتی

مجاورت انسان با بنزن در غلظت‌های بالا، حدود ۷۰۰ ppm تا ۳۰۰۰ ppm، پس از چند دقیقه موجب بروز سرگیجه، لرزش، حالت تهوع، استفراغ، سر درد و خواب‌آلودگی می‌گردد. مجاورت با بنزن در طولانی مدت سبب زوال تدریجی عملکرد خون‌سازی در بدن شامل آسیب به مغز استخوان، تغییرات در سلول‌های گردش خون و تغییر پاسخ سیستم ایمنی بدن می‌گردد [۶۴].

بنزن یک ماده سرطان‌زا محسوب می‌گردد. بنزن در غلظت‌های اندک ولی مجاورت طولانی مدت، بر روی سیستم خون‌سازی اثر گذاشته و باعث سرطان خون می‌گردد. تحقیقات نشان داده است که هیچ آستانه‌ای برای شروع این فرآیند وجود ندارد؛ به عبارتی دیگر نمی‌توان حد مجازی را برای غلظت بنزن در نظر گرفت.

۶.۲.۲ فرمالدهید

فرمالدهید گازی بی رنگ، اشتعال پذیر و بسیار فعال در دمای اتاق است. فرمالدهید به صورت تجاری با غلظت جرمی ۳۰ تا ۵۰ درصد و به صورت محلول های آبی تحت نام فرمالین در دسترس است [۶۱]. فرمالدهید گازی خارش زا با بویی تند است و عمده کاربرد صنعتی آن در تولید رزین ها است که در محصولاتی نظیر چوب های فشرده استفاده می گردد [۵۹]. برخی خواص فرمالدهید در جدول ۹-۲ آورده شده است.



جدول ۹-۲ برخی خواص فرمالدهید

CH ₂ O	فرمول مولکولی
30.03 g/mol	جرم مولکولی
1.228 @ 25°C	تبدیل از ppm به mg/m ³

۱.۶.۲.۲ منابع در محیط های داخلی و خارجی

گرچه گازهای خروجی از آگزوز خودروها می تواند حاوی فرمالدهید باشد اما میزان فرمالدهید در محیط های خارجی بسیار کمتر از محیط های داخلی است. منابع اصلی فرمالدهید در محیط های داخلی را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

- محصولات چوبی فشرده شده که از چسب استفاده می کنند. این محصولات چوبی شامل تخته فیبر با چگالی متوسط (ام دی اف)، نئوپان و تخته چندلا است؛
- رنگ ها، چسب ها و جلادهنده ها؛
- محصولات خانگی نظیر کاغذ دیواری، مقوا و محصولات کاغذی؛
- گازهای خروجی از خودروها در گاراژ؛
- دود حاصل از شومینه یا اجاق های چوبی؛ و



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

• دود سیگار.

با توجه به منابع فرمالدهید در محیط‌های داخلی، می‌توان انتظار داشت که غلظت فرمالدهید در ساختمان‌های نوساز یا تازه تعمیر شده بالا باشد ولی به مرور زمان از سطح غلظت این آلاینده کاسته خواهد شد.

۲.۶.۲.۲ اثرات بر روی سلامتی

فرمالدهید یک عامل محرک و خارش‌زا است که می‌تواند در غلظت‌های بالا سبب ایجاد خارش در چشم، بینی و حلق گردد. مجاورت طولانی مدت با غلظت‌های متوسط فرمالدهید نیز می‌تواند سبب برخی علائم تنفسی و حساسیت‌های آلرژیک به ویژه در کودکان گردد.

مجاورت با غلظت‌های بالای فرمالدهید می‌تواند سبب بروز سرطان حفره بینی نیز بشود. این سرطان نادر بیشتر در کارگران صنایعی دیده می‌شود که مجاورت‌های طولانی با فرمالدهید را تجربه می‌نمایند. احتمال وقوع سرطان به دلیل مجاورت با فرمالدهید در غلظت‌های معمول محیط‌های داخلی نظیر خانه‌ها بسیار اندک می‌باشد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



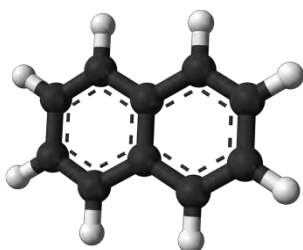
شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۷.۲.۲ نفتالن

نفتالن که با نام‌های قیر سفید و کافور قیر نیز شناخته می‌شود در واقع یک هیدروکربن آروماتیک دو حلقه‌ای است. نفتالن به صورت قرص‌های جامد سفید رنگ برای جلوگیری از بید زدن فرش و پارچه‌های پشمی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در هوای اتاق به سرعت تصعید می‌گردد. برخی خواص نفتالن در جدول ۲-۱۰ آورده شده است.



جدول ۲-۱۰ برخی خواص نفتالن

$C_{10}H_8$	فرمول مولکولی
128.17 g/mol	جرم مولکولی
5.241 @ 25°C	تبدیل از ppm به mg/m^3

۱.۷.۲.۲ منابع در محیط‌های داخلی و خارجی

نفتالن در سوخت‌های فسیلی وجود داشته و به عنوان محصولات جانبی احتراق سوخت‌های فسیلی و زیستی نیز منتشر می‌گردد. جابه‌جایی و انتقال سوخت‌های فسیلی و قطران زغال سنگ می‌تواند سبب انتشار نفتالن به اتمسفر گردد؛ در نتیجه در مجاورت پمپ‌بنزین‌ها غلظت نفتالن افزایش می‌یابد.

در محیط‌های داخلی نفتالن از خوشبوکننده‌های هوا، رنگ‌ها، کف‌پوش‌ها و هم‌چنین قرص‌های نفتالن که به منظور دفع بید از پارچه‌های ابریشمی استفاده می‌شود، منتشر می‌گردد. به‌علاوه اجاق‌های چوبی، شومینه، پخت و پز و دود سیگار نیز می‌توانند عوامل انتشار نفتالن باشند. وجود گاراژهای متصل به داخل ساختمان نیز سبب ورود مقادیری نفتالن، که حاصل گازهای خروجی خودرو است، به ساختمان خواهد شد. به طور کلی غلظت نفتالن در محیط‌های داخلی بیش از محیط بیرون می‌باشد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۷.۲.۲ اثرات بر روی سلامتی

تحقیقات نشان داده است که نفتالن می تواند در موش های آزمایشگاهی سبب آسیب به بافت های بینی و ریه شده و حتی باعث بروز سرطان در این قسمت ها گردد. گرچه این احتمال داده می شود که نفتالن در انسان نیز سبب بروز سرطان گردد ولی هنوز شواهد کافی برای اثبات این مهم یافت نشده است.

نفتالن می تواند در افراد آسیب پذیر سبب شکست غیر طبیعی گلبول های قرمز خون شود که با نام «کم خونی همولیتیک»^۱ شناخته می شود، گرچه این حالت بیشتر در مواردی که مجاورت با غلظت های بسیار بالای نفتالن یا بلعیدن اتفاقی قرص های نفتالن رخ داده، گزارش شده است [۶۵]. افرادی که به صورت ژنتیکی از کمبود آنزیمی که وظیفه حفاظت از گلبول های قرمز در برابر نفتالن را دارد، رنج می برند، آسیب پذیر محسوب می گردند. این حالت در حدود ۵ درصد از مردم دنیا وجود دارد. هم چنین نوزادان، با کمبود این آنزیم یا بدون این کمبود، در صورتی که در معرض غلظت های بالای نفتالن قرار بگیرند دچار کم خونی همولیتیک خواهند شد.

^۱ Hemolytic anemia



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۸.۲.۲ رادون

رادون یک گاز خنثی، بی بو و بی رنگ با چندین ایزوتوپ‌های است. پایدارترین ایزوتوپ آن رادون-۲۲۲ (^{222}Rn) با نیمه عمر حدود ۳/۸۲۶ روز است. رادون بر اثر فروپاشی رادیوم-۲۲۶ ایجاد می‌گردد. رادیوم-۲۲۶ خود پنجمین دخترخوانده اورانیوم-۲۳۸ است. به طور طبیعی اورانیوم-۲۳۸ و رادیوم-۲۲۶ در خاک وجود دارند. رادون از خاک متساعد شده و وارد هوا و آب می‌گردد. فروپاشی رادون باعث انتشار ذرات آلفا می‌گردد که موجب آسیب رسیدن به بافت‌های بدن انسان نظیر بافت ریه می‌شود. برخی خواص رادون در جدول آورده شده است.

86
Rn
Radon

جدول ۱۱-۲ برخی خواص رادون

^{222}Rn	فرمول مولکولی
3.826 روز	نیمه عمر
Bq/m ³	واحد بیان غلظت

۱.۸.۲.۲ منابع در محیط‌های داخلی و خارجی

رادون عموماً از طریق خاک زیر ساختمان‌ها به هوای داخل ساختمان راه پیدا می‌کند اما برخی منابع نظیر گاز طبیعی برای پخت و پز و گرمایش و همچنین بعضی مواد ساختمانی نیز می‌توانند باعث انتشار گاز رادون شوند [۶۶]. غلظت رادون در محیط‌های داخلی بیش از محیط‌های بیرون است زیرا توزیع و گردش هوا در ساختمان‌ها محدودتر است.

رادون موجود در خاک به تدریج در زیر ساختمان تجمع پیدا کرده و فشار آن بالا می‌رود و از آنجا که فشار هوای داخل ساختمان معمولاً کمتر است، رادون از طریق کف و دیوارها به داخل ساختمان راه می‌یابد. بیشترین مقدار رادون در زیرزمین و سپس در طبقات پایین‌تر ساختمان‌ها وجود دارد. به طور کلی راه‌های ورود رادون به داخل ساختمان را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- شکاف‌ها در کف ساختمان؛
- اتصالات ساختمانی؛
- شکاف‌ها در دیوارها؛
- درزها در اطراف لوله‌های سرویس‌های بهداشتی؛
- فضاهای خالی داخل دیوارها؛ و
- آب‌های مصرفی در داخل حمام و آشپزخانه.

رادون در آب حل می‌شود و بنابراین معمولاً در منابع آب و به‌ویژه چاه‌ها احتمال وجود آن زیاد است.

۲.۸.۲.۲ اثرات بر روی سلامتی

بر اساس تحقیقات بین‌المللی بعد از سیگار، رادون به عنوان مهم‌ترین عامل سرطان ریه شناخته شده است. تحقیقات و آزمایش‌های انجام شده در زمینه تاثیر گاز رادون بر سلامتی انسان، نشان می‌دهند که رابطه مستقیمی میان سرطان ریه و مجاورت با رادون وجود دارد اما رابطه مشخصی میان مجاورت با رادون و سایر سرطان‌ها وجود ندارد [۶۱].



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۹.۲.۲ ذرات معلق

ذرات بسیار ریز جامد یا مایع موجود در هوا ذرات معلق نامیده می‌شود. ذرات معلق بر اساس قطر معادل آیرودینامیکی خود به دو دسته مهم PM_{10} و $PM_{2.5}$ تقسیم می‌گردند. منظور از PM_{10} تمامی ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون و $PM_{2.5}$ تمامی ذرات کوچکتر از $2/5$ میکرون است. ذرات معلق ترکیب پیچیده‌ای از مواد مختلف است که اندازه، شکل، چگالی، مساحت سطح موثر و ترکیب‌های شیمیایی متفاوتی دارند. ذرات معلق از آلاینده‌های بسیار خطرناک هوا محسوب می‌گردد.



۱.۹.۲.۲ منابع در محیط‌های داخلی و خارجی

ذرات معلق هم از منابع طبیعی و هم از فعالیت‌های بشر سرچشمه می‌گیرند. از منابع طبیعی تولید ذرات معلق می‌توان به آتش‌فشان‌ها، طوفان‌های شن، آتش‌سوزی جنگل‌ها، گیاهان زنده و افشانه دریا^۱ اشاره نمود. فعالیت‌های بشر نظیر سوزاندن سوخت‌های فسیلی در خودروها و نیروگاه‌ها و برخی از فرآیندهای صنعتی نیز باعث تولید مقادیر زیادی ذرات معلق می‌گردند.

^۱ Sea spray



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

ترکیب ذرات معلق به منبع تولید آن‌ها بستگی دارد. ذرات معلق تولید شده در معادن بیشتر اکسیدهای معدنی هستند و سبب جذب نور می‌شوند. نمک دریا که دومین عامل وسیع تولید ذرات معلق است به طور عمده از سدیم کلراید تشکیل شده است اما مقادیری منیزیم، سولفات، کلسیم و پتاسیم نیز در آن یافت می‌گردد. ذرات ثانویه نیز از اکسیداسیون گازهای اصلی نظیر اکسیدهای سولفور و نیتروژن و تبدیل آن‌ها به سولفوریک اسید و نیتریک اسید تشکیل می‌شوند. البته منبع تولید گازهای اصلی می‌تواند فعالیت‌های بشر نظیر سوزاندن سوخت‌های فسیلی باشد.

۲.۹.۲.۲ اثرات بر روی سلامتی

تحقیقات نشان داده است که ذرات معلق خارجی^۱ با بیماری‌های دستگاه تنفسی و بیماری‌های قلبی و عروقی مرتبط است [۶۷]. هنوز آستانه‌ای برای ایجاد اثرات منفی ذرات معلق شناخته نشده است؛ به عبارتی دیگر هر میزان از ذرات معلق می‌تواند اثرات منفی بر روی سلامتی افراد داشته باشند. تحقیقات کمتری به بررسی ارتباط میان ذرات معلق داخلی و سلامتی افراد پرداخته‌اند. برخی شواهد وجود رابطه‌ای میان حدود غلظت‌های ذرات معلق در محیط‌های داخلی با کاهش عملکرد ریه و افزایش نیتریک اکسید بازدمی، به ویژه در کودکان با بیماری آسم، را تایید کرده است [۶۸]. هم‌چنین رابطه میان ذرات معلق داخلی و تغییرات ظریفی در علائم بیماری‌های قلبی و عروقی در برخی تحقیقات پیشین نیز مشاهده شده است [۶۹].

^۱ Outdoor PM



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱۰.۲.۲ کپک و قارچ

واژه کپک یک اصطلاح رایج برای اشاره به قارچ‌هایی است که می‌توانند بر روی وسایل خانه‌ها رشد نمایند. رشد کپک می‌تواند از طریق پخش هاگ و قطعات میسیلیوم^۱ (یا جلینه) به هوای اتاق بر روی کیفیت هوا تاثیر منفی گذاشته و از طریق تنفس وارد بدن افراد شود. رطوبت بالا و نبود تهویه خوب در محیط‌های داخلی، سبب ایجاد محیطی مناسب برای رشد قارچ‌ها می‌گردد. البته تحقیقات نشان می‌دهند که رطوبت بالا هم‌چنین باعث رشد باکتری‌ها و ویروس‌ها شده و حتی باعث جذب موجوداتی نظیر سوسک حمام و موش می‌گردد که موجب انتقال بیماری‌ها شده و منابع داخلی برخی آلرژن‌ها نیز به حساب می‌آیند [۷۰].

اکثریت قارچ‌ها ساپروفیتیک^۲ هستند یا به عبارتی دیگر از بقایای مرده مواد ارگانیک به عنوان غذا استفاده می‌نمایند. به شرط برقراری شرایط مناسب دمایی و رطوبت، بسیاری از گونه‌های قارچ می‌توانند از محدوده وسیعی از مواد ارگانیک تغذیه نمایند. این محدوده شامل بقای گیاهان و حیوانات تا موادی نظیر سلولز، رنگ یا محصولات انبار شده می‌باشد. اگرچه برخی از قارچ‌ها در دمای ۲ تا ۵ درجه سانتیگراد رشد می‌نمایند اما گونه‌هایی نیز هستند که در دماهای ۵۵ تا ۶۰ درجه سانتیگراد زندگی می‌نمایند اما بخش اعظمی از قارچ‌های محیط‌های داخلی در دمای ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد رشد می‌کنند.

شیوع قارچ‌ها تفاوت‌های فصلی فراوانی دارد. برای بیشتر گونه‌ها، بیشترین تعداد در هوای بیرونی در زمستان و تابستان یافت می‌شود. در طول این فصول، هوای بیرونی منشاء اصلی قارچ‌ها در هوای داخلی است. تحقیقات اخیر نشان داده است که سطح هاگ‌ها در هوای بیرون، بر روی هاگ‌های داخلی تاثیرگذار است اما هاگ‌های داخلی به سادگی بازتابی از قارچ‌ها در هوای بیرونی نیستند.

^۱ Mycelial fragments

^۲ Saprophytic



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



تعداد بسیار زیادی از گونه های قارچ ها در هوای داخلی یافت می گردد. رایج ترین انواع آن ها مربوط به گونه های کپک سبز سیاه یا کلادوسپوریم^۱، پنی سیلیوم^۲، کپک سیاه^۳، آسپرژیلوس^۴، اوروتیوم^۵ و والمیاء^۶ هستند.

واحد شمارش قارچ ها $\frac{CFU}{m^3}$ است. در میکروشناسی یک «واحد تشکیل کولنی»^۷ واحدی برای تخمین تعداد سلول های قارچی و باکتری با قابلیت تکثیر در یک نمونه است. قابلیت تکثیر به صورت توانایی چند برابر شدن از طریق شکافت یاختگی^۸ تحت شرایط کنترل شده است. شمارش با واحد CFU نیازمند کشت میکروب ها و شمارش تنها سلول های تکثیرپذیر است که با روش بررسی میکروسکوپی که تمام سلول های زنده و مرده را می شمارد، متفاوت است. مقایسه ای میان غلظت برخی از متداول ترین گونه های قارچ ها در واحد $\frac{CFU}{m^3}$ که در هوای داخلی و خارجی ۱۸ خانه در هلند اندازه گیری شده است، در جدول ۲-۱۲ نشان داده شده است.

^۱ Cladosporium

^۲ Penicillium

^۳ Alternaria

^۴ Aspergillus

^۵ Eurotium

^۶ Wallemia

^۷ Colony Forming Unit (CFU)

^۸ Binary fission

جدول ۲-۱۲ تعداد قارچ ها در نمونه گیری از ۱۸ خانه در هلند

گونه قارچ	غلظت قارچ در واحد CFU/m ³	
	هوای بیرونی	هوای داخلی
مجموع گونه ها	۵۷۶	۴۲۵
آسپرژیلوس	۸	۲۴
کپک سبز سیاه	۵۰۱	۲۴۵
پنی سیلیوم	۶۵	۱۵۴
اوروتیوم	۲	۲

۱.۱۰.۲.۲ علل رشد کپک و قارچ

برای رشد کپک و قارچ در محیط های داخلی به سه عامل ماده غذایی، دمای مناسب و مقدار کافی آب نیاز است. دو مورد نخست معمولاً به راحتی در محیط های داخلی یافت می شود و بنابراین مشکل اصلی وجود رطوبت خواهد بود. علل اصلی رشد قارچ ها را می توان به صورت زیر بیان نمود:

- میعان بخار موجود در هوا بر روی سطوح به دلیل رطوبت اضافی، کمبود تهویه و دمای پایین؛
- نشت آب به طور مثال از یک لوله شکسته؛
- نفوذ آب از بیرون مثلاً از طریق سقف سوراخ یا شیارهای کف ساختمان؛ و
- غذا.

۲.۱۰.۲.۲ تاثیرات بر روی سلامتی

تحقیقات انجام شده در زمینه اثرات کپک ها و قارچ ها بر روی سلامتی نشان داده است که:

- مجاورت با کپک با افزایش شیوع علایم مرتبط با آسم نظیر خس خس سینه، علایم خارش و برخی علایم نامشخص دیگر مرتبط است؛ و



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- تزریق آنتی ژن های قارچی به موش های آزمایشگاهی سبب واکنش های التهابی در ریه این موجودات شده است.

در برخی تحقیقات دیگر نیز رابطه قابل توجهی میان رطوبت خانگی و احتمال گسترش آسم مشاهده شده است [۷۱]. در مطالعات آزمایشگاهی دیگری نیز واکنش های آسم گونه به مجاورت با برخی کپک های خانگی، در موش ها، مشاهده شده است [۷۲].



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱۱.۲.۲ باکتری

باکتری‌ها موجودات زنده تک‌سلولی پروکاریوتی^۱ هستند که همه‌جا یافت شده و گونه‌های بسیار متنوعی دارند. باکتری‌ها در گرد و غبار و سطوح هر خانه‌ای حتی آن‌هایی که مشکلات رطوبت ندارند نیز یافت می‌شوند [۷۰]. بقای باکتری‌ها در هوا به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است اما هنوز عوامل آن تا حدودی مبهم می‌باشد. بقای باکتری‌ها در هوا بسته به نوع باکتری متفاوت است. برخی از باکتری‌ها نظیر اشیریشیاکلی^۲ در رطوبت‌های تا ۹۰ درصد زنده می‌مانند در حالیکه سرایشیا^۳ در رطوبت‌های زیر ۴۰ درصد می‌تواند به حیات خود ادامه دهد. در هوای داخلی منبع اصلی باکتری‌ها معمولاً انسان‌ها و حیوانات هستند اما ممکن است باکتری‌ها در گرد و غباری که قبلاً نشست کرده است نیز وجود داشته باشند. علاوه بر این، رطوبت‌سازهای هوا نیز منبع بالقوه‌ای برای باکتری‌ها هستند [۷۳].

غلظت مجموع باکتری‌های تکثیرپذیر در محیط‌های داخلی می‌تواند از ۱۰ تا ۱۰۰۰ $\frac{CFU}{m^3}$ متغیر باشد که می‌تواند به نوعی نشان‌دهنده میزان شلوغی ساختمان و کارایی سیستم تهویه باشد. در ادبیات اطلاعات چندانی در مورد تفاوت میزان غلظت باکتری‌ها در محیط‌های داخلی مرطوب و خشک داده نشده است.

۱.۱۱.۲.۲ علل رشد باکتری‌ها

همانطور که برای قارچ‌ها نیز بیان گردید، آب یک نیاز حیاتی برای رشد باکتری‌ها نیز می‌باشد. در واقع میزان آب مورد نیاز باکتری‌ها بیشتر از اکثر قارچ‌ها می‌باشد. شرایط دمایی و منابع غذایی مورد نیاز باکتری‌ها در بیشتر محیط‌های داخلی برآورده می‌شوند. تحقیقات اندکی بر روی رشد باکتری‌ها در خانه‌های مرطوب انجام شده است.

^۱ Prokaryotic

^۲ Escherichia coli

^۳ Serratia



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

البته تحقیقاتی که انجام شده است نیز بیان کرده‌اند که باکتری‌ها در همان محیط‌های قارچ‌ها رشد می‌یابند. به طور ویژه، باکتری استرپتومایسس^۱ (به فارسی پیچیده‌قارچ) ممکن است بر روی مواد ساختمانی خیس یا مرطوب رشد نماید؛ در نتیجه وجود آن‌ها در هوای داخلی می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که ساختمان مشکل رطوبت دارد [۷۰].

۲.۱۱.۲.۲ اثرات بر روی سلامتی

به خوبی اثبات شده است که باکتری‌ها عاملی برای بیماری‌های مهم عفونی هستند و گاهی این باکتری‌ها از طریق قطرات خارج شده از افراد بیمار، نظیر مایکوباکتریوم توبرکلوزیس^۲ (باکتری عامل بیماری سل)، می‌توانند به سرعت توسط سیستم چرخش هوا در سراسر محیط پخش شوند [۷۴]. هم‌چنین سایر باکتری‌های مهم نظیر لژیونلا^۳ نیز می‌توانند از طریق ذرات معلق موجود در هوا، پخش شده و باعث بروز بیماری‌های تنفسی گردند. همراه با قارچ‌ها، باکتری‌های موجود در دستگاه‌های رطوبت‌ساز منجر به بیماری «تب رطوبت‌ساز»^۴ می‌شوند که یک بیماری با علائم سمی و آلرژیک است. علائم تب رطوبت‌ساز عبارتند از تب، احساس سرما، تنگی قفسه سینه و مشکلات در تنفس. به ندرت باکتری‌های موجود در ساختمان ممکن است باعث بروز حساسیت کیسه‌های تنفسی^۵ در ریه شوند. مطابق گزارش‌های موجود، باکتری‌هایی که در منازل و یا ادارات منجر به بروز علائم حساسیت کیسه‌های تنفسی شده‌اند شامل باسیلوس سابتیلیس^۶، سودوموناس آئروژینوزا^۷ و اکتینومیسیت گرمادوست هستند [۷۵].

^۱ Streptomyces

^۲ Mycobacterium tuberculosis

^۳ Legionella

^۴ Humidifier fever

^۵ Extrinsic allergic alveolitis

^۶ Bacillus subtilis

^۷ Pseudomonas aeruginosa



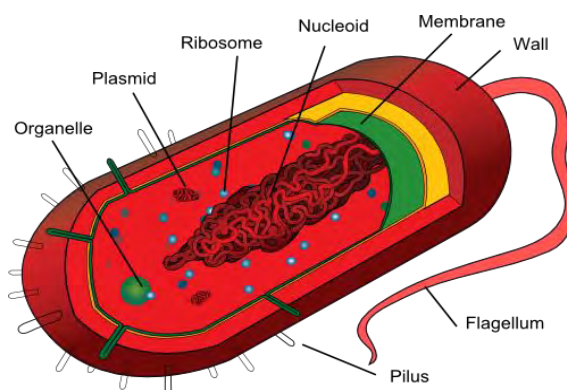
معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



تحقیقات انجام شده بر روی اندوتوکسین^۱ باکتری ها نشان می دهند که اندوتوکسین در باکتری های گرم- منفی^۲ که توسط افراد استنشاق می گردند، می توانند نقش موثری در توسعه بیماری رطوبت ساز داشته باشند. سودوموناس و سایر باکتری های گرم- منفی به خوبی برای رشد در مخازن رطوبت ساز سازگاری یافته اند که بنابراین می توانند به شدت دچار آلودگی شوند. هم چنین این باکتری ها در مقادیر بسیار زیاد در آب های راکد و سایر محیط های خیس یافت می شوند و می توانند در آب هایی که سطح بسیار اندکی نمک های معدنی و سایر مواد غذایی دارند، رشد نمایند.

^۱ Endotoxin

^۲ Gram-negative

۱۲.۲.۲ مایت

مایت‌ها یا هییره‌ها^۱ موجوداتی میکروسکوپی از شاخه بندپایان و رده عنکبوتیان هستند. برخی گونه‌های مایت‌ها به عنوان انگل بر روی گیاهان، حیوانات و کپک‌ها زندگی می‌کنند. بسیاری از گونه‌های مایت‌ها نیز در خاک زندگی کرده و در خانه‌ها از مواد آلی موجود در گرد و خاک خانه تغذیه می‌کنند. این مواد آلی شامل سلول‌های مرده پوست بدن انسان، قارچ‌ها و ذرات ریز مواد غذایی پخش شده در سطح خانه است. در خانه‌ها معمولاً می‌توان مایت‌ها را در بالش افراد پیدا کرد.

مطالعات آزمایشگاهی نشان داده است که اکثر مایت‌ها برای ادامه حیات و رشد به رطوبت نسبی در محدوده ۴۵ تا ۵۰ درصد نیاز دارند و در رطوبت‌های بالاتر سرعت تکثیرشان افزایش پیدا می‌کند [۷۶]؛ بنابراین رطوبت عامل اصلی حضور و گسترش مایت در خانه‌ها است [۷۷]. هم‌چنین مایت‌ها به دلیل اندازه بسیار کوچک و شفاف بودن بدنشان، با چشم غیر مسلح به سختی قابل تشخیص هستند و معمولاً طولی در حدود ۰/۲ تا ۰/۳ میلی‌متر دارند. چرخه زندگی یک مایت نر بین ۱۰ تا ۱۹ روز است. یک مایت ماده جفتگیری کرده می‌تواند تا ۷۰ روز زنده بماند و بین ۶۰ تا ۱۰۰ تخم در ۵ هفته انتهایی عمر خود گذاشته و در طول عمر ۱۰ هفته‌ای خود حدود ۲۰۰۰ ذره مدفوع که باعث آلرژی می‌شود را از خود بر جا گذارد.

مایت‌ها نیز برای رشد و تولید مثل به رطوبت نیازمندند. نتایج تحقیقات در استرالیا نشان داده است که سطح مایت در مناطق ساحلی بیشینه بوده، در نواحی داخلی کمتر شده و در نواحی مرکزی استرالیا نیز عملاً صفر است [۵۹].

^۱ Mite



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

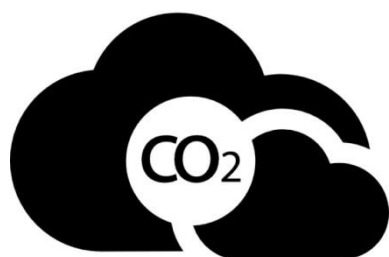


۱.۱۲.۲.۲ اثرات بر روی سلامتی

اکثر گونه های مایت ها برای سلامتی انسان ضرری ندارند ولی برخی از انواع آنها نیز هستند که می توانند به عنوان ناقل میکروب ها سبب انتقال بیماری به انسان شده یا حساسیت هایی را در برخی به وجود آورند. مایت ها می توانند با تحریک ارگان های مختلف انسان، سبب بروز برخی بیماری ها گردند. واکنش های آلرژیک در ریه منجر به آسم، در بینی منجر به تب یونجه و در پوست منجر به درماتیت (نوعی از اگزما) گردد [۵۹].

روده مایت ها شامل آنزیم های گوارشی قوی (به ویژه پروتئاز که باعث تجزیه پروتئین می گردد) است که از طریق مدفوع آنها دفع شده و عامل اصلی ایجاد واکنش های آلرژیک نظیر خس خس سینه در انسان هستند. همچنین سطح خارجی بدن مایت نیز می تواند باعث واکنش های آلرژیک گردد.

۳.۲ دی‌اکسید کربن و هوای داخلی



دی‌اکسید کربن یک گاز گلخانه‌ای است و به عنوان آلاینده محیط‌های داخلی محسوب نمی‌شود ولی به طور معمول بایستی در ساختمان‌ها غلظت دی‌اکسید کربن کمتر از ۱۰۰۰ ppm (یا ۰/۱ درصد) باشد. بر اساس استاندارد ASHRAE [۷۸] و مرکز بهداشت و ایمنی شغلی کانادا اثرات دی‌اکسید کربن بر سلامتی در غلظت‌های بالاتر می‌تواند شدید باشد. دی‌اکسید کربن در

غلظت‌های بالاتر از ۷/۵ درصد منجر به سر درد، سرگیجه، بی‌قراری، احساس عدم توانایی در نفس کشیدن، عرق کردن، افزایش ضربان قلب، افزایش فشار خون و اختلال در بینایی می‌گردد. در غلظت ۱۰ درصد ممکن است شنوایی با مشکل روبرو شده و حتی تهوع و بیهوشی نیز به همراه داشته باشد. در غلظت ۳۰ درصد نیز تشنج، حالتی از کما و در نهایت مرگ به دلیل خفگی رخ خواهد داد.

متابولیسم بدن انسان به شدت به مقدار pH سیالات بدن حساس است. رابرتسون [۷۹] نشان داد که pH خون با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری، کاهش یافته و خون اسیدی می‌شود. این موضوع، به همراه پدیده گرمایش زمین، دلیل دیگری برای کاهش غلظت دی‌اکسید کربن و محدود کردن آن به ۴۲۶ ppm است تا pH خون از حد مجاز آن پایین‌تر نیاید. حد مجاز pH خون انسان ۷/۳۸ تا ۷/۴۲ بیان شده است. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری pH خون انسان را کاهش داده و در غلظت ۴۲۶ ppm، pH تخمینی خون انسان از ۷/۴ به ۷/۳۱۹ کاهش می‌یابد که معادل کمترین مقدار محدوده‌ای است که پس از آن اسیدوز^۱ (کاهش سطح بی‌کربنات مایع خارج سلولی و قرار گرفتن pH خون در محدوده اسیدی) آغاز می‌شود.

^۱ Acidosis



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

مطالعات انجام شده توسط دانشگاه ریدینگ^۱ در مدارس ابتدایی نشان داده است که غلظت دی اکسید کربن از ppm ۸۰۰ تا ۵۰۰۰ ppm متغیر می باشد. از آنجا که کودکان چندین ساعت از روز را در یک کلاس سپری می کنند این سطح از دی اکسید کربن می تواند باعث بروز مشکلات مختلفی گردد [۲۷]. تاکنون آزمایشات مختلف وجود ارتباط میان سطح دی اکسید کربن و میزان یادگیری را به اثبات رسانده اند [۸۰].

افزایش غلظت دی اکسید کربن اتمسفری منجر به کاهش pH خون انسان می شود. غلظت های بالای دی اکسید کربن می تواند سبب افزایش فشار خون، افزایش ضربان قلب، تهوع، کما و در نهایت **مرگ** شود.

^۱ University of Reading



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۴.۲ تاثیر مصالح و سن ساختمان بر غلظت و نوع آلاینده ها

بسیاری از مواد و مصالح استفاده شده در ساختمان ها باعث انتشار مواد شیمیایی می شوند که اثرات منفی بر سلامت افراد ساکن در ساختمان دارد. مصنوعات چوبی، پاک کننده ها، رنگ ها و سایر مواد شیمیایی که در خانه ها استفاده می شوند معمولاً از خود ترکیبات آلی فرار منتشر می نمایند. از طرفی خاک استفاده شده در پی و دیوارهای ساختمان نیز می تواند به دلیل بروز واکنش های رادیواکتیو از خود گاز رادون ساطع نماید. بنابراین برای داشتن یک ساختمان سالم و ایمن انتخاب مواد مطمئن و سالم با حداقل میزان انتشار مواد آلاینده ضروری به نظر می رسد.

یانگ و همکاران [۸۱] در سال ۲۰۰۹ میلادی به بررسی ۵۵ مدرسه در شهرهای مختلف کره جنوبی پرداختند. هدف آن ها بررسی تاثیر عمر ساختمان مدارس بر روی میزان انتشار منوکسید کربن، دی اکسید کربن، ذرات معلق (PM10)، تعداد واحدهای میکروبی، ترکیبات آلی فرار و فرمالدهید بود. آن ها پس از نمونه گیری و انجام آزمایشات مختلف به این نتیجه رسیدند که با افزایش عمر ساختمان ها میزان انتشار فرمالدهید، ترکیبات آلی فرار و همچنین منوکسید کربن کاهش می یابد. از طرفی میزان ذرات معلق و تعداد واحدهای میکروبی نیز چندان تحت تاثیر عمر ساختمان ها نمی باشد. مهم ترین علت انتشار ترکیبات آلی فرار و فرمالدهید استفاده از رنگ و مصالح چوبی در ساختمان هاست و بنابراین در ساختمان های نوساز میزان انتشار این مواد بیشتر بوده و به مرور با گذشت زمان از میزان انتشار آن ها کاسته می شود. به همین دلیل همواره توصیه می شود که برای کاهش غلظت آلاینده های فرار نظیر فرمالدهید در ساختمان های نوساز بایستی نرخ تهویه هوا را افزایش داد.

۱.۴.۲ انتشار رادون از مصالح ساختمانی

گاز رادون به دلیل فعالیت های رادیواکتیو در خاک تولید و از طریق پی ساختمان و سایر راه های نفوذ وارد هوای خانه می شود. در سال های اخیر لزوم بررسی وجود رادون در ساختمان ها و انجام اقدامات مناسب جهت کاهش غلظت رادون مشخص شده است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

کلر و همکاران [۸۲] در سال ۲۰۰۱ میلادی به بررسی میزان انتشار رادون از مصالح ساختمانی مختلف پرداختند. آن ها گرانیت، ماسه سنگ، سنگ آهک، آجر، سنگ پا، سنگ فرش و چندین نوع ماده دیگر را مورد بررسی قرار دادند که نتایج حاصل از این تحقیقات در جدول ۲-۱۳ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است سنگ گچ مصنوعی با ۵۷۸ بکرل بر مربع بر روز بیشترین میزان انتشار و آجر و سنگ گچ طبیعی با ۴/۳ بکرل بر مترمربع بر روز کمترین میزان انتشار رادون را دارند.

جدول ۲-۱۳ نرخ انتشار رادون از مصالح ساختمانی مختلف [۸۲]

نوع ماده	نرخ انتشار رادون (بکرل بر مترمربع بر روز)		
	متوسط	بیشینه	کمینه
گرانیت	۲۱/۶	۵۳/۶	۶/۹
ماسه سنگ	۲۵/۹	۴۱/۵	۱۲/۱
سنگ آهک	۲۱/۶	۲۵۹/۲	۱۳/۰
آجر	۴/۳	۱۸/۱	۰/۹
سنگ پا	۳۴/۶	۱۵۱/۲	۱۴/۷
سنگ فرش	۱۷/۳	۵۳/۶	۱۱/۲
سنگ با خاکستر بادی	۳۰/۲	۶۷/۴	۳/۵
بتن	۲۵/۹	۶۴/۸	۴/۳
بتن اسفنجی	۲۵/۹	۵۸/۸	۱۰/۴
سنگ گچ طبیعی	۴/۳	۶/۹	۱/۷
سنگ گچ مصنوعی	۵۷۹	۷۱۷	۴۴۱

چن و همکاران [۸۳] در سال ۲۰۰۹ میلادی به بررسی نقش مصالح ساختمانی زینتی در انتشار رادون پرداختند. آن ها ۵۳ نمونه مختلف از دیوار خشک^۱، کاشی و سنگ گرانیت را مورد بررسی قرار دادند. نرخ انتشار رادون از این مصالح از مقادیر ناچیز تا ۳۱۲ بکرل بر مترمکعب بر روز متغیر بوده است. کاشی های اسلیت^۲ و تخته سنگ های

^۱ Drywall

^۲ Slate tiles



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

گرانیتی^۱ نسبت به سایر مصالح زینتی نظیر سرامیک و کاشی چینی میزان انتشار رادون بیشتری از خود نشان داده‌اند. میزان متوسط انتشار رادون از کاشی‌های اسلیت و تخته‌سنگ‌های گرانیتی به ترتیب ۳۰ و ۴۲ بکرل بر مترمکعب بر روز بوده است. اما نتایج این تحقیقات نشان می‌دهند که اگر حتی تمام کف یک ساختمان هم توسط یک ماده با میزان انتشار ۳۰۰ بکرل بر مترمربع بر روز پوشیده شده باشد، تنها ۱۸ بکرل بر مترمکعب سهم در غلظت رادون در یک خانه با نرخ تهویه هوای اندک (۰/۳ مترمکعب بر ساعت) خواهد داشت. در مجموع می‌توان گفت مصالح ساختمانی زینتی در خانه‌هایی که نرخ تهویه هوای مناسبی دارند نقشی در آلودگی هوای داخلی با رادون ندارند.

^۱ Granite slabs

فصل سوم

حدود مجاز آلاینده‌های محیط‌های داخلی در جهان

۳ حدود مجاز آلاینده‌های محیط‌های داخلی در جهان

هدف این فصل در ابتدا بیان علت نیاز به گسترش دستورالعمل‌های کیفیت هوای محیط‌های داخلی است. در ادامه نیز دستورالعمل‌های کیفیت هوا در محیط‌های داخلی که توسط سازمان بهداشت جهانی و برخی از کشورهای دیگر نظیر کانادا گسترش داده شده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱.۳ احتیاج به دستورالعمل‌ها

امروزه بسیاری از کشورها قوانین و دستورالعمل‌هایی برای کاهش انتشار آلاینده‌ها به محیط‌های خارجی وضع نموده‌اند. این استانداردها معمولاً شامل مقادیر کوتاه مدت^۱ و بلند مدت^۲ هستند. اگرچه در حالت ایده‌آل استانداردها بایستی تنها شامل ملاحظات علمی باشند تا انسان، حیوانات، گیاهان و مواد را در همه شرایط محافظت نمایند، اما در واقعیت استانداردها حاصل یک مصالحه میان دانش علمی و اراده سیاسی می‌باشد.

ایجاد یک فضای مناسب در محیط‌های داخلی، حاصل یک فرآیند بهینه‌سازی است که هدف غایی آن تامین آرامش و سلامت انسان است. اگرچه هزینه، فناوری‌های موجود و سایر پارامترها باید در نظر گرفته شوند، ولی در این فرآیند بهینه‌سازی سلامت و راحتی افراد با اختلاف فراوانی به عنوان مهم‌ترین جنبه‌ای که باید در نظر گرفته شود، تلقی می‌گردد. متأسفانه میزان حساسیت افراد به بیماری و مفهوم ناراحتی در افراد مختلف، بسیار متفاوت است. به عنوان یک مثال، در حالیکه یک فرد غیر سیگاری اگر در محیطی که در آن دخانیات استعمال می‌شود، زندگی کند ممکن است دچار سرطان ریه شود ولی ممکن است یک فرد سیگاری تا نود سالگی هم دچار هیچ عارضه‌ای نگردد.

¹ Short-term

² Long-term



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران

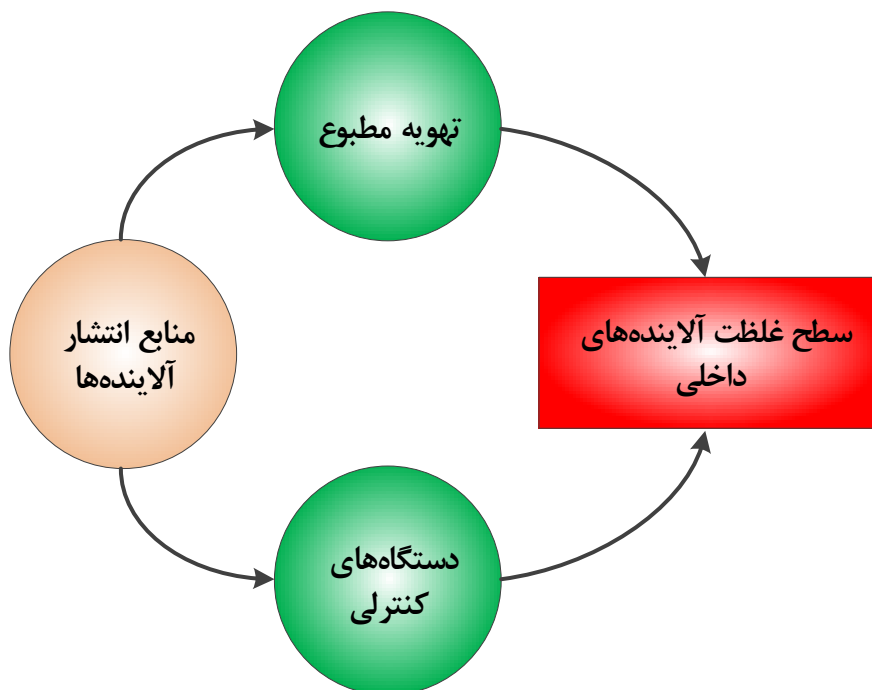


دانشگاه صنعتی شریف

به همین دلیل بهتر آن است تا قوانین و مقادیر دستورالعملی آلاینده ها بر مبنای حساس ترین گروه های یک جمعیت تعیین گردند [۸۴].

در شکل ۱-۳ چهار عنصر اصلی چرخه هوای داخلی رسم شده است. در این چرخه:

- منظور از منابع، انتشاردهنده های آلودگی هستند؛
- تهویه یک راه برای حذف و کاهش آلاینده ها است؛
- دستگاه های کنترلی راه دیگری برای حذف آلاینده ها هستند؛ و
- سطح نهایی غلظت آلاینده ها نیز نتیجه تعامل میان سه عنصر ابتدایی می باشد.



شکل ۱-۳ عناصر اصلی چرخه هوای داخلی [۸۴]



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۳ تعیین دستورالعمل‌ها

بسیاری از کشورها برای آلاینده‌های هوا در محیط‌های خارجی استانداردهایی را تنظیم نموده‌اند، ولی در سراسر جهان برای آلاینده‌های هوا در محیط‌های داخلی هیچ استاندارد تنظیم نشده است. دو چالش عمده برای تعیین مقادیر استاندارد برای آلاینده‌ها در محیط‌های داخلی وجود دارد:

- وجود استاندارد، احساس داشتن یک حد کمینه آلودگی که زیر آن حد دیگر جایی برای نگرانی وجود ندارد را القا می‌نماید؛ و

- اجرای استاندارد به دلیل تعداد بالای محیط‌های داخلی در عمل غیر ممکن است.

مشکل دیگری نیز وجود دارد و آن تغییرات فراوان شرایط در محیط‌های داخلی است. گاهی ممکن است یک اتاق مطلوبات استاندارد را در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد ارضا نماید ولی با افزایش دما به ۲۳ درجه سانتیگراد دیگر مطلوبات برآورده نشوند، اگرچه که هر دو دمای ۲۰ و ۲۳ درجه در محدوده قابل قبول دمایی قرار دارند. نمونه این موضوع در مورد فرمالدهید قابل مشاهده است. گاهی با افزایش تنها ۱ درجه سانتیگراد، غلظت فرمالدهید در حدود ۱۰ درصد افزایش می‌یابد و می‌تواند از حد استاندارد فراتر رود [۸۴].

با توجه به مواردی که بیان گردید، این موضوع دریافت می‌گردد که تعیین استاندارد برای محیط‌های داخلی در عمل امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل در مورد محیط‌های داخلی به جای واژه استاندارد از واژه «دستورالعمل یا خطوط راهنما»^۱ استفاده می‌شود که نسبت به استاندارد الزام‌آوری کمتری را به همراه خواهد داشت. همچنین احتمال اینکه دستورالعمل‌ها توسط کشورهای مختلف پذیرفته شوند نیز، بر خلاف استانداردها، بیشتر است؛ زیرا دستورالعمل‌ها معمولاً جنبه‌های سیاسی و اقتصادی-اجتماعی را در نظر نمی‌گیرند [۸۴].

^۱ Guideline



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

همانطور که سازمان بهداشت جهانی نیز عنوان کرده است، استنشاق یک آلاینده هوا در غلظت‌ها و زمان‌های مجاورت کمتر از مقدار دستورالعملی، اثرات نامطلوب بر روی سلامتی نخواهند داشت [۸۵]. با این وجود چون مقادیر دستورالعملی یک مرز دقیق را تعریف نکرده و همچنین اثرات ترکیبی آلاینده‌ها را نیز در نظر نمی‌گیرند، رعایت این مقادیر تضمین کاملی برای رهایی از اثرات منفی آلاینده‌ها نخواهد بود [۸۴].

بر مبنای مباحث فوق، گاهی بر حسب شرایط استراتژی‌هایی که شامل دو مقدار هستند، اتخاذ می‌گردند. در حالیکه مقدار اول سطح خطر را معرفی می‌کند، مقدار دوم مقدار غلظت هدف برای آینده را مشخص می‌نماید. به عنوان مثال در آلمان، این استراتژی برای تتراکلرواتن در هوای محیط‌های اطراف مغازه‌های خشک‌شویی در نظر گرفته شده است. بر مبنای ملاحظات سم‌شناسی، مقدار ۵ میلی‌گرم بر متر مکعب به عنوان مقدار اول انتخاب شده است که زیر این مقدار نیازی به انجام اقدامات سریع نظیر بستن مغازه خشک‌شویی یا تخلیه محیط‌های نزدیک وجود ندارد. با این وجود اقدامات کنترلی برای کاهش غلظت تتراکلرواتن به مقدار نهایی ۰/۱ میلی‌گرم بر مترمکعب توصیه شده است [۸۴].

۳.۳ حدود مجاز آلاینده‌ها مطابق دستورالعمل‌ها

در ادامه حدود مجاز غلظت برخی از آلاینده‌های محیط‌های داخلی، مطابق دستورالعمل‌های پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی و برخی کشورهای دیگر، آورده شده‌اند.

۱.۳.۳ مقادیر دستورالعملی منوکسید کربن

ترکیب منوکسید کربن با هموگلوبین سبب تشکیل کربوکسی هموگلوبین (COHb) در خون شده و در نتیجه اکسیژن‌رسانی به بافت‌ها را مختل می‌نماید. تحقیقات نشان داده است که برای جلوگیری از ایجاد عوارض ناشی از



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

COHb، بایستی همواره غلظت آن در خون کمتر از ۲ درصد باشد [۶۱]. البته این نتایج با توجه به حساس ترین گروه های جامعه که افراد با بیماری های کرونری هستند به دست آمده و بنابراین باید برای گروه های عادی جامعه نیز قابل قبول باشد. حدود مجاز غلظت منوکسید کربن در محیط های داخلی با توجه به دستورالعمل های سازمان بهداشت جهانی، کانادا، سوئد، سنگاپور و ژاپن در جدول ۳-۱ آورده شده است. همانطور که مشخص است، دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی علاوه بر زمان های متداول مجاورت (۱ ساعت و ۸ ساعت)، مقادیر ۱۵ دقیقه و ۲۴ ساعت را نیز در نظر گرفته است. برای به دست آوردن غلظت مجاز در مجاورت های طولانی مدت، از جدیدترین داده های اپیدمیولوژی استفاده شده است.

جدول ۳-۱ مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با منوکسید کربن (CO)

غلظت مجاز		مدت زمان مجاورت	کشور یا سازمان
ppm	mg/m ³		
	۱۰۰	۱۵ دقیقه	سازمان بهداشت جهانی (WHO)
	۳۵	۱ ساعت	
	۱۰	۸ ساعت	
	۷	۲۴ ساعت	
۲۵	۲۸/۶	۱ ساعت	کانادا
۱۰	۱۱/۵	۲۴ ساعت	
۹	۱۰	۸ ساعت	سنگاپور
۱۰		بیشینه مجاز	ژاپن
	۲	بیشینه مجاز	سوئد

۲.۳.۳ مقادیر دستورالعملی نیتروژن

مهم ترین مشکلاتی که می تواند به دلیل مجاورت با دی اکسید نیتروژن به وجود آید علایم تنفسی، تنگی نایژه ها، افزایش واکنش برونشیا، التهاب مجاری تنفسی و کاهش قدرت دفاعی که منجر به افزایش حساسیت به عفونت های تنفسی است، می باشد. بر مبنای تحقیقات انجام شده برای مجاورت های بلند مدت و کوتاه مدت با



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

دی اکسید نیتروژن، دستورالعمل هایی برای حدود مجاز غلظت های دی اکسید نیتروژن توسعه داده شده است. لازم به ذکر است که برای توسعه این حدود مجاز، کمترین مقدار غلظت آلاینده که اثرات تنفسی در افراد حساس نظیر بیماران آسمی به وجود می آورد، در نظر گرفته شده و سپس ضرایب اطمینانی نیز لحاظ شده است.

به عنوان نمونه تحقیقات کشور کانادا نشان داده است که حد پایین غلظت دی اکسید نیتروژن که در کوتاه مدت در افراد با بیماری آسم منجر به بروز علائم تنفسی می گردد، ۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب است. سپس ضریب اطمینان ۱۰ در نظر گرفته شده و مقدار مجاز ۵۰ میکروگرم بر متر مکعب به دست آمده است. اما از آنجا که تحقیقات نشان داده است که در کانادا به طور میانگین غلظت دی اکسید نیتروژن در محیط های داخلی در حدود ۱۷۰ میکروگرم بر متر مکعب است، بنابراین مقدار دستورالعملی دی اکسید نیتروژن نیز برای مجاورت کوتاه مدت برابر با ۱۷۰ میکروگرم بر متر مکعب انتخاب شده است. رویکردهای مشابهی برای به دست آوردن حدود دستورالعملی مجاورت های طولانی مدت نیز در نظر گرفته شده اند. حدود مجاز غلظت دی اکسید نیتروژن در محیط های داخلی با توجه به دستورالعمل های سازمان بهداشت جهانی، کانادا و سوئد در جدول ۲-۳ آورده شده است.

جدول ۲-۳ مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با دی اکسید نیتروژن (NO₂)

غلظت مجاز		مدت زمان مجاورت	کشور یا سازمان
ppb	µg/m ³		
	۲۰۰	۱ ساعت	سازمان بهداشت جهانی (WHO)
	۴۰	سالانه	
۹۰	۱۷۰	۱ ساعت	کانادا
۱۱	۲۰	۲۴ ساعت	
	۴۰	بیشینه مجاز	سوئد



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۳.۳.۳ مقادیر دستورالعملی ازن

ازن در اتمسفر از طریق واکنش‌های فتوشیمیایی در حضور نور خورشید و آلاینده‌های پیش‌ماده^۱ تشکیل می‌گردد. از جمله آلاینده‌های پیش‌ماده را می‌توان اکسیدهای نیتروژن (NOx) و ترکیبات آلی فرار (VOCs) نام برد. مجاورت با ازن می‌تواند سبب مشکلاتی در سیستم تنفسی نظیر تنگی نفس یا التهاب مجاری تنفسی و کاهش عملکرد ریه شود.

بر طبق اسناد سازمان بهداشت جهانی، اطلاعات کافی برای تعیین حد مجاز غلظت سالیانه ازن در محیط‌های داخلی وجود ندارد و بنابراین تنها حدود مجاز برای مجاورت ۸ ساعت ارائه شده است [۶۷]. حدود مجاز غلظت ازن در محیط‌های داخلی با توجه به دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی، کانادا، سوئد، سنگاپور و چین در جدول ۳-۳ آورده شده است. همانطور که مشخص است، کشور سوئد به جای تعیین زمان مجاورت، از بیشینه غلظت مجاز استفاده کرده است.

جدول ۳-۳ مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با ازن (O₃)

غلظت مجاز		مدت زمان مجاورت	کشور یا سازمان
ppb	µg/m ³		
	۱۰۰	۸ ساعت	سازمان بهداشت جهانی
۲۰	۴۰	۸ ساعت	کانادا
	۵۰	بیشینه مجاز	سوئد
۵۰	۱۰۰	۸ ساعت	سنگاپور
	۱۰۰	۱ ساعت	چین

^۱ Precursor pollutants



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۴.۳.۳ مقادیر دستورالعملی بنزن

بنزن یکی از آلاینده هایی است که می تواند با تخریب DNA باعث سرطان گردد. تحقیقات نشان داده است که نمی توان هیچ حد غلظت بی خطری را برای بنزن تعیین نمود. هم چنین معمولاً غلظت بنزن در محیط های داخلی به علت انتقال هوای آلوده از بیرون به داخل و وجود منابع داخلی تولید بنزن، بیشتر از غلظت محیط های بیرونی است [۶۱]. سازمان بهداشت جهانی و برخی کشورها نظیر کانادا، در این زمینه به جای ارائه حد مجاز غلظت به معرفی انواع اقدامات حفاظتی برای کاهش هرچه بیشتر غلظت این آلاینده در محیط های داخلی پرداخته اند. حدود مجاز بنزن در جدول ۳-۴ نشان داده شده است.

جدول ۳-۴ مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با بنزن (C_6H_6)

غلظت مجاز		مدت زمان مجاورت	کشور یا سازمان
ppb	$\mu g/m^3$		
حد مجازی تعیین نشده است.		-	سازمان بهداشت جهانی و برخی دیگر کشورها

۵.۳.۳ مقادیر دستورالعملی فرمالدهید

مجاورت کوتاه مدت با فرمالدهید می تواند سبب خارش در چشم یا بینی گردد. نتایج تحقیقات نشان داده است که مجاورت طولانی مدت با فرمالدهید نیز می تواند سبب سرطان در مجاری تنفسی شود. بر اساس این تحقیقات، سازمان بهداشت جهانی به این نتیجه رسیده است که حد مجاز غلظت برای مجاورت کوتاه مدت و به منظور جلوگیری از مشاهده حساسیت در افراد نظیر خارش، ۱۰۰ میکروگرم بر متر مکعب انتخاب گردد. هم چنین نتایج تحقیقات سازمان بهداشت جهانی نشان داده است که مجاورت های طولانی مدت با فرمالدهید در غلظت های کمتر از ۲۰۰ میکروگرم بر متر مکعب، نمی تواند سبب ایجاد سرطان گردد و بنابراین حد مجاز مجاورت طولانی مدت ۲۰۰ میکروگرم بر متر مکعب اعلام شده است که به دلیل بزرگتر بودن این عدد از حد مجاز مجاورت کوتاه مدت، برای این حالت نیز همان مقدار ۱۰۰ میکروگرم بر متر مکعب انتخاب شده است [۶۱].



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

حدود مجاز غلظت فرمالدهید در محیط‌های داخلی با توجه به دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی، کانادا، سوئد، سنگاپور و چین در جدول ۳-۵ آورده شده است. همانطور که مشخص است، کشور سوئد به جای تعیین زمان مجاورت، از بیشینه غلظت مجاز استفاده کرده است.

جدول ۳-۵ مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با فرمالدهید

غلظت مجاز		مدت زمان مجاورت	کشور یا سازمان
ppb	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	۱۰۰	۳۰ دقیقه	سازمان بهداشت جهانی (WHO)
	۱۰۰	بلند مدت	
۱۰۰	۱۲۳	۱ ساعت	کانادا
۴۰	۵۰	۸ ساعت	
۱۰۰	۱۲۰	۸ ساعت	سنگاپور
	۵۰	بیشینه مجاز	سوئد
	۱۲۰	۱ ساعت	چین

۶.۳.۳ مقادیر دستورالعملی نفتالن

مهم‌ترین اثر نفتالن بر روی سلامتی، ایجاد ضایعات، به خصوص ایجاد تومور، در قسمت‌های بالایی دستگاه تنفسی است. هم‌چنین نفتالن در غلظت‌های بالا می‌تواند سبب کم‌خونی همولیتیک نیز شود. معمولاً اگر از قرص‌های نفتالن یا سوخت‌های زیستی در محیط‌های داخلی استفاده نشود، غلظت نفتالن در حدود ۱ میکروگرم بر متر مکعب خواهد بود. این مقدار بسیار کمتر از حد مجاز نفتالن که مطابق نظر سازمان بهداشت جهانی ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب است، می‌باشد. اما استفاده از قرص‌های نفتالن می‌تواند مقدار غلظت را تا ۱۰۰ برابر نیز افزایش دهد و به همین دلیل باید استفاده از این قرص‌ها را محدود نمود. حدود مجاز غلظت نفتالن در محیط‌های داخلی با توجه به دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی و کانادا در جدول ۳-۶ آورده شده است.

جدول ۳-۶ مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با نفتالن

غلظت مجاز	مدت زمان مجاورت	کشور یا سازمان
۱۰ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	بلند مدت	سازمان بهداشت جهانی
۲ ppb	بلند مدت	کانادا

۷.۳.۳ مقادیر دستورالعملی رادون

تحقیقات نشان داده است که مجاورت با رادون سبب بروز سرطان ریه می گردد و هیچ آستانه یا به عبارتی حد سلامتی نیز برای مجاورت با رادون وجود ندارد. با این وجود سازمان بهداشت جهانی و برخی کشورهای دیگر، حدود مجازی را برای رادون در محیط های داخلی در نظر گرفته اند. مطابق نظر سازمان بهداشت جهانی، حد مجاز رادون $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$ است ولی اگر به دلیل شرایط موجود در یک کشور نمی توان به این حد رسید، باید حداقل حد $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$ رعایت گردد.

حدود مجاز غلظت رادون در محیط های داخلی با توجه به دستورالعمل های سازمان بهداشت جهانی، سوئد و چین در جدول ۳-۷ آورده شده است.

جدول ۳-۷ مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با رادون

غلظت مجاز	نوع مجاورت	کشور یا سازمان
Bq/m^3		
۱۰۰	کمینه	سازمان بهداشت جهانی (WHO)
۳۰۰	بیشینه	
۲۰۰	آپارتمان و خانه	چین
۴۰۰	ساختمان های زیرزمینی	
۱۰۰	بیشینه مجاز	سوئد



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۸.۳.۳ مقادیر دستورالعملی ذرات معلق

ذرات معلق باعث بروز مشکلات تنفسی و بیماری‌های قلبی و عروقی می‌گردند. میزان حساسیت به ذرات معلق با سن و میزان سلامتی افراد متغیر است. سازمان بهداشت جهانی بر اساس تحقیقات صورت گرفته در زمینه رابطه مجاورت با ذرات معلق و بروز بیماری، حدود مجازی را برای غلظت آلاینده‌های PM₁₀ و PM_{2.5} تعیین نموده است. البته تحقیقات نشان داده است که تفاوتی میان اثرات مخرب ذرات معلق در محیط‌های داخلی و خارجی وجود ندارد و به همین دلیل مقادیر دستورالعملی یکسانی برای هر دو پیشنهاد شده است [۶۱].

سازمان بهداشت جهانی مقادیر دستورالعملی را برای مجاورت‌های بلند مدت (سالانه) و کوتاه مدت (۲۴ ساعته) در نظر گرفته است. حدود مجاز غلظت PM₁₀ و PM_{2.5} در محیط‌های داخلی با توجه به دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی و سوئد به ترتیب در جدول ۸-۳ و جدول ۹-۳ آورده شده است.

جدول ۸-۳ مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با PM₁₀

غلظت مجاز μg/m ³	نوع مجاورت	کشور یا سازمان
۵۰	۲۴ ساعت	سازمان بهداشت جهانی (WHO)
۲۰	سالانه	
۴۰	بیشینه مجاز	سوئد

جدول ۹-۳ مقادیر دستورالعملی برای مجاورت با PM_{2.5}

غلظت مجاز μg/m ³	نوع مجاورت	کشور یا سازمان
۲۵	۲۴ ساعت	سازمان بهداشت جهانی (WHO)
۱۰	سالانه	
۱۵	بیشینه مجاز	سوئد



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

از آنجایی که مقادیر غلظت پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی برای ذرات معلق بسیار سختگیرانه است و در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران و در مناطق شهری شلوغ عملاً دستیابی به آنها غیرممکن می باشد، این سازمان برخی مقادیر دستورالعملی موقتی را تحت عنوان «اهداف موقتی»^۱ معرفی نموده است. این اهداف موقتی در سه مقدار مختلف تنظیم شده اند. با توجه به اقدامات مناسب پیشگیرانه پایدار و مداوم می توان به این اهداف موقتی دست یافت. کشورهای مختلف می توانند این اهداف موقتی را به عنوان معیاری برای سنجش میزان پیشرفت خود در زمینه کاهش غلظت ذرات معلق در نظر داشته باشند.

۱.۸.۳.۳ اهداف موقتی بلندمدت ذرات معلق

برای سطح اول اهداف موقتی غلظت سالیانه PM_{2.5} (IT-1) مقدار غلظت $35 \frac{\mu g}{m^3}$ انتخاب شده است. این سطح مربوط به بیشترین غلظت میانگین گزارش شده در مطالعات مربوط به اثرات سلامتی بلندمدت ذرات معلق است. نشان داده شده است که این سطح از غلظت با مرگ و میر در کشورهای توسعه یافته مرتبط است.

برای سطح دوم اهداف موقتی غلظت سالیانه PM_{2.5} (IT-2) مقدار غلظت $25 \frac{\mu g}{m^3}$ انتخاب شده است که بر پایه مطالعات رابطه میان مرگ و میر و مجاورت با ذرات معلق است. این مقدار بزرگتر از مقدار میانگینی است که در این مطالعات اثرات مخرب بر روی سلامتی داشته است و احتمالاً با اثرات شدید بر روی سلامتی به دلیل مجاورت بلندمدت و روزانه همراه خواهد بود. انتخاب این مقدار از غلظت PM_{2.5}، ریسک سلامتی مجاورت بلندمدت را نسبت به مقدار IT-1 در حدود ۶ درصد کاهش می دهد.

¹ Interim Targets (IT)



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

برای سطح سوم اهداف موقتی غلظت سالیانه PM_{2.5} (IT-3) مقدار غلظت $15 \frac{\mu g}{m^3}$ انتخاب شده است که این مقدار به مقدار میانگین غلظت گزارش شده در مطالعات مجاورت بلندمدت با ذرات معلق، بسیار نزدیک است. این سطح از غلظت نیز به میزان ۶ درصد ریسک سلامتی را نسبت به سطح دوم (IT-2) کاهش می دهد.

مقادیر اهداف موقتی مربوط به ذرات معلق بین دو ونیم و ده میکرون (PM₁₀) نیز به ترتیب ۷۰، ۵۰ و ۳۰ میکرو گرم بر متر مکعب انتخاب شده اند. انتخاب یک مقدار دستورالعملی برای PM_{2.5} به تنهایی نمی تواند از اثرات مخرب ذرات درشت تر یعنی PM₁₀ جلوگیری نماید.

به طور کلی مقادیر مربوط به هر سه هدف موقتی غلظت بلندمدت ذرات معلق در جدول ۳-۱۰ آورده شده است.

جدول ۳-۱۰ اهداف موقتی بلندمدت (سالیانه) برای غلظت ذرات معلق

PM _{2.5}	PM ₁₀	اهداف موقتی
$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	
۳۵	۷۰	سطح اول
۲۵	۵۰	سطح دوم
۱۵	۳۰	سطح سوم

۲.۸.۳.۳ اهداف موقتی کوتاه مدت ذرات معلق

نتایج تحقیقات نشان داده است که اثرات مخرب PM₁₀ بر روی سلامتی به دلیل مجاورت کوتاه مدت در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه یکسان است و به ازای هر $10 \frac{\mu g}{m^3}$ افزایش در غلظت روزانه در حدود ۰/۵ درصد احتمال مرگ و میر نیز افزایش می یابد.

برای سطح اول اهداف موقتی غلظت کوتاه مدت PM₁₀ (IT-1) مقدار غلظت $150 \frac{\mu g}{m^3}$ انتخاب شده است که انتظار می رود تقریباً ۵ درصد میزان مرگ و میر روزانه را افزایش دهد که اثری قابل توجه بوده و نیازمند اقدامات پیشگیرانه فوری است.

برای سطح دوم اهداف موقتی غلظت کوتاه مدت PM₁₀ (IT-2) مقدار غلظت $100 \frac{\mu g}{m^3}$ انتخاب شده است که متناظر با افزایش ۲/۵ درصدی در مرگ و میر روزانه خواهد بود.

برای سطح سوم اهداف موقتی غلظت کوتاه مدت PM₁₀ (IT-3) مقدار غلظت $75 \frac{\mu g}{m^3}$ انتخاب شده است که متناظر با افزایش ۱/۲ درصدی در مرگ و میر روزانه خواهد بود.

برای اهداف موقتی غلظت کوتاه مدت PM_{2.5} نیز بر همین مبنا مقادیری توسط سازمان بهداشت جهانی استخراج شده است که همه این اهداف در جدول ۳-۱۱ آورده شده اند.

جدول ۳-۱۱ اهداف موقتی کوتاه مدت (۲۴ ساعته) برای غلظت ذرات معلق

PM _{2.5}	PM ₁₀	اهداف موقتی
$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	
۷۵	۱۵۰	سطح اول
۵۰	۱۰۰	سطح دوم
۳۷/۵	۷۵	سطح سوم

۹.۳.۳ مقادیر دستورالعملی کپک و قارچ

از آنجا که ارتباط میان رطوبت، مجاورت با میکروبها و اثرات بر روی سلامتی نمی توانند به صورت دقیق تعیین گردند، نمی توان هیچ مقدار عددی مشخصی را به عنوان دستورالعمل یا یک آستانه برای آلودگی های میکروبی در نظر گرفت. در عوض توصیه می شود تا مشکلات مربوط به رطوبت بالا و کپک هرچه سریع تر رفع گردند. مدیریت رطوبت نیازمند کنترل مناسب دما و تهویه است تا از رطوبت اضافی، میعان روی سطح و نم اضافی در مواد جلوگیری شود. تهویه باید به صورت کارایی در سراسر محیط توزیع شود و از ایجاد نقاط توقف هوا جلوگیری گردد. بنابراین به دلیل نبود حدود مجاز مجاورت، نمی توان خطرات مربوط به کپک و قارچها را برای ساکنان ساختمان ارزیابی نمود.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

بر مبنای مقادیر اندازه‌گیری شده از غلظت قارچ‌ها در محیط‌های خانگی و غیرصنعتی، میزان غلظت آن‌ها دسته‌بندی شده که در جدول ۳-۱۲ نشان داده شده است. مقادیر ارائه شده در این جدول بر مبنای محدوده غلظت‌های به دست آمده از آزمایش بر روی محیط‌های داخلی بوده است و بنابراین اثرات مرتبط با سلامتی را در نظر نمی‌گیرد.

برخی از کشورها نظیر امارات نیز از همین محدوده‌ها استفاده کرده و مقادیر دستورالعملی غلظت قارچ‌ها در محیط‌های داخلی را تعیین نموده‌اند. بر این مبنا کشور امارات حد توصیه شده غلظت قارچ‌ها را در محیط‌های داخلی، کمتر از $500 \frac{CFU}{m^3}$ انتخاب کرده است.

جدول ۳-۱۲ طبقه‌بندی غلظت قارچ‌ها بر مبنای مطالعات اندرسون [۷۳]

غلظت قارچ در واحد CFU/m^3		رده
محیط‌های غیرصنعتی	خانه‌ها	
$25 <$	$50 <$	خیلی کم
$100 <$	$200 <$	کم
$500 <$	$1000 <$	متوسط
$2000 <$	$10000 <$	زیاد
$2000 >$	$10000 >$	خیلی زیاد

۱۰.۳.۳ مقادیر دستورالعملی باکتری

همانند قارچ‌ها، در مورد باکتری‌ها نیز سطح دانش کنونی بشر اجازه تعیین یک حد آستانه مجاز برای حضور باکتری‌ها در محیط‌های داخلی نمی‌دهد. همانند قارچ‌ها برای باکتری‌ها نیز بر پایه اطلاعات موجود از اندازه‌گیری‌ها، چندین رده‌بندی صورت گرفته است. این رده‌بندی‌ها برای خانه‌ها و محیط‌های داخلی غیرصنعتی در ... نشان داده شده است. برخی از کشورها نظیر امارات نیز از همین محدوده‌ها استفاده کرده و مقادیر دستورالعملی غلظت



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

باکتری‌ها در هوا را برای محیط‌های داخلی تعیین نموده‌اند. بر این مبنا کشور امارات حد توصیه شده غلظت باکتری‌ها را در محیط‌های داخلی، کمتر از $500 \frac{CFU}{m^3}$ انتخاب کرده است.

جدول ۳-۱۳ طبقه‌بندی غلظت باکتری‌ها بر مبنای مطالعات اندرسون [۷۳]

رده	غلظت باکتری در واحد CFU/m^3	
	خانه‌ها	محیط‌های غیرصنعتی
خیلی کم	$100 <$	$50 <$
کم	$500 <$	$100 <$
متوسط	$2500 <$	$500 <$
زیاد	$10000 <$	$2000 <$
خیلی زیاد	$10000 >$	$2000 >$

۱۱.۳.۳ مقادیر دستورالعملی مایت

مایتهایی که از خانواده پیروگلیفیدها هستند به عنوان مهم‌ترین منبع آلرژی‌های گرد و غبار خانگی شناخته شده‌اند. اهمیت مایت‌های گرد و غبار خانگی^۱ در سلامت انسان مربوط به خواص آلرژیک آن‌ها می‌شود. آلرژن‌های اصلی که توسط مایت‌های گرد و غبار خانگی تولید می‌شوند $Der p I$ ، $Der p II$ ، $Der f I$ ، $Der f II$ ، $Der m I$ و $Der m II$ هستند. آلرژن‌های نوع I در مدفوع مایت‌ها حضور دارند. تکه‌های مدفوع مایت‌ها در حدود ۲۵ میکرومتر می‌باشند که می‌توانند به تکه‌های کوچکتر شکسته شده و از طریق تنفس وارد بدن افراد شوند [۸۶].

بیشترین تعداد مایت‌ها در خانه‌ها می‌توانند در تشک‌ها، تخت‌خواب‌ها، بالش‌ها، اسباب بازی بچه‌ها، مبلمان و فرش یافت شوند. تعداد مایت‌ها ممکن است از ۱۰ تا ۱۰۰۰ مایت بر هر گرم گرد و غبار خانگی متغیر باشد [۸۷].

طبق نظر سازمان بهداشت جهانی در حال حاضر به نظر می‌رسد اطلاعات کافی به منظور در نظر گرفتن حدود سلامت وجود داشته باشد. بر این اساس:

^۱ House Dust Mites (HDMs)



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- وجود ۲ میکرو گرم در هر گرم گرد و غبار می تواند در برخی افرادی که از لحاظ ژنتیکی مستعد هستند، مشکلاتی به وجود آورد.

- وجود ۱۰ میکرو گرم در هر گرم گرد و غبار می تواند منجر به حملات شدید آسمی شود.

در جدول ۳-۱۴ طبقه بندی مربوط به مقادیر غلظت آلرژن های Der p I و Der p II نشان داده شده است. این مقادیر بر مبنای مقادیر موجود در گرد و خاک خانه ها بوده و در مورد اثرات سلامتی آن ها اطلاعاتی در اختیار نمی گذارد [۷۳].

جدول ۳-۱۴ طبقه بندی آلرژن های Der p I و Der f I در گرد و خاک خانه

غلظت آلرژن ($\mu\text{g/g dust}$)		طبقه بندی
Der f I	Der p I	
<۰/۵	<۰/۵	خیلی کم
<۵	<۵	کم
<۱۵	<۱۵	متوسط
<۲۰	<۲۰	زیاد
>۲۰	>۲۰	خیلی زیاد

۴.۳ عوامل تاثیرگذار بر راحتی و بهره وری ساکنان

علاوه بر عواملی که به صورت مستقیم بر روی سطح آلاینده های در معرض افراد تاثیر گذارند، شماری از عوامل فردی و محیطی نیز بر روی میزان کیفیت هوایی که افراد درک می کنند، تاثیر بگذارد. برخی از این عوامل هم بر سطح غلظت آلاینده ها و هم احساس کیفیت هوا اثر گذار هستند. این عوامل عبارتند از:

- بوها؛
- دما (خیلی گرم یا سرد)؛
- سرعت و جابه جایی هوا (خیلی سریع یا کند)؛



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- حرارت و تشعشع از نور خورشید؛
- تشعشع از لامپ های سقف؛
- ازدحام مبلمان؛
- استرس در محل کار یا خانه؛
- احساس نسبت به مشخصات فیزیکی محل کار: محل، محیط کاری، دسترسی به نور طبیعی و جنبه های زیبایی در طراحی ساختمان نظیر رنگ و ظاهر؛
- ارگونومی محل کار نظیر ارتفاع و محل کامپیوترها و قابلیت تنظیم صفحه کلید و صندلی ها؛
- صدا و سطح ارتعاشات؛ و
- انتخاب، محل قرار گیری و استفاده از تجهیزات دفتر کار.

امروزه به ندرت ساختمان های مدرن از طریق باز کردن پنجره ها تهویه می شوند. کنترل دما و رطوبت از طریق سیستم HVAC ساختمان که برای ایجاد یک محیط مناسب طراحی شده است، انجام می گردد. در این زمینه استانداردهایی توسعه داده شده است که در ادامه معرفی خواهند شد.

استاندارد ANSI/ASHRAE 55 برای شرایط حرارتی محیطی انسان یک معیار در طراحی، راه اندازی و آزمایش ساختمان ها و سایر فضاهای اشغال شده و سیستم تهویه مطبوع آنهاست. عوامل محیطی که توسط این استاندارد در نظر گرفته شده اند شامل دما، تشعشع حرارتی، رطوبت و سرعت هوا می باشند. عوامل فردی نظیر فعالیت و پوشش نیز در نظر گرفته شده اند. این استاندارد شامل شرایط دمایی و رطوبتی است که مطابق آن ۸۰ درصد از افراد ساکن در ساختمان احساس رضایت داشته باشند.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

دستورالعمل «اداره بهداشت و ایمنی حرفه ای»^۱ (OSHA) نیز شرایط دمایی و رطوبت نسبی را تحت یک راهنمای فنی^۲ ارائه داده است. این دستورالعمل بیان می دارد که به عنوان یک قاعده کلی، دما و رطوبت ساختمان مسائل مربوط به آسایش و راحتی افراد هستند. دستورالعمل OSHA هیچ قوانین ویژه ای برای تعیین دما و رطوبت در یک ساختمان را ندارد.

برخی از سازمان ها نیز نظیر «شرکت فناوری های محیطی برتر»^۳ نیز قاعده هایی سرانگشتی برای شرایط دمایی و رطوبتی مناسب در ساختمان ها ارائه داده اند. بر این اساس محدوده دمایی مناسب در فصل تابستان بین ۲۲/۸ تا ۲۶/۱ درجه سانتیگراد و در فصل زمستان بین ۲۰ تا ۲۴/۴ درجه سانتیگراد عنوان شده است. همچنین محدوده مناسب رطوبت نسبی نیز در فصل تابستان بین ۴۰ تا ۶۵ درصد و در فصل زمستان بین ۳۰ تا ۵۰ درصد بیان گردیده است. به طور معمول برای بررسی شرایط مناسب حرارتی در ساختمان ها به استانداردهای معتبر نظیر انسی و ASHRAE رجوع می شود که در ادامه استاندارد ASHRAE 55 به صورت دقیق تر مورد مطالعه قرار گرفته است.

۱.۴.۳ استاندارد ASHRAE 55

این استاندارد شرایطی را مشخص می نماید که در آن بخش مشخصی از ساکنان یک ساختمان، از لحاظ حرارتی احساس راحتی می نمایند. این استاندارد با هدف استفاده در طراحی، راه اندازی و آزمایش ساختمان ها و سایر فضاهای اشغال شده توسط افراد و همچنین سیستم های تهویه توسعه داده شده است. از آنجا که تعیین دقیق نرخ متابولیسم افراد میسر نبوده و نحوه پوشش افراد نیز متفاوت است، محدوده های مشخص شده در این استاندارد نمی توانند الزام آور باشند.

^۱ Occupational Safety and Health Administration (OSHA)

^۲ Technical Manual

^۳ Accredited Environmental Technology Inc. (AET)



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

میزان فعالیت و نحوه پوش ساکنان برای اجرای این استاندارد بایستی در نظر گرفته شود. زمانیکه تفاوت های قابل توجهی در فعالیت فیزیکی و یا پوشش افراد یک مکان وجود داشته باشد، این تفاوت ها بایستی در نظر گرفته شوند. ممکن است که امکان دستیابی به یک محیط حرارتی مناسب برای همه افراد ساکن یک مکان به دلیل تفاوت های فردی، نظیر میزان فعالیت یا نوع پوشش وجود نداشته باشد.

شش عامل اصلی باید در هنگام تعریف شرایط لازم برای دستیابی به راحتی حرارتی در نظر گرفته شوند. این شش عامل اصلی عبارتند از:

- نرخ متابولیسم؛
- نحوه پوشش؛
- دمای هوا؛
- دمای تابشی^۱؛
- سرعت هوا؛ و
- رطوبت.

همه این شش عامل ممکن است با زمان تغییر نمایند. با این وجود استاندارد ASHRAE 55، شرایط آسایش حرارتی را تنها برای حالت پایا^۲ بیان می دارد. در نتیجه افرادی که وارد یک ساختمان منطبق با استاندارد می شوند، ممکن است در ابتدا شرایط را به دلیل شرایط محیطی و فعالیت قبلی خود راحت نیابند. اثرات مجاورت های قبلی یا فعالیت های گذشته ممکن است تا نزدیک به یک ساعت نیز بر میزان احساس راحتی فرد تاثیر گذار باشند.

¹ Radiant temperature

² Steady state



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

بخش بزرگی از داده‌های موجود در زمینه آسایش حرارتی مربوط به حالت فعالیت فیزیکی نشسته که معمولاً در فضاهای کاری وجود دارد، می‌باشد. این استاندارد اساساً برای این شرایط کاری طراحی شده است. با این وجود می‌توان از این استاندارد برای تعیین شرایط محیطی مناسب برای نرخ فعالیت‌های متوسط نیز استفاده شود. همچنین این استاندارد برای حالت استراحت در رختخواب قابل استفاده نخواهد بود.

۱.۱.۴.۳ دمای کاری

برای مقادیر مشخص رطوبت، سرعت هوا، نرخ متابولیسم و پوشش یک محدوده راحتی باید مشخص گردد. محدوده راحتی بر حسب محدوده دماهای کاری که منجر به شرایط محیطی حرارتی قابل قبول می‌گردند و یا بر حسب ترکیبی از دمای هوا و دمای میانگین تابشی که قابل قبول برای افراد است، تعریف می‌گردد. برای این منظور دو روش وجود دارد. روش اول بر مبنای تصاویر گرافیکی ساده است که به عنوان نمونه در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. روش دوم که کاربردهای گسترده‌تری دارد، یک برنامه کامپیوتری است که از طریق تعادل انرژی می‌تواند محدوده راحتی را تعیین نماید. برای محدوده یکسانی از شرایط ورودی، نتایج حاصل از هر دو روش با یکدیگر سازگار هستند.

روش گرافیکی می‌تواند برای محیط‌هایی که سطح فعالیت ساکنان آن منجر به نرخ متابولیسم بین ۱ تا ۱/۳ مت^۱ می‌شود و پوشش آن‌ها نیز بین ۰/۵ تا ۱ کلو^۲ است، استفاده شود. یک مت واحدی است برای توصیف انرژی تولید شده در بدن به دلیل فعالیت‌های متابولیکی که به صورت $\frac{W}{m^2}$ ۵۸/۲ تعریف شده است که معادل انرژی تولید شده بر واحد مساحت یک فرد میانگین است که در حالت استراحت و نشسته است. مساحت متوسط بدن یک فرد نیز در حدود $1/8 m^2$ است. یک کلو نیز واحدی برای بیان میزان عایق حرارتی لباس‌ها و پوشاک است که معادل $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$

^۱ met

^۲ clo



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران

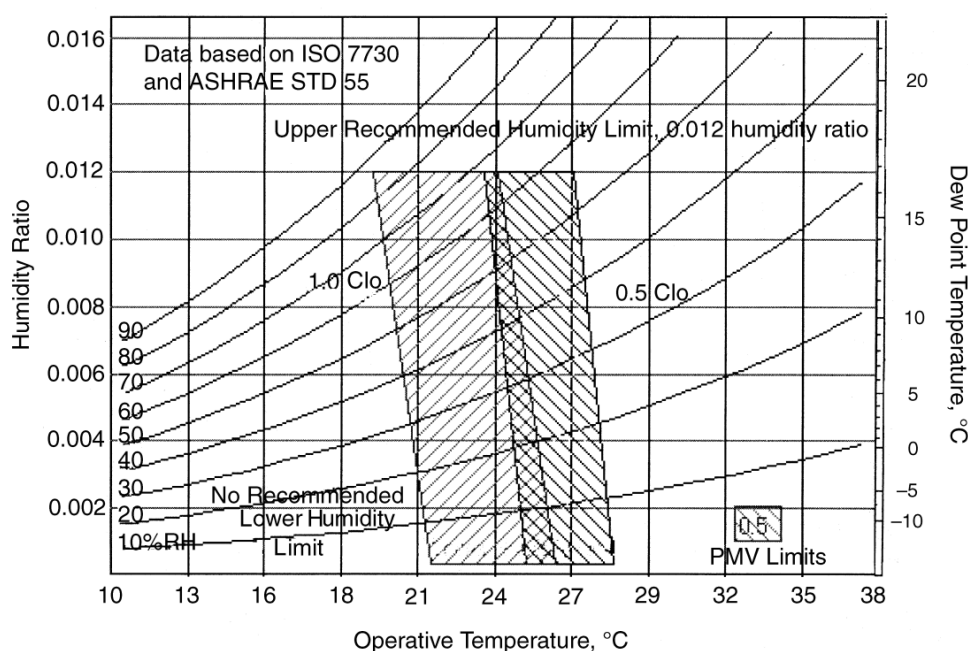


شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۰/۱۵۵ است. محدوده دماهای کاری نشان داده شده در شکل ۲-۳ برای دستیابی به ۸۰ درصد مقبولیت در افراد است. هم چنین نمودار شکل ۲-۳ محدوده راحتی دمایی را برای حالتی به دست می دهد که سرعت هوا زیر $\frac{0.2}{s}$ باشد.



شکل ۲-۳ محدوده قابل قبول دمای و رطوبت

۲.۱.۴.۳ حدود رطوبت

سیستم های طراحی شده برای کنترل رطوبت بایستی توانایی نگهداری نسبت رطوبت در حدود کوچکتر از ۰/۰۱۲ را داشته باشند که معادل با فشار بخار $1/910$ کیلوپاسکال در فشار استاندارد یا نقطه شبنم $16/8$ درجه سانتیگراد است. هیچ حد پایینی رطوبتی برای شرایط آسایش حرارتی بنا نشده است و در نتیجه استاندارد ASHRAE نیز حد پایینی را در نظر نگرفته است. با این وجود، عوامل راحتی غیرحرارتی نظیر خشکی پوست، خارش غشاهای مخاطی، خشکی چشم و تولید الکتریسیته ساکن شاید بتوانند حدودی را بر روی مقدار رطوبت اعمال نمایند.

فصل چهارم

انتخاب آلاینده‌های محیط‌های داخلی

در ایران و حدود مجاز



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۴ انتخاب آلاینده‌های محیط‌های داخلی در ایران و حدود مجاز

در فصول قبل در مورد محیط‌های داخلی، انواع آلاینده‌ها در محیط‌های داخلی و حدود مجاز غلظت برخی آلاینده‌ها در محیط‌های داخلی توضیحات لازم داده شد. هدف از این فصل توسعه یک دستورالعمل اولیه برای کیفیت هوا در محیط‌های داخلی ایران می‌باشد.

۱.۴ انتخاب آلاینده‌ها برای ایران

همانطور که در فصل سوم نیز توضیح داده شد، معیار اصلی برای تعیین حدود مجاز آلاینده‌ها در محیط‌های داخلی، تاثیرات آلاینده‌ها بر سلامتی افراد است. لذا برای توسعه دستورالعمل‌های مربوط به ایران نیز مهم‌ترین معیار سلامتی افراد در نظر گرفته خواهد شد.

تعداد آلاینده‌های محیط‌های داخلی بسیار زیاد است. برخی از مهم‌ترین این آلاینده‌ها که توسط سازمان بهداشت جهانی معرفی شده‌اند در جدول ۱-۲ آورده شده است. از آنجا که تا زمان نگارش این سند، هیچ فعالیت مدونی در زمینه کیفیت هوای داخلی در ایران صورت نگرفته است، لذا پیشنهاد می‌گردد تا برای شروع بررسی و بهبود کیفیت هوای محیط‌های داخلی ایران، در گام اول تعدادی از مهم‌ترین آلاینده‌ها انتخاب گردند. پس از انتخاب این آلاینده‌ها، مقادیر دستورالعملی برای هر یک تعیین شده و روش‌های اندازه‌گیری آن‌ها مشخص گردند.

بر مبنای مطالب عنوان شده در فصل‌های پیشین این سند، پیشنهاد می‌گردد برای شروع بررسی کیفیت هوای محیط‌های داخلی در ایران، شش آلاینده گازی مهم‌تر به همراه آلاینده جامد ذرات معلق و سه آلاینده بیولوژیکی شامل قارچ، باکتری و مایت انتخاب گردند. در ادامه دلایل انتخاب هر یک شرح از آلاینده‌ها شرح داده شده است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱. **منوکسید کربن (CO)**. اثرات مخرب منوکسید کربن بر سلامتی انسان به خوبی شناسایی شده است. منوکسید کربن برای همه گروه‌های سنی و هم‌چنین افراد سالم یا بیمار خطرناک بوده و منجر به بروز مشکلات در سیستم خون‌رسانی می‌گردد. هم‌چنین منابع داخلی منوکسید کربن نظیر سیگار در بسیاری از محیط‌های داخلی به راحتی یافت می‌شود؛ لذا این آلاینده می‌تواند یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌های داخلی محسوب گردد.

۲. **دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)**. منابع دی‌اکسید نیتروژن در محیط‌های داخلی نظیر سیگار، اجاق‌های گازسوز و آبگرمکن‌ها تقریباً در اکثر محیط‌های داخلی یافت می‌شود. هم‌چنین غلظت دی‌اکسید نیتروژن در هوای شهرهای بزرگ نظیر تهران نیز قابل توجه است. از طرفی اثرات دی‌اکسید نیتروژن بر سلامتی نیز به دلیل مجاورت‌های کوتاه مدت و بلند مدت ایجاد می‌گردد؛ بنابراین دی‌اکسید نیتروژن می‌تواند به عنوان یکی از آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی محسوب گردد.

۳. **ازن (O_3)**. امروزه هوای شهر تهران از لحاظ غلظت آلاینده ازن در وضعیت نسبتاً سالمی به سر می‌برد. به طور معمول نیز غلظت ازن در هوای داخلی پایین‌تر از هوای بیرون است اما برخی دستگاه‌های اداری نظیر فتوکپی و پرینت به علت تولید ازن می‌توانند غلظت این آلاینده را در محیط‌های اداری افزایش دهند. به علت اثرات مخرب ازن بر روی سلامتی این آلاینده نیز جزء آلاینده‌های خطرناک محسوب خواهد شد.

۴. **فرمالدهید (CH_2O)**. غلظت فرمالدهید به طور معمول در محیط‌های داخلی بیشتر از هوای آزاد است. در خانه‌ها یا اماکن نوساز به دلیل استفاده از برخی مواد شیمیایی نظیر چسب و محصولات چوبی، غلظت این آلاینده می‌تواند تا مدت‌ها بسیار بیشتر از حدود مجاز باشد که در نتیجه اثرات مخربی بر روی سلامت افراد خواهد داشت. از طرفی تحقیقات ثابت کرده است که مجاورت‌های طولانی با فرمالدهید می‌تواند منجر به بروز سرطان حفره بینی شود. لذا این آلاینده نیز در لیست آلاینده‌های خطرناک برای محیط‌های داخلی ایران قرار می‌گیرد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۵. **بنزن (C_6H_6)**. بنزن علاوه بر اینکه از طریق منابع خارجی نظیر پمپ‌بنزین‌ها و خودروها می‌تواند به داخل ساختمان‌ها راه پیدا کند، منابع مهمی نیز داخل ساختمان‌ها نظیر مواد شیمیایی و گاراژها، هستند که سبب انتشار این آلاینده خطرناک می‌گردند. تحقیقات نشان داده است که بنزن آلاینده‌ای سرطان‌زا است که هیچ حد مجازی را نمی‌توان برای آن تعیین نمود؛ لذا بنزن نیز باید به عنوان یکی از آلاینده‌های خطرناک محیط‌های داخلی در نظر گرفته شود.

۶. **رادون (Rn)**. رادون بعد از دود سیگار به عنوان مهم‌ترین عامل سرطان ریه شناخته شده است. از طرفی چون منبع گاز رادون خاک است، بنابراین می‌تواند هر جایی حضور داشته باشد؛ در نتیجه گاز رادون نیز با توجه به اثرات خطرناک و منابع فراوان بایستی به عنوان یکی از آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی محسوب گردد.

۷. **ذرات معلق ($PM_{2.5}$ و PM_{10})**. غلظت بالای ذرات معلق در شهرهای بزرگ ایران نظیر تهران که عمدتاً به دلیل کیفیت پایین سوخت و استاندارد خودروها می‌باشد، می‌تواند به راحتی به محیط‌های داخلی نیز راه یابد. از طرفی ذرات معلق می‌توانند منجر به بیماری‌های دستگاه تنفسی و سیستم قلبی و عروقی شوند؛ لذا ذرات معلق بایستی در لیست آلاینده‌های خطرناک محیط‌های داخلی قرار گیرند.

۲.۴ تعیین دستورالعمل برای آلاینده‌های انتخابی

در بخش قبل آلاینده‌های مهم در محیط‌های داخلی ایران به عنوان گام اول بهبود کیفیت هوای محیط‌های داخلی، انتخاب گردیدند. با توجه به مطالب بیان شده در فصل سوم این سند و با استناد به داده‌های منتشر شده توسط سازمان بهداشت جهانی به عنوان یکی از معتبرترین مراجع جهان در زمینه بررسی آلاینده‌های هوا، مقادیر دستورالعملی هفت آلاینده منوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن، فرمالدهید، بنزن، رادون و ذرات معلق برای محیط‌های داخلی ایران تعیین شده است. این مقادیر در جدول ۴-۱ آورده شده‌اند.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

برای انتخاب مقادیر دستورالعملی آلاینده‌های شیمیایی و ذرات معلق، مرجع اصلی سازمان بهداشت جهانی بوده است ولی در مورد آلاینده ذرات معلق به دلیل سخت‌گیرانه بودن حدود مجاز اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهانی و با توجه به این نکته که در حال حاضر غلظت ذرات معلق در محیط‌های داخلی ایران معمولاً بیش از این مقدار استاندارد است، مقادیر حدود مجاز برای ذرات معلق با توجه به اهداف موقتی سازمان بهداشت جهانی که در بخش ۸.۳.۳ معرفی گردیدند انتخاب شده‌اند. بر این اساس حدود مجاز بلندمدت و کوتاه مدت به ترتیب با توجه به جدول ۳-۱۰ و جدول ۳-۱۱ و مقادیر مربوط به سطح دوم این دو جدول، انتخاب شده‌اند. تحقیقات چندانی در زمینه غلظت آلاینده‌ها در محیط‌های داخلی ایران صورت نگرفته است ولی داده‌هایی که در حال حاضر موجود می‌باشند نشان از این دارند که به طور معمول میزان غلظت ذرات معلق در محیط‌های داخلی ایران در حدود سطح دوم اهداف موقتی سازمان بهداشت جهانی قرار می‌گیرند و به همین دلیل به عنوان نقطه شروع تعیین حدود مجاز و دستورالعمل‌ها برای ایران، این سطح انتخاب شده است.

مقادیر دستورالعملی آلاینده‌های بیولوژیکی شامل قارچ‌ها، باکتری‌ها و دو آلرژن تولید شده توسط مایت‌ها نیز در جدول ۴-۲ آورده شده است. در مورد آلاینده‌های بیولوژیکی نیز همانطور که در فصل سوم توضیح داده شد، حدود مجازی بر اساس تاثیرات این مواد بر روی سلامتی انسان، با توجه به اطلاعات ناکافی، توسعه داده نشده است ولی بر اساس تحقیقات و آزمایش‌های صورت گرفته در محیط‌های داخلی، میزان غلظت این آلاینده‌ها به صورت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده‌اند. این طبقه‌بندی‌ها برای قارچ، باکتری و آلرژن‌های تولیدی توسط مایت‌های گرد و غبار خانگی به ترتیب در جدول ۳-۱۲، جدول ۳-۱۳ و جدول ۳-۱۴ آورده شده است. برخی کشورها نظیر امارات نیز حدود مجاز این آلاینده‌ها در محیط‌های داخلی را بر اساس همین اطلاعات تنظیم نموده‌اند. به عنوان اولین گام در تعیین حدود مجاز آلاینده‌های بیولوژیکی برای محیط‌های داخلی ایران، مقادیر غلظت مربوط به طبقه متوسط انتخاب شده‌اند.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

به منظور تعیین دقیق رطوبت، دما و سرعت هوای مناسب در محیط های داخلی بایستی به استانداردهای معتبر نظیر استاندارد ASHRAE 55 مراجعه نمود که توضیحاتی در این زمینه در بخش **Error! Reference source not found.** آورده شده است. اما می توان حدود مجاز دما و رطوبت را به صورت حدودی برای فصل های سرد و گرم سال تعیین نمود که بر این اساس مقادیر دستورالعملی دما و رطوبت نیز به تفکیک فصل های سرد و گرم سال در جدول ۳-۴ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱ مقادیر دستورالعملی آلاینده های داخلی شیمیایی و ذرات منتخب برای ایران

غلظت مجاز			مدت زمان مجاورت	آلاینده	
Bq/m3	µg/m3	mg/m3			
		۳۵	۱ ساعت	مونوکسید کربن (CO)	
		۱۰	۸ ساعت		
		۷	۲۴ ساعت		
	۲۰۰		۱ ساعت	دی‌اکسید نیتروژن (NO2)	
	۴۰		سالانه		
	۱۰۰		۸ ساعت	اوزن (O3)	
	۱۰۰		۳۰ دقیقه	فرمالدهید (CH2O)	
	۱۰۰		سالانه		
غلظت باید تا حد ممکن کاهش یابد.				بنزن (C6H6)	
۱۰۰			کمینه	رادون (Rn)	
۳۰۰			بیشینه		
	۱۰۰		۲۴ ساعت	PM10	ذرات معلق
	۵۰		سالانه		
	۵۰		۲۴ ساعت	PM2.5	
	۲۵		سالانه		



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۲-۴ مقادیر دستورالعملی آلاینده های بیولوژیکی برای ایران

حدود مجاز		آلاینده	
$\mu\text{g/g dust}$	CFU/m ³		
	۵۰۰	کپک و قارچ	
	۵۰۰	باکتری	
۱۵		آلرژن Der p I	ماییت
۱۵		آلرژن Der f I	

جدول ۳-۴ مقادیر دستورالعملی دما و رطوبت

رطوبت نسبی (%)	دما (°C)	فصل
۴۰-۶۵	۲۳-۲۶	تابستان
۳۰-۵۰	۲۰-۲۴	زمستان

فصل پنجم

مقدمه‌ای بر اندازه‌گیری پارامترهای

هوای داخلی



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۵ مقدمه‌ای بر اندازه‌گیری پارامترهای هوای داخلی

در این فصل به بررسی دستگاه‌های موجود برای اندازه‌گیری میزان غلظت آلاینده‌ها در محیط‌های داخلی پرداخته خواهد شد. قبل از معرفی انواع مختلف دستگاه‌ها، بایستی مطالبی در مورد پارامترهای مورد نظر و نحوه اندازه‌گیری آن‌ها بیان گردد. آلاینده‌ها و پارامترهای مهم در محیط‌های داخلی در فصل‌های ۲، ۳ و ۴ معرفی شده و مقدار دستورالعملی و مجاز هر یک نیز بیان شده است. در اینجا به صورت خلاصه این آلاینده‌ها و پارامترها دوباره معرفی می‌شوند.

۱.۵ پارامترها و آلاینده‌های مهم در محیط داخلی

آلاینده‌ها و پارامترهایی که بایستی در محیط‌های داخلی اندازه‌گیری شوند در جدول ۵-۱ نشان داده شده است.

جدول ۵-۱ انواع آلاینده‌ها و پارامترهای مهم در محیط‌های داخلی

پارامتر هوا	آلاینده بیولوژیکی	آلاینده شیمیایی
دما	قارچ	منوکسید کربن
رطوبت	باکتری	دی‌اکسید نیتروژن
سرعت هوا	ماییت	ازن
		فرمالدهید
		بنزن
		رادون
		ذرات معلق

۲.۵ مدت زمان اندازه‌گیری‌ها

زمان اندازه‌گیری در حالت عادی ۸ ساعت است در حالیکه بسته به شرایط، این زمان می‌تواند متفاوت باشد. در هنگامی که اندازه‌گیری به مدت ۸ ساعت عملی نباشد، می‌توان از اندازه‌گیری‌های با زمان کم، به عنوان اندازه‌گیری



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جایگزین استفاده کرد (برای مثال ۴ نیم ساعت). طبق دستورالعمل های نمونه گیری در ساختمان های اداری، مدت زمان اندازه گیری باید در بین ساعات اداری باشد. در ارتباط با فروشگاه ها نیز، باید بدترین حالت را (وقتی که تعداد افراد حاضر در فروشگاه به حداکثر می رسد) در نظر گرفت [۸۸].

۳.۵ تعداد نقاط اندازه گیری

مقادیر پیشنهادی مربوط به کمترین تعداد نقاط اندازه گیری در جدول ۵-۲ آورده شده است [۸۸]. آزمایشگر می تواند براساس نظر شخصی و تجربه ای که دارد (اگر نیاز به آزمایش بیشتر بود)، تعداد نقاط آزمایش را افزایش دهد. اندازه گیری کیفیت هوای بیرون، به تبیین ارتباط میان کیفیت پایین هوای بیرون و کیفیت هوای داخل، کمک خواهد کرد؛ در نتیجه باید اطلاعات هوای بیرون به موازات اطلاعات هوای محیط داخلی، بررسی شود. حداقل یک نمونه گیری باید انجام شود. دستگاه نمونه گیر باید ۱ متر بالاتر از ورودی هوای تازه و در فضایی نگهداری شود که از نور خورشید و رطوبت به دور باشد. دیگر نقاط نیز (اگر نقطه ورودی هوا در دسترس نباشد)، می توانند به عنوان نقطه اندازه گیری انتخاب شوند.

جدول ۵-۲ تعداد نقاط لازم برای نمونه گیری

مساحتی که سیستم تهویه آن را پوشش می دهد (متر مربع)	کمترین تعداد نقاط اندازه گیری
کوچکتر از ۳۰۰۰	۱ (به ازای هر ۵۰۰ متر مربع)
۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰	۸
۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰	۱۲
۱۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰	۱۵
۱۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰	۱۸
۲۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰	۲۱
بیش از ۳۰۰۰۰	۱ (به ازای هر ۱۲۰۰ متر مربع)

۴.۵ مکان‌های اندازه‌گیری در محیط‌های داخلی

به دلیل اینکه کیفیت هوای محیط‌های داخلی به کیفیت سیستم تهویه، مستعد بودن افراد حاضر در محیط به بیماری و تهدیدهای ممکن (ناشی از تراکم افراد و نوع فعالیت آنها در محیط) وابسته است، باید نقاط اندازه‌گیری از میان نقاط زیر انتخاب شوند [۸۸].

- محدوده‌هایی که سیستم تهویه در آنها وجود دارد؛
- محدوده‌های مورد شکایت؛ و
- نواحی که در آنها تراکم جمیت، بسیار کم یا بسیار زیاد است.

در هنگام جمع‌آوری اطلاعات، دستگاه‌های اندازه‌گیری باید با توجه به دستورالعمل زیر در محل قرار گیرند:

- ۱- داشتن فهم درست از فعالیت انجام شده در محل مورد نظر؛
- ۲- فعالیت کمتر در ناحیه اندازه‌گیری؛
- ۳- فاصله حداقل ۰/۵ متر از پنجره و یا گوشه دیوار؛
- ۴- فاصله حداقل ۰/۵ متر از دیوار، پارتیشن و یا هر جزء عمودی؛
- ۵- قرار نگرفتن در مقابل سیستم تهویه، فن، کولر و دیگر سیستم‌های موثر در تهویه هوا؛
- ۶- قرار نگرفتن در زیر نور مستقیم خورشید؛
- ۷- قرار نگرفتن در راهروها و مکان‌های عبوری (ترجیحا)؛
- ۸- فاصله حداقل ۱ متر از منابع تولید کننده آلودگی مانند فتوکپی، پرینتر و محل سیگار کشیدن؛
- ۹- فاصله حداقل ۳ متر از آسانسور (اگر از راه عبوری و یا لابی نمونه‌گیری شود)؛
- ۱۰- فاصله حداقل ۲ متر از در ورودی؛
- ۱۱- مسدود نکردن راه توسط وسیله اندازه‌گیری؛ و
- ۱۲- فاصله حداقل ۱/۱ متر از کف زمین برای ورودی سیستم‌های نمونه‌گیری.



اندازه‌گیری نباید در فضاهای بسته و یا در نقاطی از ساختمان که دارای سیستم تهویه نمی‌باشد (مانند اتاق انباری)، انجام شود.

۵.۵ روش‌های اندازه‌گیری

در ادامه به بررسی روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای موثر در کیفیت هوای محیط‌های داخلی، پرداخته شده است.

۱.۵.۵ نمونه‌گیری در لحظه^۱

داده‌های اندازه‌گیری شده توسط سیستم‌های در لحظه باید هر ۵ دقیقه به‌روز شده و در دستگاہی که این اطلاعات را ضبط می‌کند، به صورت کامل ذخیره شوند. وضعیت خود سیستم اندازه‌گیری نیز باید در این نوع داده‌ها ذکر شود تا از صحت داده‌ها اطمینان حاصل گردد.

۲.۵.۵ نمونه‌گیری جامع

قبل از نمونه‌گیری باید برای هر نمونه، یک کد یکتا (مخصوص همان نقطه) در نظر گرفت. این کد نشان دهنده نوع نمونه، مکان اندازه‌گیری و اولیه یا ثانویه بودن نمونه می‌باشد. اطلاعات در مورد نحوه اندازه‌گیری مانند زمان‌های اندازه‌گیری، شرایط اندازه‌گیری، نام شخص اندازه‌گیر و اطلاعات مفید دیگر، می‌توانند همراه نمونه ذخیره و ضبط شوند.

بعد از اندازه‌گیری، باید نمونه و دیگر وسایل درگیر نمونه‌گیری مانند لوله‌ها و فیلترها، جمع‌آوری شده و بر اساس توصیه شرکت سازنده، مورد آزمایش قرار گیرند. بهتر است این آزمایش‌ها در فاصله کمتر از ۵ روز بعد از اندازه‌گیری انجام شود. علاوه بر این باید در هنگام جمع‌آوری، جابه‌جایی و مورد آزمایش قرار دادن نمونه، احتیاط‌های لازم را

^۱ Real-time monitoring data



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

انجام داد تا از صحت داده‌ها اطمینان به دست آید. برای نمونه‌های شامل باکتری، باید کمتر از ۲۴ ساعت این نمونه‌ها را به آزمایشگاه رسانده و مورد بررسی قرار داد. معیارهای سنجش کیفیت هوای محیط‌های داخلی به دو بخش پایه‌ای تقسیم می‌شوند: راحتی و سلامتی.

۶.۵ راحتی و بهره‌وری

مساله راحتی یکی از راه‌های اندازه‌گیری رضایت شخص در محیط‌های داخلی است، که به آسانی می‌تواند بر روی بهره‌وری و هزینه‌های ناشی از آن تاثیر بگذارد. راحتی پدیده‌ای است که از دو بخش فیزیکی و روانی تشکیل شده است و نسبت به هر فرد می‌تواند متفاوت باشد. راحتی افراد، وابسته به موارد زیادی از قبیل لباس، میزان و نوع فعالیت و محیط فیزیکی پیرامون شخص می‌باشد.

از جمله موارد قابل اندازه‌گیری و تاثیرگذار در راحتی شخص، می‌توان به دما، رطوبت، سرعت هوا، تهویه، لرزش و صداهای موجود در محیط اشاره کرد. همچنین عوامل غیر قابل اندازه‌گیری خاصی وجود دارند که تاثیر به‌سزایی در راحتی شخص دارند. از جمله این موارد می‌توان به میزان درخشش نور، رایحه‌ها، چینش فضای داخلی محیط و نزدیکی به محیط‌های دیگر اشاره کرد. حتی استرس‌های موجود در فضای کار نیز، می‌تواند در حس آرامش شخص موثر باشد.

در این سند به بررسی روش‌های اندازه‌گیری مختلف که به‌طور معمول برای سنجش راحتی فرد به کار گرفته می‌شوند، پرداخته شده است. برای اینکه وسایل اندازه‌گیری، اعداد را در وضعیت تعادل گزارش کنند باید به آن‌ها فرصت کافی برای اندازه‌گیری داد. اگر به صورت ناگهانی، تغییر مکانی از محیط گرم به محیطی سرد رخ دهد و به سرعت دمای محیط اندازه‌گیری شود، این اندازه‌گیری و دقت اعداد گزارش شده، در اغلب اوقات قابل اطمینان نخواهد بود.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱.۶.۵ اندازه‌گیری دما

دما یکی از مهمترین پارامترها است که در تعیین کیفیت هوای محیط‌های داخلی، تاثیرگذار می‌باشد. دما تاثیر مستقیم در راحتی و بهره‌وری دارد. محدوده دما برای ایران در جدول ۳-۵ آورده شده است.

جدول ۳-۵ مقادیر دستورالعملی دما و رطوبت در ایران

فصل	دما (°C)	رطوبت نسبی (%)
تابستان	۲۳-۲۶	۴۰-۶۵
زمستان	۲۰-۲۴	۳۰-۵۰

۱.۱.۶.۵ نحوه اندازه‌گیری

اندازه‌گیری باید به صورت مداوم از نقاط مختلف ساختمان صورت پذیرد، تا اطمینان حاصل شود که دمای هوا به صورت یکنواخت در سرتاسر ساختمان ثابت می‌باشد.

۲.۶.۵ اندازه‌گیری رطوبت

رطوبت کم باعث می‌شود تا اشخاص حاضر در محیط احساس خشکی روی پوست داشته باشند، در حالی که رطوبت بیش از حد نیز، احساس چسبناک بودن را به افراد حاضر در محیط می‌دهد. حدود دستورالعملی رطوبت ایران نیز برای محیط‌های داخلی در جدول ۳-۵ نشان داده شده است.

۱.۲.۶.۵ نحوه اندازه‌گیری

رطوبت را می‌توان از راه‌های مختلفی اندازه‌گیری کرد، ولی رطوبت معمولاً از طریق رطوبت نسبی، دمای حباب خشک و تر، نسبت رطوبت و رطوبت مطلق اندازه‌گیری می‌شود. توسط هر کدام از این روش‌های اندازه‌گیری، باید بتوان با اندازه‌گیری مرتب و در نقاط مختلف ساختمان، از توزیع مناسب و یکنواخت رطوبت اطمینان حاصل کرد. استاندارد ASHRAE 55 [۸۹]، دما و رطوبت نسبی را برای مشخص کردن محدوده راحتی، به هم ارتباط می‌دهد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران

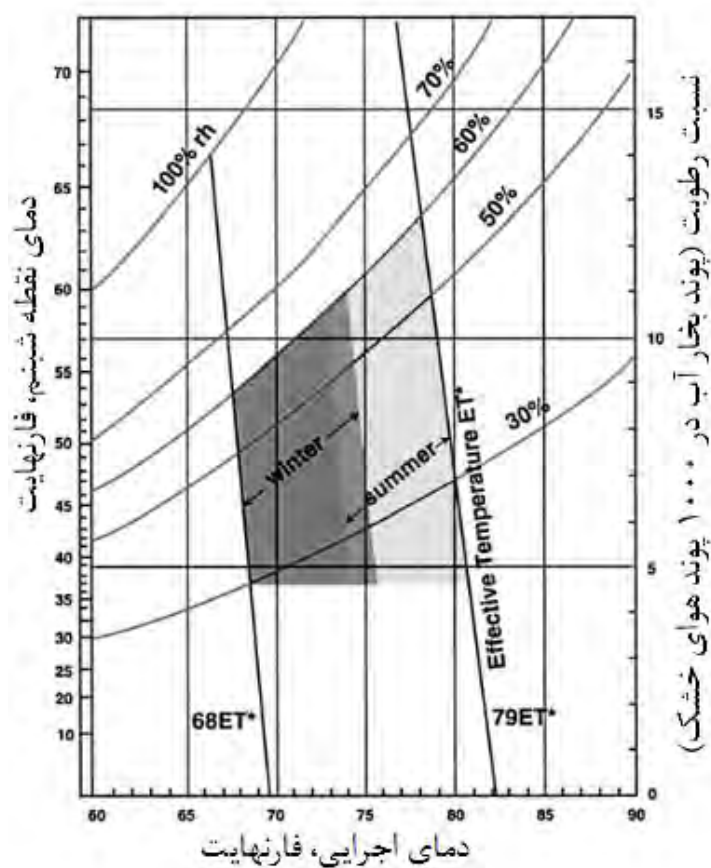


شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

هدف، رسیدن به احساس راحتی در هوای محیط های داخلی، با مصرف کمترین انرژی می باشد. محدوده راحتی با توجه به فصل های مختلف و با توجه به میزان پوشش افراد به ترتیب در شکل ۵-۱ و شکل ۵-۲ نشان داده شده است. این نمودارها با توجه به اطلاعات آماری به دست آمده اند.



شکل ۵-۱ محدوده راحتی در زمستان و تابستان



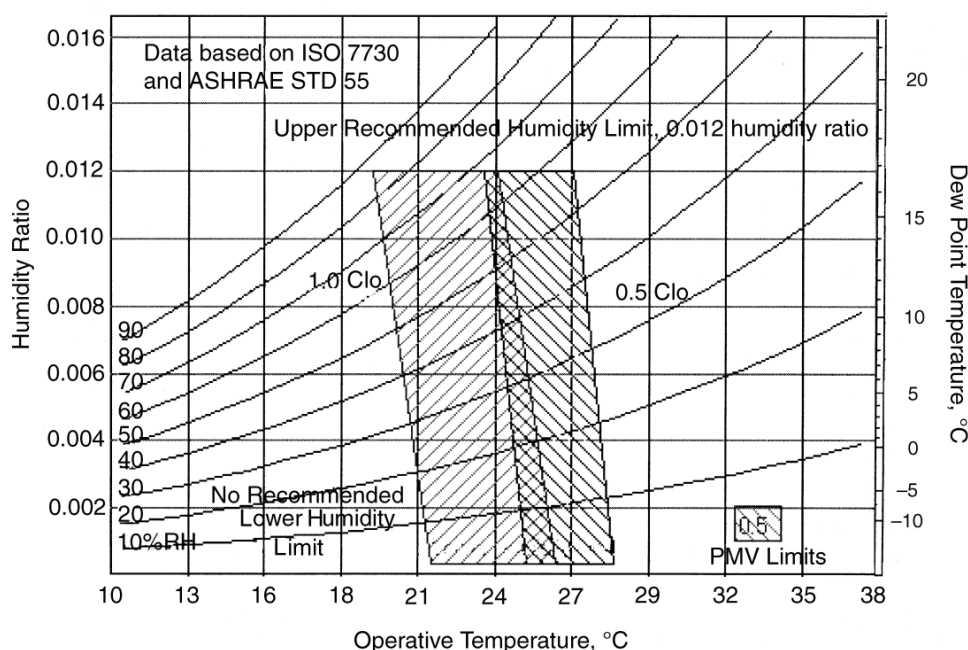
معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۵-۲ محدوده راحتی با توجه به میزان پوشش افراد

۳.۶.۵ اندازه گیری سرعت جریان هوا

یکی از مهمترین پارامترها که از آن برای بررسی کیفیت هوای محیط های داخلی استفاده می شود، سرعت هوا می باشد. سرعت هوا به این دلیل بررسی می شود که بتوان از ورود مقدار کافی هوا به محیط اطمینان حاصل کرد. سرعت زیاد هوا باعث به وجود آمدن حس سرما و سرعت کم باعث ایجاد حس گرفتگی و خفگی می شود.

۱.۳.۶.۵ نحوه اندازه گیری

اندازه گیری سریع و به موقع در نقاط ورود هوا به محیط داخلی، می تواند این اطمینان را حاصل کند که مقدار مناسبی از هوا در حال ورود به اتاق است و راه آن مسدود نشده است. سرعت هوا هم چنین نمایانگر پخش و یا عدم پخش یکنواخت هوا در نقاط مختلف ساختمان می باشد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۴.۶.۵ اندازه گیری حجم هوا

استاندارد ASHRAE 62 [۷۸]، نیازمندی افراد به هوای تازه را بر اساس نوع فعالیت و فضای موجود (متر مکعب بر دقیقه)، مشخص کرده است. طبق این استاندارد، باید درصد هوای تازه بیرون در سیستم تهویه مشخص شود. از این طریق، می توان مقدار جریان هوای تازه را به دست آورد. هوای تازه نقش به سزایی در تعیین کیفیت هوای داخل اتاق دارد، به گونه ای که با افزایش جریان هوای تازه می توان غلظت آلودگی های تولید شده در محیط های داخلی را کاهش داد. همچنین، اگر هوای بیرون آلوده باشد با افزایش حجم هوای ورودی آلودگی بیشتری به فضای داخلی منتقل می شود که این خود اهمیت اندازه گیری دقیق این پارامتر را آشکار می کند.

۱.۴.۶.۵ نحوه اندازه گیری

در بیشتر موارد، سرعت در سطح مقطع یک کانال هوا یکنواخت نیست. شکل کانال، زاویه ها و اصطکاک دیواره، بر روی جریان هوا تاثیر می گذارند. معمولاً سرعت در وسط کانال بیشتر از گوشه های آن می باشد. می توان میانگین سرعت در کانال های مستطیلی و دایره ای را، با استفاده از روش لگاریتمی چبیشف^۱ به دست آورد که در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. اندازه گیری سرعت در یک کانال مستطیلی، حداقل باید در ۲۵ نقطه انجام شود و برای کانال های دایره ای این عدد به شش می رسد. به منظور داشتن دقت بالا، اندازه گیری باید حداقل در فاصله ۷/۵ برابر قطر از پایین دست و ۳ قطر از بالادست هر نوع اغتشاشی نظیر زانویی و ونتوری صورت پذیرد. اطلاعات بیشتر در استاندارد ASHRAE 111 موجود است [۹۰].

^۱ The log-Tchebycheff method



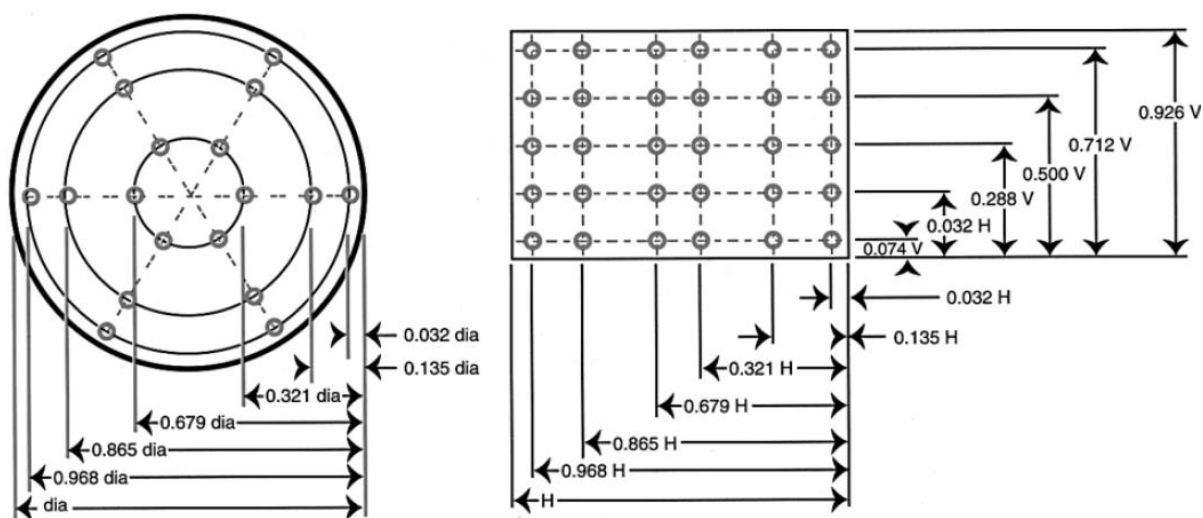
معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۵-۳ تعداد نقاط اندازه گیری و محل آن ها طبق روش چبیشف [۹۰]

برای به دست آوردن حجم جریان عبوری، باید سرعت میانگین در مساحت سطح مقطع ضرب شود. برای مثال از یک کانال ۲ فوت در ۲ فوت، با سرعت میانگین هوای ۱۵۰ فوت در دقیقه، ۶۰۰ فوت مکعب در دقیقه هوا عبور می کند. یک نمونه از اندازه گیری سرعت هوای کانال در شکل ۵-۴ نشان داده شده است. کیچر هود نیز می تواند در اندازه گیری حجم هوای عبوری کارساز باشد. این وسیله که می تواند با سرعت و دقت بالا به صورت لحظه ای اندازه گیری را انجام دهد در شکل ۵-۵ نشان داده شده است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۴-۵ اندازه گیری سرعت هوای کانال



شکل ۵-۵ کپچر هود هوا



۵.۶.۵ اندازه‌گیری تهویه

استفاده از هوای جدید در سیستم تهویه، باعث رقیق‌سازی ذرات معلق ناخواسته در هوا می‌شود و می‌توان آن‌ها را سریع‌تر از ساختمان خارج کرد. استاندارد ASHRAE، مجموعه‌ای از توصیه‌ها (پیرامون میزان هوای تازه و تهویه مربوط به آن) را در مقایسه با فضای مورد نیاز در اختیار داده و حداقل میزان هوای تازه لازم برای شخص در شرایط کاری و فضای موجود را مشخص کرده است.

۱.۵.۶.۵ نحوه اندازه‌گیری

یکی از نشانه‌های خوب جهت سنجش میزان تهویه یک مجموعه، مقدار دی‌اکسید کربن موجود در هوا می‌باشد. دی‌اکسید کربن از طریق تنفس، سوختن و فعالیت‌های احتراقی تولید می‌شود. افزایش میزان دی‌اکسید کربن نمایانگر این است که سیستم، نیازمند تهویه بیشتر می‌باشد. استاندارد ASHRAE 62 توصیه می‌کند که مقدار دی‌اکسید کربن نباید تا ۷۰۰ پی‌پی‌ام بیشتر از هوای آزاد بیرون، که معمولاً در حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ پی‌پی‌ام است، باشد. در شرایط عادی، افزایش میزان دی‌اکسید کربن معمولاً بسیار کم خطر است تا جایی که ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام نیز، بدون هیچ عارضه‌ای توسط شخص سالم تحمل می‌شود [۷۸].

اندازه‌گیری باید در نقاط مختلف ساختمان انجام شود (در ارتفاعات متفاوت و در ناحیه توزیع هوا)، تا از تهویه مجموعه اطمینان حاصل گردد. میزان هوایی که از بیرون ساختمان وارد مجموعه می‌شود، معمولاً به صورت درصدی از کل هوای موجود بیان می‌شود. این محاسبات می‌تواند از طریق دما یا میزان دی‌اکسید کربن انجام شود. سه پارامتر زیر از پارامترهای تاثیرگذار در اندازه‌گیری تهویه می‌باشند:

- هوای بازگشتی^۱ (RAM)؛

^۱ Return Air Measurement (RAM)



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- هوای تامین شده^۱ (SAM)؛ و
- هوای بیرون^۲ (OAM).

رابطه زیر ارتباط بین این سه پارامتر را بیان می کند:

$$\text{درصد هوای بیرون} = \frac{RAM - SAM}{RAM - OAM} \times 100 \quad (۱)$$

این گونه محاسبات برای سنجش کیفیت هوای محیط های داخلی، می تواند هم برای دی اکسید کربن و هم برای دما انجام شود. بسیاری از دستگاه های اندازه گیری با ضبط داده ها در مدت زمان طولانی، به تغییرات ناگهانی در سیستم واکنش نشان داده و این اتفاق را به اپراتور و یا سیستم تهویه گزارش می دهند.

وقتی که میزان حجم جریان عبوری به دست آورده شود، با ضرب این عدد در درصد هوای بیرون، میزان هوای بیرون ورودی برای این مجموعه به دست می آید. قدم بعدی، تقسیم این حجم بر تعداد نفرات حاضر در این مجموعه می باشد، تا میزان حجم جریان هوای بیرون برای هر شخص مشخص شود. چند نمونه از مقادیر استاندارد هوا برای مکان های مختلف در جدول ۴-۵ آورده شده است [۷۸].

جدول ۴-۵ مقدار هوای بیرونی لازم برای مکان های مختلف [۷۸]

مصارف	هوای بیرون برای هر نفر (فوت مکعب)
محل غذاخوری	۷/۵
فضای اداری	۵
اتاق کنفرانس	۵
کلاس درس مدرسه	۱۰
آزمایشگاه مدرسه	۱۰
تئاتر و اپرا	۱۰
کتابخانه	۵

^۱ Supply Air Measurement (SAM)

^۲ Outside Air Measurement (OAM)



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۷.۵ سلامتی و ایمنی

بسیاری از آلاینده‌های موجود در هوا می‌توانند سلامت انسان را تهدید کنند. شرایط ناسالم کیفیت هوای محیط‌های داخلی، زمانی رخ می‌دهد که غلظت بخار، گاز و یا ذرات در هوا به حدی رسیده باشد که بتواند بر روی افراد تاثیر منفی بگذارد. انسان توسط موادی که به‌طور بالقوه سمی، عفونی، آلرژی‌زا، آزاردهنده و مضر می‌باشند، احاطه شده است. معمولا غلظت آن‌ها ناچیز و به اصطلاح زیر آستانه خطر است. مشکلات وقتی آغاز می‌شود که غلظت آن‌ها از این آستانه، بیشتر شود. حتی در غلظت‌های نسبی پایین، بعضی افراد نسبت به برخی مواد بسیار حساس هستند. در موارد بسیار حاد، ممکن است غلظت زیاد برای همه افراد کشنده باشد. حضور مواد آلاینده و خطرناک موجود در هوا، از اهمیت بالایی برخوردار است و باید قبل از این که مشکلات ناشی از آن‌ها از کنترل خارج شود، به آن‌ها رسیدگی شود.

فصل ششم

روش‌های رایج اندازه‌گیری غلظت گازها



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۶ روش‌های رایج اندازه‌گیری غلظت گازها

فناوری‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری و شناسایی گازها توسعه داده شده است. برخی از این روش‌ها کاربرد بیشتری در ساخت دستگاه‌های پایش کیفیت هوا دارند که در فصل جاری این فناوری‌ها معرفی می‌گردند.

۱.۶ فناوری‌های پرکاربرد برای اندازه‌گیری گازها

دسته‌بندی‌های متنوعی برای حسگرهای گازی وجود دارد. به طور نمونه می‌توان حسگرهای گازی را به صورت زیر دسته‌بندی نمود [۹۱]:

- حسگرهای گازی نیمه‌هادی اکسیدی؛
- حسگرهای گازی اکسید فلز نیمه‌هادی نازک؛
- حسگرهای گازی نیمه‌هادی بر اساس فیلم ضخیم SnO_2 ؛
- حسگرهای گازی کاتالیستی؛
- حسگرهای گازی نیمه‌هادی ارگانیک؛
- حسگرهای گازی اثرات میدانی؛
- حسگرهای گازی موج‌های آکوستیک؛
- حسگرهای گازی نوری؛ و
- حسگرهای گازی الکتروشیمیایی.

در ادامه سه نوع حسگر که کاربرد زیادی در دستگاه‌های پایش کیفیت هوا داشته و برای اندازه‌گیری غلظت گازهای آلاینده در محیط‌های داخلی نیز استفاده می‌شوند، به طور مفصل‌تری توضیح داده شده است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱.۱.۶ حسگرهای الکتروشیمیایی^۱

حسگرهای گاز الکتروشیمیایی نوعی آشکارگرهای گاز هستند که غلظت یک گاز هدف را از طریق اکسیداسیون یا کاهش گاز هدف بر روی یک الکتروود و اندازه گیری جریان حاصل، مشخص می کنند.

۱.۱.۱.۶ ساخت

حسگرهای الکتروشیمیایی معمولاً شامل دو یا سه الکتروود، و در برخی موارد چهار الکتروود، هستند که در تماس با یک الکتروولیت می باشند. الکتروودها معمولاً از طریق اتصال یک سطح فلزی گرانبها بر روی غشای هیدروفوبیک متخلخل^۲ ساخته می شود. الکتروود کاری هم با الکتروولیت و هم با هوایی که باید پایش شود، از طریق یک غشای متخلخل، در تماس است. معمولاً از یک اسید معدنی به عنوان الکتروولیت استفاده می شود اما الکتروولیت های ارگانیک نیز برای برخی حسگرها استفاده می شوند. الکتروودها و غلاف ها معمولاً در یک غلاف پلاستیکی که شامل مدخل ورودی گاز است، قرار دارند.

۲.۱.۱.۶ اصول عملکرد

حسگرهای الکتروشیمیایی از طریق واکنش با گاز مورد نظر و تولید یک سیگنال الکتریکی که متناسب با میزان غلظت گاز است، عمل می کنند. یک حسگر الکتروشیمیایی شامل یک الکتروود سنجش^۳ (یا الکتروود کاری) و یک الکتروود مخالف هستند که توسط یک لایه نازک الکتروولیت جدا شده اند. شماتیکی از یک حسگر الکتروشیمیایی در شکل ۱-۶ نشان داده شده است.

^۱ Electrochemical sensors

^۲ Porous hydrophobic membrane

^۳ Sensing electrode



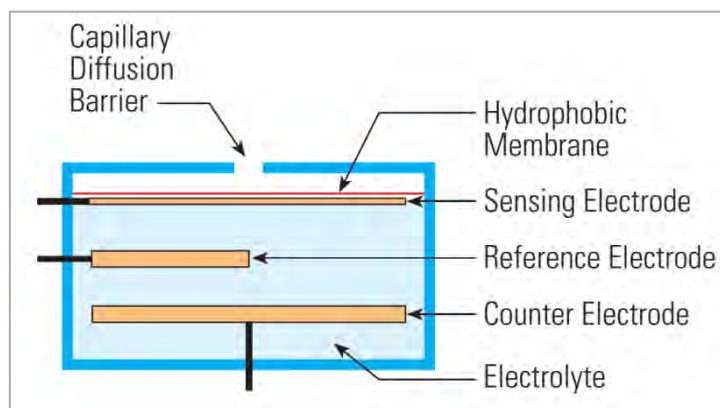
معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۶-۱ یک حسگر الکتروشیمیایی

گازی که در تماس با حسگر قرار می گیرد، ابتدا از یک دریچه مویرگی مانند^۱ کوچک عبور کرده و سپس بر روی یک مانع هیدروفوبیک^۲ دیفیوز کرده و در نهایت به سطح الکتروود می رسد. این روش به منظور واکنش مقدار مناسبی از گاز در الکتروود سنجش برای تولید سیگنال الکتریکی کافی و همچنین جلوگیری از نشت الکتروولیت از حسگر اتخاذ شده است. این موضوع در شکل ۶-۲ نشان داده شده است.

^۱ Capillary-type opening

^۲ Hydrophobic barrier



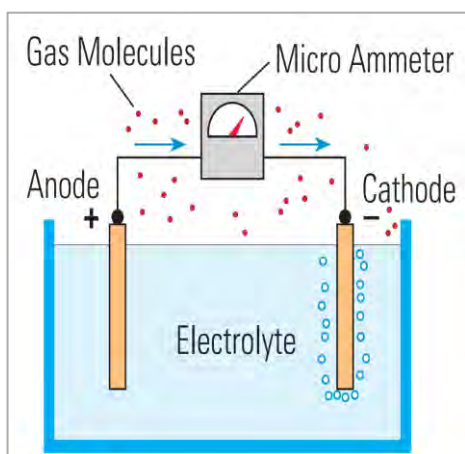
معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



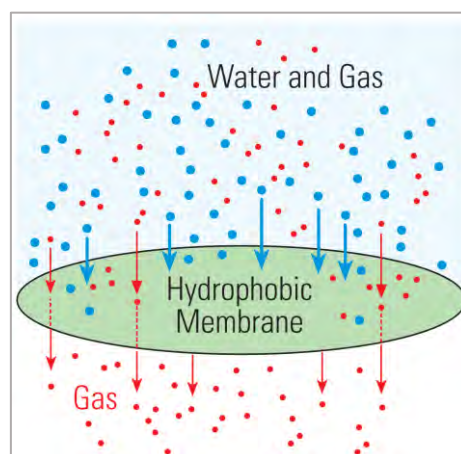
شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۳-۶ تولید جریان در حسگر الکتروشیمیایی



شکل ۲-۶ غشای هیدروفوبیک از نشت الکترولیت جلوگیری می نماید.

گازی که از طریق مانع دیفیوژ می نماید، در سطح الکتروود سنجش واکنش می دهد که شامل هر دو فرآیند اکسایش و کاهش می باشد. این واکنش ها از طریق جنس الکتروود انتخاب شده برای گاز مورد نظر، تسریع خواهد شد.

از طریق مقاومتی که میان الکتروودها نصب شده است، یک جریان الکتریکی متناسب با میزان غلظت گاز بین آند و کاتد برقرار می شود. این جریان می تواند به منظور تعیین میزان غلظت گاز استفاده شود. این مکانیزم در شکل ۳-۶ نشان داده شده است.

مقدار جریان الکتریکی از طریق مقدار گاز هدف اکسید شده بر روی الکتروود کاری، کنترل می شود. حسگرها معمولاً طوری طراحی می شوند که تامین گاز از طریق فرآیند دیفیوژن (پخش) محدود می شود و بنابراین خروجی حسگر به صورت خطی متناسب با میزان غلظت گاز است. همین خروجی خطی حسگرهای الکتروشیمیایی یکی از مزیت های اصلی این حسگرها نسبت به سایر فناوری ها (نظیر مادون قرمز) است. در سایر فناوری ها برای استفاده از حسگر، ابتدا باید خروجی آن خطی شود. یک خروجی خطی اندازه گیری دقیق تری را در غلظت های پایین به دست می دهد و کالیبراسیون راحت تری نیز دارد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

فرآیند کنترل شده توسط دیفیوژن، فایده دیگری نیز دارد. از طریق تغییر «مانع دیفیوژن»^۱، سازنده حسگر می تواند حسگر را مناسب محدوده غلظت مشخصی از گاز هدف، نماید. علاوه بر این از آنجا که مانع دیفیوژن مکانیکی است، کالیبراسیون حسگر در طول زمان پایداری بیشتری خواهد داشت و بنابراین وسایلی که بر مبنای حسگرهای الکتروشیمیایی هستند نسبت به سایر فناوری های آشکارگر نیاز به نگهداری و تعمیرات کمتری دارند. برای محاسبه حساسیت حسگرها نیز می توان از خواص دیفیوژن گاز مورد نظر استفاده نمود اما به دلیل وجود خطاهای آزمایشگاهی در محاسبه خواص دیفیوژن، استفاده از «گاز تست»^۲ برای کالیبراسیون روش دقیق تری است.

۳.۱.۱.۶ تقاطع^۳ حساسیت

برای برخی از گازها نظیر اکسید اتیلن، ممکن است مشکل تقاطع حساسیت ایجاد شود زیرا اکسید اتیلن به یک کاتالیست بسیار فعال در الکتروود کاری و پتانسیل کاری بالا برای اکسیداسیون، نیاز دارد. بنابراین گازهایی نظیر الکل ها و منوکسید کربن که بسیار راحت تر اکسید می شوند نیز واکنش نشان خواهند داد.

مشکل تقاطع حساسیت می تواند از طریق یک فیلتر شیمیایی حذف گردد. به عنوان نمونه می توان از فیلترهایی استفاده کرد که اجازه می دهند گاز هدف آزادانه عبور کند اما با سایر گازهای مزاحم واکنش داده و آن ها را حذف می نمایند.

در حالیکه حسگرهای الکتروشیمیایی فواید بسیار زیادی دارند، اما برای همه گازها مناسب نیستند. از آنجا که فرآیند شناسایی گاز در این حسگرها شامل فرآیندهای اکسایش یا کاهش است، این حسگرها معمولاً برای گازهایی که از نظر الکتروشیمیایی فعال هستند، مناسبند.

^۱ Diffusion barrier

^۲ Test gas

^۳ Interference



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

با این وجود امکان شناسایی گازهای بی اثر از طریق این روش نیز به صورت غیر مستقیم امکان پذیر است اگر گاز در حسگر با یک گونه شیمیایی دیگر واکنش نشان داده و سپس یک پاسخ تولید نماید [۹۲]. حسگرهای دی اکسید کربن نمونه ای از این روش شناسایی می باشند و سالیان زیادی به صورت تجاری در دسترس هستند.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۱.۶ حسگرهای مادون قرمز

حسگر گاز مادون قرمز یک فناوری به خوبی توسعه یافته است. حسگرهای گاز مادون قرمز به پیچیدگی و گران قیمت بودن مشهور هستند. با این وجود، پیشرفت های تکنیکی اخیر، نظیر تقویت کننده های قدرتمند و تجهیزات الکترونیکی مربوطه، یک افق جدید برای این حسگرها باز نموده است. این پیشرفت ها به دلیل افزایش تقاضا در بخش تجاری بوده است.

گازهایی که بایستی شناسایی شوند اغلب خورنده و فعال هستند. در بیشتر انواع حسگرها، حسگر به طور مستقیم در معرض گاز است که منجر به کاهش عمر حسگر و خرابی زودرس آن می شود. ویژگی و مزیت اصلی دستگاه های مادون قرمز آن است که به طور مستقیم در تماس با گاز نمی باشند و مولکول های گاز تنها با اشعه نور تعامل دارند. تنها سلول نمونه و اجزای مرتبط با آن به طور مستقیم در معرض جریان گاز هستند. این اجزا می توانند به منظور مقاومت در برابر خوردگی، بهبود بخشیده شوند و همچنین طوری طراحی شوند تا برای عملیات تعمیر یا تعویض به راحتی قابل جدا شدن باشند.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۴-۶ یک نمونه حسگر گاز مادون قرمز

امروزه دستگاه های مادون قرمز بسیاری برای محدوده وسیعی از کاربردها در دسترس هستند. بسیاری از آن ها طراحی ساده، قوی و قابل اطمینانی دارند. در حالت کلی برای کاربردهای پایش گازهای سمی و قابل اشتعال، دستگاه های مادون قرمز بسیار مناسب بوده و کمترین میزان تعمیرات و نگهداری را نیاز دارند. گازهایی که مولکول های آن ها شامل دو یا تعداد بیشتری اتم غیر یکسان هستند، تابش مادون قرمز را به شکل یکتایی جذب کرده و با استفاده از فناوری مادون قرمز قابل شناسایی هستند. حسگرهای مادون قرمز حساسیت بالایی داشته و محدوده بسیار وسیعی از غلظت ها را پوشش می دهند.

۱.۲.۱.۶ اصول عملکرد

اصول شناسایی مادون قرمز تنها بخش کوچکی از طیف بسیار وسیع الکترومغناطیس را شامل می شود. بخشی که مورد استفاده قرار می گیرد، در واقع بخشی است که انسان به صورت گرما می تواند حس کند. این محدوده به قسمتی از طیف الکترومغناطیس که چشم انسان قادر به رویت آن است، نزدیک است. تابش الکترومغناطیس با



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران

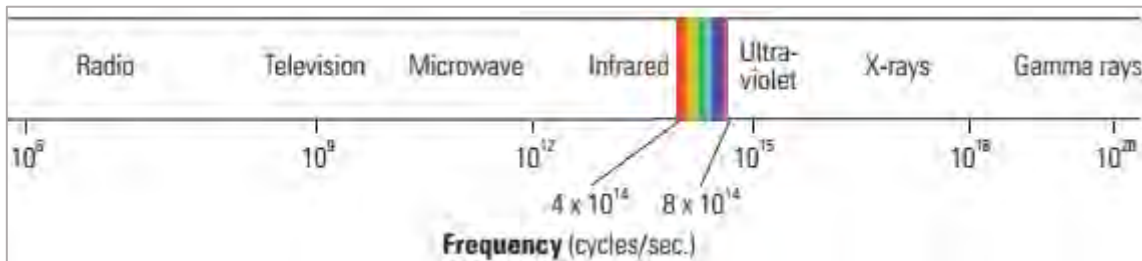


شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



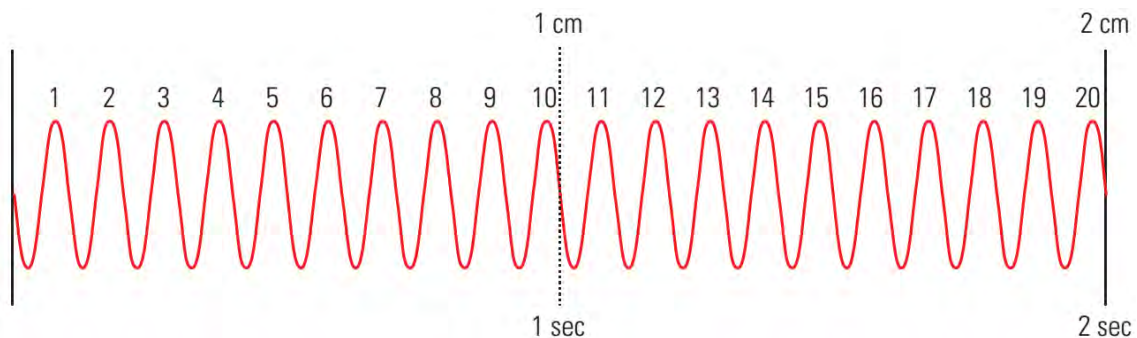
دانشگاه صنعتی شریف

سرعت نور که حدود سیصد هزار کیلومتر بر ثانیه است منتقل شده و رفتاری موج مانند دارد. به منظور آشنایی بیشتر با فیزیک تابش الکترومغناطیس بایستی برخی اصطلاحات توضیح داده شوند.



شکل ۵-۶ محدوده های مختلف در طیف الکترومغناطیس

موج: شبیه امواج اقیانوس، امواج تابشی الکترومغناطیس به صورت تناوبی نوسان می کنند. امواج مکانیکی نسبت به امواج الکترومغناطیس طول موج بزرگتری دارند. یک موج مکانیکی در شکل ۶-۶ نشان داده شده است.



شکل ۶-۶ یک موج ساده مکانیکی با فرکانس ده هرتز و طول موج یک دهم سانتیمتر (عدد موج ده)

فرکانس (بسامد): به تعداد امواج گذرنده از یک نقطه و در یک ثانیه گفته می شود. یک موج الکترومغناطیس با سرعت نور که معادل سیصد هزار کیلومتر بر ثانیه است منتقل می شود. بنابراین فرکانس آن برابر با سرعت نور تقسیم بر طول موج خواهد بود. فرکانس به صورت تعداد موج بر ثانیه یا هرتز بیان می شود.

طول موج: فاصله میان دو موج یا به عبارتی دیگر فاصله میان دو قله موج را گویند. معمولاً برای امواج الکترومغناطیس با واحد میکرون بیان می شود. این واژه برای بیان محدوده امواج جذب شده توسط مولکول های گاز و مشخصات اجزای نوری، بسیار مورد استفاده قرار می گیرد.

عدد موج: تعداد امواج در یک سانتیمتر را عدد موج گویند. عدد موج در واقع معکوس طول موج است.

میکرون: واحد رایجی است که برای بیان طول موج در محدوده مادون قرمز استفاده می شود. یک میکرون در واقع یک میلیونوم متر ($10^{-6}m$) است و با علامت یونانی μ نشان داده می شود.

گذردهی^۱: نسبت انرژی تابشی عبور کرده از جسم به کل انرژی ورودی را گویند. بخشی از انرژی که عبور نمی کند، جذب شده یا بازتاب می شود.

جذب^۲: مخالف گذردهی است و برای بیان میزان انرژی جذب شده توسط مولکول های گاز استفاده می شود. در نمودارهای طیف مادون قرمز از هر دو مقدار «درصد جذب» و «درصد گذردهی» به عنوان محور عمودی در برابر محور افقی که عدد موج یا طول موج است، استفاده می شود.

عدد موج و طول موج عبارات پرکاربردی هستند که توسط دانشمندان و به منظور توصیف ناحیه مادون قرمز برای تحلیل گازها استفاده می شوند زیرا این عبارات روش مناسبی برای بیان فرکانس تابش و مکانیزم اندرکنش میان

¹ Transmittance

² Absorbance



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران

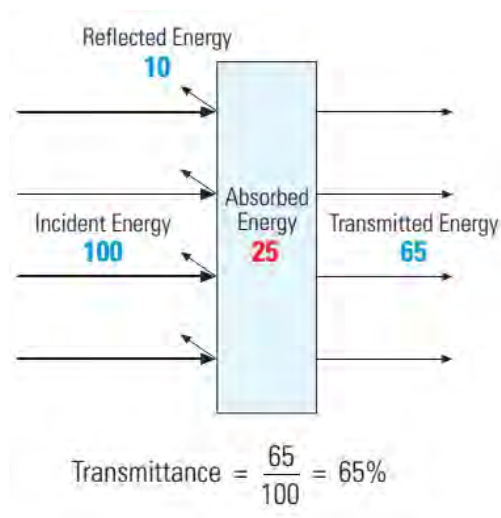


شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

تابش مادون قرمز و مولکول های گاز فراهم می نمایند. از منظر ریاضی این دو عبارت معکوس یکدیگر می باشند. به طور نمونه متان طول موج جذبی برابر با $3/4$ میکرون یا به طور معادل عدد موج جذبی برابر با 2941 بر سانتیمتر دارد.



شکل ۶-۷ نمایش مفهوم عبارات گذردهی، جذب و بازتاب

میزان پیچیدگی مولکول های گاز تعداد قله های جذب تابش را مشخص می نماید. هرچه تعداد اتم های تشکیل دهنده مولکول گاز بیشتر باشد، باندهای جذب بیشتری نیز خواهد داشت. محدوده ای که در آن جذب صورت می گیرد، میزان جذب و مشخصات خاص منحنی جذب برای هر گاز یکتاست. مولکول های گاز می توانند از طریق مشخصات جذب خود شناسایی شوند. سپس یک کتابخانه از این منحنی ها در حافظه دستگاه ذخیره می شود و پس از آنکه یک گاز توسط دستگاه بررسی می شود، منحنی آن با منحنی های ذخیره شده مقایسه گشته و از این طریق گاز شناسایی می شود. این روش شناسایی و بررسی گازها، پرتعدادترین روش در شیمی تحلیلی است.

در کاربردهای پایش گازها، تنها ناحیه خاصی برای تعیین کمی مقدار غلظت گاز مورد استفاده قرار می گیرد. طول موج در این ناحیه بین ۲ تا ۱۵ میکرون است که عدد موج آن معادل ۵۰۰۰ تا ۶۷۰ بر سانتیمتر خواهد بود. به طور نمونه منحنی طیف سنجی متان در شکل ۶-۸ نشان داده شده است.



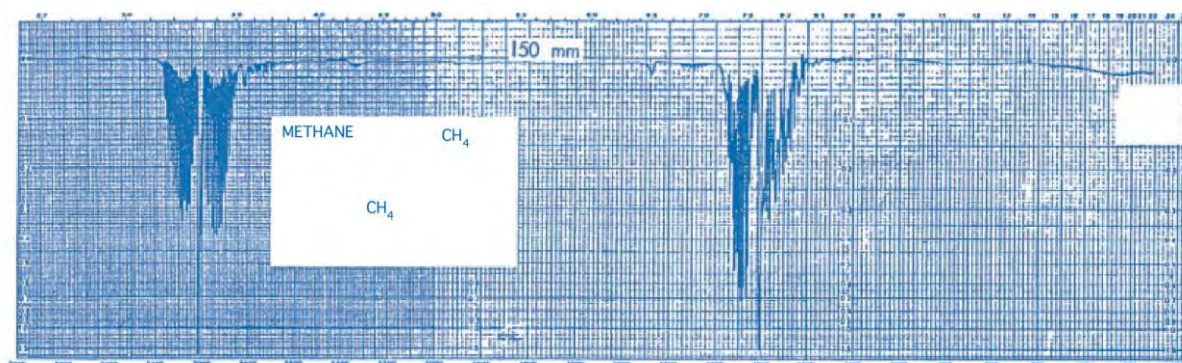
معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۸-۶ منحنی طیفسنجی گاز متان

منحنی طیفسنجی متان نشان می دهد که این گاز در طول موج $3/4$ میکرون دارای یک قله جذب قوی است که همین طول موج برای شناسایی متان استفاده می شود. در واقع بسیاری از گازهای هیدروکربن در ناحیه $3/4$ میکرون، جذب تابش خوبی دارند. از طرفی گازی نظیر دی اکسید کربن طول موج $4/26$ میکرون و گاز منوکسید کربن طول موج $4/7$ میکرون را به خوبی جذب می نماید.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۳.۱.۶ حسگرهای فوتو یونی^۱

حسگر فوتو یونی از نور فرابنفش به منظور یونیزه کردن مولکول های گاز استفاده می نماید و به طور معمول برای شناسایی ترکیبات آلی فرار استفاده می شود. قلب حسگر فوتو یونی یک منبع فرابنفش است که در اصل یک لامپ می باشد. نسخه های اولیه این لامپ از الکتروود در داخل لامپ استفاده می کردند اما لامپ هایی که امروزه استفاده می شوند الکتروودی داخل خود ندارند و علاوه بر ارزانتر بودن، طول عمر بیشتری نیز دارند.

در حدود سال ۱۹۸۰ میلادی و با پیدایش فناوری مدارهای مجتمع^۲، مدارهای الکترونیکی طراحی شده برای این حسگرها، می توانستند به صورت بهتری سیگنال های کوچک دریافتی از حسگرهای فوتو یونی را پردازش کرده و آن ها را به داده های قابل اعتماد تبدیل نمایند. علاوه بر این، نیاز به پایش مخازن زیرزمینی به منظور جلوگیری از آلوده شدن آب های زیرزمینی، نیاز به پایش ترکیبات آلی فرار را نیز افزایش داد.

این وقایع منجر به طراحی حسگرهای فوتو یونی کوچک و قابل حمل نظیر شکل ۶-۹ شد که علاوه بر قابلیت اطمینان بالا و پاسخ دهی سریع می توانند غلظت های کم گاز را نیز شناسایی نمایند.

^۱ Photoionization sesors

^۲ Integrated circuit technology



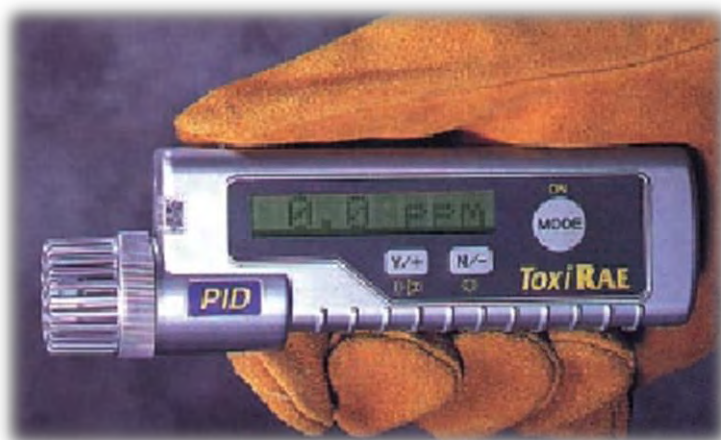
معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۹-۶ یک حسگر فوتو یونی قابل حمل

۱.۳.۱.۶ اصول عملکرد

نور فرابنفش دسته‌ای از تابش‌های الکترومغناطیس است که فرکانسی بزرگتر از نور مرئی داشته و در طیف تابش الکترومغناطیس دقیقاً بالاتر از محدوده نور مرئی قرار می‌گیرد. محدوده فرابنفش در شکل ۵-۶ نشان داده شده است. طول موج نور فرابنفش در محدوده نانومتر ($10^{-9}m$) است و بسیار کوچکتر از طول موج مادون قرمز می‌باشد. از آنجا که طول موج‌های کوچکتر دارای فرکانس بزرگتری بوده و بنابراین انرژی بیشتری نیز دارند، در نتیجه تابش فرابنفش انرژی بیشتری نسبت به تابش مادون قرمز دارد. سطح انرژی تابش فرابنفش معمولاً به صورت الکترون‌ولت یا eV بیان می‌شود. طول موج از طریق الکترون‌ولت به ثابت پلانک که معادل $4.135 \times 10^{-5} eV$ است، مرتبط می‌شود.

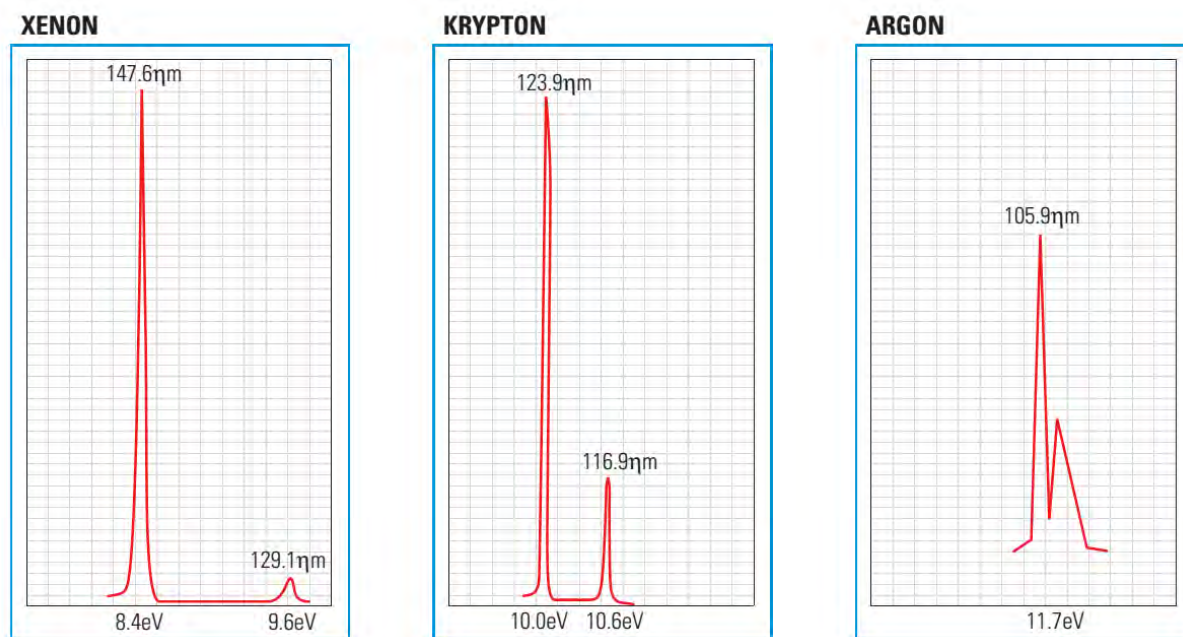
ثابت پلانک یک ثابت بنیادی در فیزیک کوانتوم است. انرژی تابشی تنها در گام‌های گسسته‌ای به اندازه یک «کوانتا» تغییر می‌کند.

یک الکترون‌ولت اندازه انرژی یک الکترون تحت ولتاژ یک ولت است.

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

لامپ فوتو یونی: قلب یک حسگر فوتو یونی در واقع لامپ فوتو یونی است که شکل خارجی آن شبیه یک آمپول پزشکی است و بر اساس سازنده آن، اندازه و ابعاد گوناگونی می تواند داشته باشد. لامپ توسط یک گاز بی اثر کم فشار پر شده است. زمانی که به این گاز با تابشی که فرکانسی مشابه فرکانس طبیعی گاز دارد، انرژی داده می شود، یک تابش طیفی فرابنفش تولید می گردد.

طول موج تابش فرابنفش منتشر شده به نوع گاز داخل لامپ بستگی دارد. به عنوان مثال، گاز کریپتون زمانی که تحریک شود، تابشی با طول موج های 123.9nm و 116.9nm نانومتر یا به طور معادل 10 و 10.6eV الکترون ولت، ساطع می نماید. گازهای متنوع دیگری نیز مورد استفاده قرار می گیرند. طول موج های منتشر شده توسط گازهای آرگون، کریپتون و زنون در شکل ۶-۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۰ طول موج های ساطع شده توسط آرگون، کریپتون و زنون



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

از روش های متنوعی برای تامین انرژی لامپ فوتو یونی استفاده می شود. برای عملکرد لامپ به ولتاژ بالایی نیاز است. نیاز است تا منبع انرژی در طول زمان ثابت مانده و همچنین کارا باشد تا مقدار بسیار زیادی انرژی مصرف ننماید. یک طراحی معمول الکترونها را داخل لامپ قرار می دهد. این نوع از لامپ ها شبیه لوله های خلأ استفاده شده در رادیو و تلویزیون های اولیه هستند. در حالیکه ولتاژ استفاده شده بالغ بر ۱۰۰۰ ولت است، جریان الکتریکی بسیار کوچک خواهد بود. اگرچه این نوع لامپ در بسیاری از آزمایشگاه ها استفاده می شود اما تا حدودی گرانقیمت است؛ در نتیجه امروزه لامپ های بدون الکتروود طرفداران بیشتری دارند.

لامپ بدون الکتروود: این نوع از لامپ ها فقط توسط یک گاز بی اثر کم فشار پر شده و هیچ الکتروودی داخل آن ها وجود ندارد. سادگی این نوع طراحی اجازه می دهد تا لامپ ها مینیاتوری شده و در نتیجه امکان طراحی دستگاه های قابل حمل و جمع و جور ایجاد شود.

در لامپ های بدون الکتروود، گاز کم فشار از طریق دیواره لامپ از محیط بیرون جدا شده است. از آنجا که هیچ الکتروودی برای تامین مستقیم انرژی گاز وجود ندارد، تنها راه برای تحریک مولکول های گاز استفاده از انرژی تابشی است که بتواند از دیواره لامپ نفوذ کند.

راه های مختلفی برای تامین انرژی این نوع از لامپ ها وجود دارد. یکی از روش ها استفاده از تابش الکترومغناطیس است. با این وجود یک روش پرتعدادتر، قرار دادن یک جفت الکتروود خارج از دیواره لامپ است. یک ولتاژ بالا یا جریان کم به الکتروودها اعمال شده و انرژی لازم برای تحریک گاز کم فشار داخل لامپ تامین می شود. طراحی این لامپ ها شبیه لامپ های فلورسنت (لامپ مهتابی) استفاده شده در خانه ها و دفاتر است با این تفاوت که ابعاد بسیار کوچکتری دارد.

مواد مخصوص پنجره: در طول موج های تابش لامپ، یعنی فرکانس موج فرابنفش، اکثر مواد تابش را جذب کرده و از عبور این تابش ها جلوگیری می کنند. بنابراین مواد مخصوصی برای پنجره لامپ که در سمت تخلیه آن قرار



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران

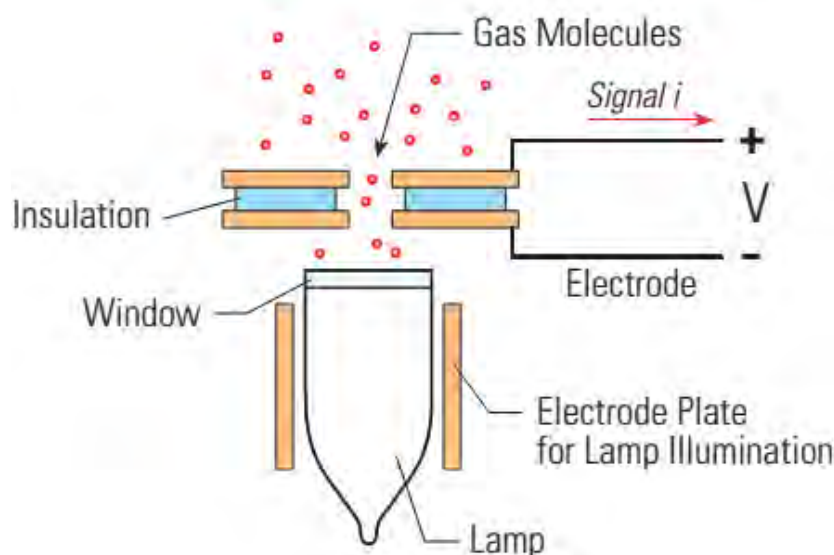


شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

دارد قرار داده می شود که اجازه عبور امواج را می دهد. این ماده پنجره در واقع یک کریستال است که به خوبی اجازه عبور طول موج فرابنفش را می دهد. به طور مثال لامپ های ۱۰/۶ الکترون ولتی از گاز کریپتون و پنجره فلورید منیزومی استفاده می کنند در حالیکه لامپ های ۱۱/۷ الکترون ولتی که انرژی بیشتری دارند از گاز آرگون و پنجره فلورید لیتیومی استفاده می نمایند. این پنجره ها شیشه های صاف و بسیار شکننده ای هستند. این پنجره ها تا حدودی گرانیقیمت هستند و نیاز به مراقبت و نگهداری خاص می باشند. نمونه ای از پیکربندی یک حسگر فوتو یونی در شکل ۱۱-۶ نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۶ پیکربندی یک حسگر فوتو یونی نوعی

یک جفت الکتروود در مجاورت پنجره لامپ که نور ساطع می گردد، قرار داده می شود. همانطور که گازها به سمت میدان تابش در فضای بین دو الکتروود حرکت می کنند، یونیزه شده و الکترون های آزاد در الکتروودها جمع می شوند که منجر به تولید یک جریان الکتریکی می شود. بزرگی این جریان الکتریکی به طور مستقیم متناسب با غلظت گاز است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



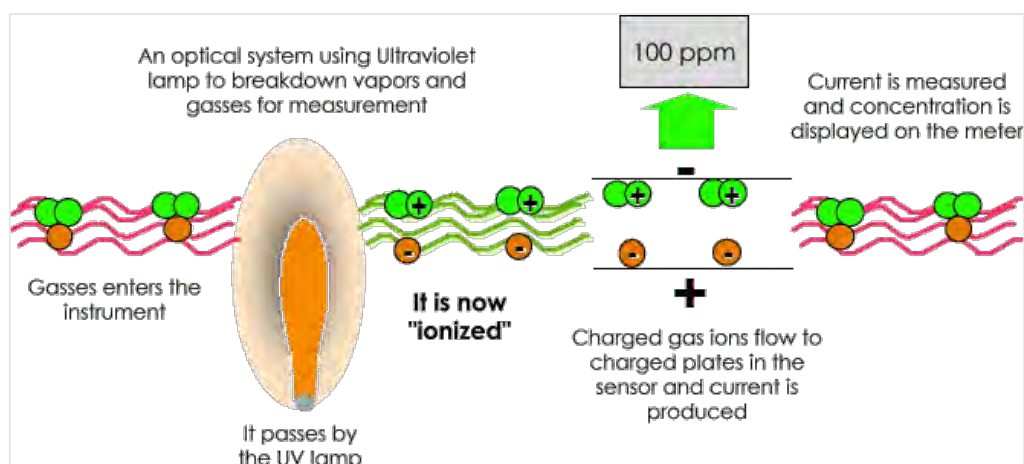
دانشگاه صنعتی شریف

پتانسیل یونیزه کردن مجزا: هر گازی دارای پتانسیل یونیزه کردن مخصوص به خود است. گازهایی که پتانسیل یونیزه کردن آنها کمتر از الکترون ولت خروجی لامپ است، شناسایی خواهند شد. برای بیشتر دستگاه های قابل حمل، لامپ ۱۰/۶ الکترون ولتی استفاده می شود زیرا بیشتر ترکیبات آلی فرار را شناسایی کرده و لامپ نیز به راحتی تمیز می شود. با این وجود، سایر لامپ ها نیز در دسترس هستند که شامل لامپ های ۱۰، ۹/۵، ۸/۴ و ۱۱/۷ الکترون ولت هستند.

به عنوان نمونه برخی گازهای قابل شناسایی با لامپ های مختلف به قرار زیر است:

- گازهای قابل شناسایی با لامپ ۹/۵ الکترون ولتی نظیر بنزن، ترکیبات آروماتیک و آمین ها؛
- گازهای قابل تشخیص بین ۹/۵ و ۱۰/۶ الکترون ولت نظیر آمونیاک، اتانول و استون؛ و
- گازهای قابل تشخیص بین ۱۰/۶ و ۱۱/۷ الکترون ولت نظیر استیلن، فرمالدهید و متانول.

یک لامپ ۹/۵ الکترون ولتی گازهای با پتانسیل یونیزاسیون زیر ۹/۵ الکترون ولت را یونیزه می کند و گازهای با پتانسیل بالاتر را یونیزه نخواهد کرد. نحوه عملکرد یک حسگر فوتو یونی به صورت شماتیک و ساده در شکل ۶-۱۲ توضیح داده شده است.



شکل ۶-۱۲ نحوه عملکرد حسگر فوتو یونی

فصل هفتم

روش‌های غیرفعال اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۷ روش‌های غیرفعال اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها

در این فصل به معرفی روش‌های غیرفعال اندازه‌گیری آلاینده‌ها در محیط‌های داخلی پرداخته شده و اصول عملکرد، انواع و مزایا و معایب آن‌ها بررسی شده است.

۱.۷ مقدمه‌ای بر اندازه‌گیری غیرفعال

روش‌های اندازه‌گیری غیرفعال^۱ چندین دهه است که برای پایش ترکیبات آلی فرار و نیمه‌فرار استفاده می‌شوند. این روش‌ها در ابتدا بیشتر برای اندازه‌گیری و پایش بهداشت محیط‌های صنعتی استفاده می‌شدند ولی با پیشرفت‌های سالیان اخیر در زمینه مواد جاذب برای اندازه‌گیری آلاینده‌ها در غلظت‌های اندک، استفاده از آن‌ها برای محدوده غلظت محیط‌های داخلی نیز ممکن شده است. ثابت شده است که نمونه‌گیرهای غیرفعال می‌توانند دقت بالایی در اندازه‌گیری بسیاری از ترکیبات آلی فرار داشته باشند [۷، ۸].

برخی از مزایای نمونه‌برداری غیرفعال نسبت به روش‌های نمونه‌برداری رایج در محیط‌های داخلی عبارتند از:

- پروتکل‌های نمونه‌برداری ساده هستند که باعث می‌شود احتمال خطاهای اپراتور، هزینه‌های نمونه‌برداری و میزان تمرین و آموزش مورد نیاز پرسنل کاهش یابد؛
- نمونه‌بردارهای غیرفعال در مقایسه با سایر روش‌های اندازه‌گیری کوچک و سبک وزن بوده و حمل و نقل آن‌ها نیز ساده‌تر است؛
- نمونه‌بردارهای غیرفعال بدون نیاز به توان ورودی و خطر گرفتگی یا نشتی (که در روش‌های مخزنی و پمپی اتفاق می‌افتد) کار می‌کنند؛ و

^۱ Passive

- نمونه بردارهای غیرفعال نتایج دقیقی را برای زمان های نمونه برداری طولانی از چند روز تا چند هفته ارائه می دهند.

۲.۷ اصول نمونه برداری غیرفعال

یک «نمونه بردار غیرفعال»^۱ دستگاهی شامل یک جاذب جامد (معمولاً دانه دانه)^۲ در یک محفظه ساکن است که ورودی هایی با ابعاد معلوم برای ورود گازها با نرخ ثابت و مشخص دارد.

۱.۲.۷ تئوری عملکرد

نمونه بردارهای غیرفعال برای یک دوره زمانی مشخص (زمان نمونه برداری) استفاده می شوند و سپس جمع آوری شده و از طریق استخراج گازهای جذب شده در جاذب، مقدار کل جرم هر کدام از آلاینده هایی که در طول زمان نمونه گیری به دام افتاده اند، اندازه گیری می شود. اگر «نرخ جذب»^۳ گازها مشخص باشد، غلظت میانگین در طول زمان نمونه برداری می تواند از طریق رابطه زیر محاسبه شود:

$$C = \frac{M}{UR \times t} \quad (۱-۷)$$

در رابطه فوق C غلظت میانگین زمانی (میکرو گرم بر مترمکعب)، M جرم گاز به دام افتاده توسط نمونه بردار (پیکو گرم)، UR نرخ جذب (میلی لیتر بر دقیقه) یا به عبارتی دیگر نرخ نمونه برداری و t مدت زمان نمونه برداری (دقیقه) است. از آنجا که جرم گاز و مدت زمان نمونه برداری می توانند با دقت بسیار بالایی اندازه گیری شوند بنابراین نرخ جذب بحرانی ترین متغیر برای تعیین دقیق غلظت گازها با استفاده از نمونه برداری غیرفعال است.

^۱ Passive sampler

^۲ Granular

^۳ Uptake rate



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

نرخ جذب دارای واحد حجم بر زمان است ولی دبی حجمی نیست در واقع نرخ جذب معادل با دبی حجمی مورد نیاز برای یک نمونه جذبی پمپی به منظور جذب همان مقدار جرم از ماده شیمیایی مورد نظر در طول همان مدت زمان نمونه برداری و زمانی که در مجاورت با همان میزان غلظت آلاینده قرار گرفته است، می باشد. نرخ جذب به هندسه دستگاه نمونه برداری و ضریب پخش ماده شیمیایی مورد نظر بستگی دارد. هم چنین نرخ جذب به مشخصات جاذب نمونه بردار غیرفعال که بازده نگهداری و رهاسازی گازها را مشخص می کند نیز وابسته است. نرخ جذب برای محدوده ای از ترکیبات و برای بسیاری از نمونه بردارهای غیرفعال به صورت آزمایشگاهی محاسبه و منتشر شده است. انتخاب نوع نمونه بردارها برای یک بازرسی اغلب بر اساس دسترس پذیری و قابلیت اطمینان نرخ های جذب تعیین می گردد.

۲.۲.۷ انواع نمونه بردارهای غیرفعال

نمونه بردارهای غیرفعال می توانند شامل یک «مانع پخشی متخلخل»^۱ یا یک «غشاء غیرمتخلخل»^۲ برای کنترل نرخ جذب گازها توسط محیط جاذب باشند. تنوع محیط متخلخل، که اجازه عبور هوا را از نمونه می دهد زیاد بوده و انواع تجاری گوناگونی در دسترس می باشد. انواع گوناگون نمونه بردارهای غیرفعال با محدوده نرخ جذب های مختلف اجازه می دهد تا انعطاف پذیری بالایی در انتخاب پیکربندی بهینه نمونه بردار با توجه به مدت زمان نمونه برداری و محدوده غلظت ها وجود داشته باشد. در مورد انواع نمونه بردارهای با غشاء غیرمتخلخل که «نمونه بردارهای غیرفعال نفوذی»^۳ نیز نامیده می شوند، ترکیبات آلی فرار در یک غشاء حل و پخش شده و توسط محیط جاذب جمع آوری

¹ Porous diffusive barrier

² Nonporous membrane

³ Permeation passive sampler



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



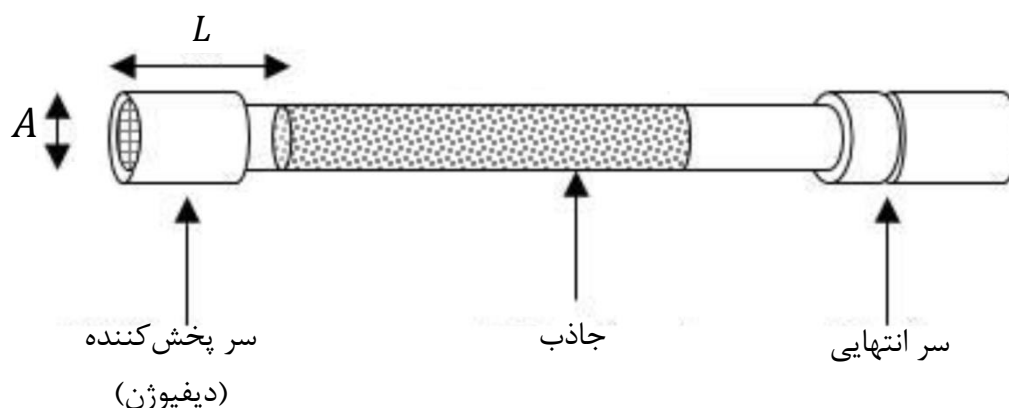
شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

می شوند. اگرچه امروزه استفاده از این نوع نمونه بردارهای غیرفعال محدود شده است اما به دلیل طبیعت غیرمتخلخل و هیدروفوبیک^۱ این غشاها در شرایط رطوبت و سرعت زیاد مفید هستند.

نمونه بردارهای غیرفعال با مانع پخشی متخلخل می توانند به انواع لوله ای، بج^۲ و شعاعی طبقه بندی شوند. انواع لوله ای و بج که به ترتیب در شکل ۱-۷ و شکل ۲-۷ نشان داده شده اند دارای مسیر پخش یک بعدی (محوری) به سمت جاذب هستند. نوع لوله ای دارای مساحت مقطع عرضی (A) نسبتاً کوچک و طول مسیر پخش بلند (L)، در مقایسه با نوع بج، می باشد و در نتیجه نرخ جذب کمتری دارد. نمونه بردارهای غیرفعال نوع بج دارای مساحت مقطع عرضی نسبتاً بزرگ و طول مسیر پخش کوتاه هستند که در نتیجه نرخ جذب بزرگتری نسبت به نوع لوله ای خواهند داشت.



شکل ۱-۷ نمونه بردار غیرفعال نوع لوله ای

^۱ Hydrophobic

^۲ Badge



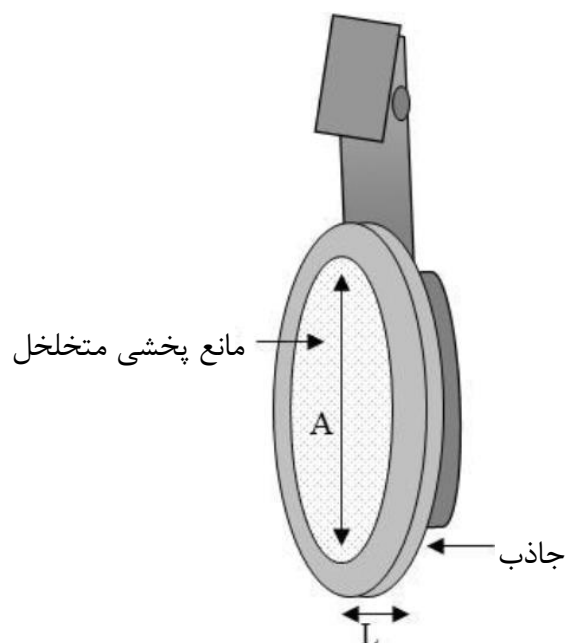
معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران

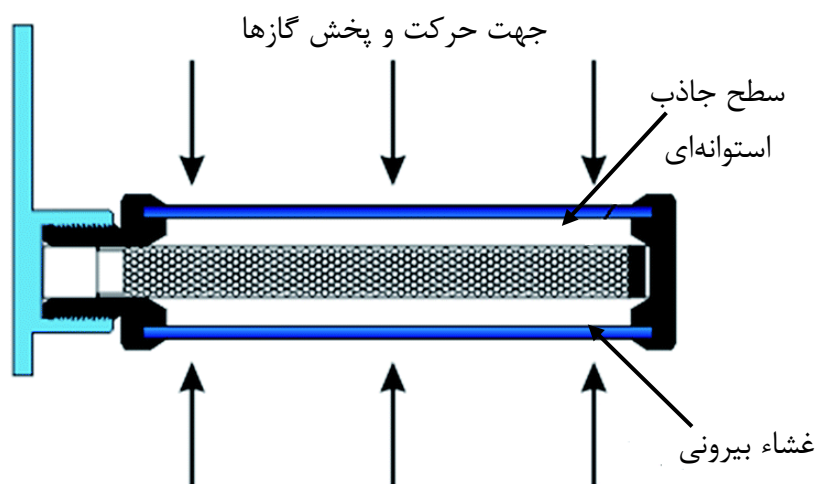


دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۲-۷ نمونه بردار غیرفعال نوع بچ

در نمونه بردارهای نوع شعاعی، محیط جاذب در یک لوله مشبک جا داده شده و این لوله مشبک نیز درون یک سیلندر متخلخل قرار گرفته است که به عنوان مانع پخشی عمل می کند و در شکل ۳-۷ نشان داده شده است. در این حالت مساحت موثر بزرگ و طول پخش کوتاه است و در نتیجه نرخ جذب نمونه بردارهای شعاعی از دو نوع لوله ای و بچ بزرگتر است.



شکل ۳-۷ نمونه بردار غیرفعال نوع شعاعی



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

نمونه بردارهای غیرفعال نفوذی نیز می توانند به انواع لوله های و بج تقسیم بندی شوند [۹۵]. نمونه بردارهای غشایی واترلو^۱ یک نوع نمونه بردار غیرفعال نفوذی لوله ای است که به صورت تجاری در دسترس بوده و نرخ جذب آن معمولاً بین نرخ جذب انواع لوله ای و بج غیرمتخلخل قرار می گیرد.

۳.۲.۷ انواع جاذب ها

هر نوع نمونه بردار غیرفعال بایستی با یک ماده جاذب مناسب برای ترکیب شیمیایی مدنظر جفت شود. تعداد بسیار زیادی از ترکیبات آلی فرار مختلف و تعداد زیادی مواد جاذب گوناگون وجود دارند و هر ترکیب شیمیایی تمایل خاصی به یک جاذب نشان می دهد. هدف نهایی انتخاب ماده جاذبی است که به خوبی در طول زمان نمونه برداری، ترکیب شیمیایی مورد نظر را به دام بیندازد و هنگام آنالیز نمونه به راحتی آن را رها نماید. همچنین باید منابع بروز خطا که می توانند بایاس منفی (تخمین کمتر از حد واقعی) و بایاس مثبت (تخمین بیشتر از حد واقعی) ایجاد نمایند نیز شناسایی شوند که این منابع عبارتند از قحطی، نگهداری ضعیف، رهاسازی ضعیف و آلودگی خالی. در ادامه هر یک از این منابع خطا بررسی شده است.

قحطی^۲: اگر نمونه بردار غیرفعال ترکیب شیمیایی مورد نظر را سریعتر از میزانی که این ترکیب در محیط باز تولید می شود جذب نماید، یک بایاس منفی حاصل خواهد شد. قحطی می تواند از طریق استفاده از نمونه بردارهای با نرخ جذب کم (لوله ای) یا کاهش سرعت هوای عبوری از نمونه بردار کاهش یابد.

نگهداری ضعیف^۳: این خطا زمانی که از یک جاذب ضعیف برای جذب ترکیبات آلی با خاصیت فراریت زیاد و به خصوص در زمان های نمونه برداری طولانی استفاده شود، اتفاق می افتد. این موضوع سبب ایجاد بایاس منفی شده و

¹ Waterloo membrane sampler

² Starvation

³ Poor retention



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

غلظت ترکیب شیمیایی مورد نظر کمتر از حد واقعی تخمین زده خواهد شد. برای حل این مشکل بایستی از جاذب‌های قوی‌تر استفاده شود.

رهاسازی ضعیف^۱: این خطا زمانی که از یک جاذب خیلی قوی برای یک ترکیب شیمیایی با فراریت کم استفاده شود، رخ می‌دهد. این موضوع باعث می‌شود هنگام آنالیز نمونه، ترکیب شیمیایی مورد نظر به خوبی از سطح جاذب جدا نشده و غلظت آن کمتر از حد واقعی تخمین زده شود که یک بایاس منفی به حساب می‌آید. برای حل این مشکل باید در انتخاب نوع جاذب دقت نمود.

آلودگی خالی^۲: این خطا باعث بروز بایاس مثبت می‌شود. هر گاه نمونه‌بردار غیرفعال سهوا در طول زمان آماده‌سازی نمونه، ذخیره‌سازی و حمل و نقل آن آلوده شود این اتفاق رخ می‌دهد. این خطا می‌تواند از طریق رعایت پروتکل‌های مناسب به حداقل کاهش یابد.

مطالعات مختلف میزان حفظ و نگهداری ترکیبات آلی فرار مختلف را توسط انواع جاذب‌ها مستند نموده‌اند [۹۶]. جاذب‌ها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. دسته اول جاذب‌های قوی هستند که برای رهاسازی ترکیب جذب شده باید از محلول‌های خاص استفاده نمود و دسته دوم جاذب‌های ضعیف‌تر که توسط فرآیندهای گرمایی رهاسازی می‌شوند.

زغال فعال^۳ جاذبی است که عموماً برای روش‌های استخراج با حلال استفاده می‌شود. مساحت سطح بزرگ زغال فعال اجازه جذب کارای بسیاری از ترکیبات آلی فرار را داده و اتلافات اندکی به جهت پدیده پخش خواهد داشت. هم‌چنین مساحت بزرگ زغال چوب آن را برای استفاده در محیط‌هایی که غلظت ترکیبات آلی فرار زیاد است

^۱ Poor recovery

^۲ Blank contamination

^۳ Activated charcoal

مناسب نموده است. دی سولفید کربن حلال رایج در این دسته است که اکثریت ترکیبات آلی فرار جذب شده را آزاد می نماید.

جدول ۷-۱ جاذب های حرارتی رایج استفاده شده در نمونه بردارهای غیرفعال

نوع جاذب حرارتی	مثال
پلیمرهای ارگانیک متخلخل	1. Tenax TA 2. Chromosorb 106
کربن سیاه گرافیتی	1. Carbopack B 2. Carbopack X 3. Carbograph 1TD 4. Carbograph 4TD 5. Carbograph 5TD 6. Anasorb GCB1
الک (غربال) مولکولی کربنی	1. Carboxen 1016

جاذب هایی که قابلیت آزادسازی ترکیبات شیمیایی را از طریق حرارت (یا به اختصار جاذب حرارتی) دارند دارای مساحت سطح کمتری هستند تا رهاسازی ترکیبات آلی فرار در دماهای متوسط نیز صورت گیرد. سه نوع از جاذب های حرارتی که معمولا در نمونه بردارهای غیرفعال استفاده می شوند در جدول ۷-۱ مشخص شده اند. فرآیند آماده سازی برای رهاسازی حرارتی ترکیبات شیمیایی در جاذب ها معمولا نسبت به استفاده از محلول برای استخراج منجر به حساسیت تحلیلی بزرگتری می گردد زیرا تنها مقدار اندکی از محلول استخراج به دستگاه آنالیز تزریق می شود در حالیکه در روش رهاسازی حرارتی تقریبا تمامی نمونه جذب شده به تجهیزات اندازه گیری تخلیه می شوند. با این وجود این بهبود حساسیت تحلیلی می تواند به دلیل طول زمان کوتاه تر نمونه برداری در حالت رهاسازی حرارتی، کم رنگ شود. به منظور جلوگیری از اشباع شدن جاذب و وقوع خطای «نگهداری ضعیف» هنگام استفاده از جاذب های حرارتی، بایستی طول زمان نمونه برداری کاهش یابد. هم چنین به دلیل ظرفیت کمتر جاذب های حرارتی در جذب گازها، باید موقع استفاده از آنها در محیط های با غلظت بالای ترکیبات آلی فرار مراقبت و دقت نمود.



۴.۲.۷ نرخ جذب

بسیاری از نمونه‌بردارهای غیرفعال لیستی از نرخ‌های جذب منتشر شده برای تعدادی از ترکیبات دارند که به عنوان نمونه برخی از آن‌ها در جدول ۷-۳ آورده شده است اما ممکن است این لیست شامل همه ترکیبات مورد نیاز برای یک ارزیابی نباشد. علاوه بر این ممکن است این نرخ‌های جذب برای کاربردهای پایش بلندمدت‌تر مناسب نباشند.

شرایط محیطی و واکنش میان جاذب و جذب‌شونده دو عامل بسیار مهم هستند که بر روی دقت و قابلیت تکرار نرخ جذب اثر می‌گذارند؛ در نتیجه نرخ جذب‌های اسمی معمولاً تحت محدوده خاصی از شرایط محیطی، غلظت‌ها و دوره‌های زمانی مورد انتظار برای مجاورت نمونه، تعیین می‌شوند. روش‌های استاندارد و دقیق تعیین نرخ جذب در روش‌های «موسسه ملی ایمنی و بهداشت حرفه‌ای»^۱ [۹۷]، «اداره ایمنی و بهداشت حرفه‌ای»^۲ [۹۸]، «سازمان بین‌المللی استاندارد»^۳ [۹۹] و «کمیته اروپایی استانداردسازی»^۴ [۱۰۰] یافت می‌شود.

در حالیکه نرخ‌های جذب به دست آمده به صورت تجربی در آزمایشگاه عموماً قابل اطمینان‌ترین نرخ‌های جذب در نظر گرفته می‌شوند، گاهی انجام این مطالعات به خصوص در مواقع تایید و صحت‌سنجی نرخ‌های جذب برای زمان‌های نمونه‌برداری طولانی، عملی نیست. در غیاب این نرخ جذب‌های آزمایشگاهی، نرخ جذب می‌تواند بر اساس ثابت‌های پخش محاسبه شده یا معلوم تخمین زده شود. با در نظر گرفتن یک نمونه‌بردار غیرفعال ایده‌آل، نرخ جذب می‌تواند توسط رابطه زیر بیان گردد:

$$UR = \frac{A}{L} \times D \quad (۷-۲)$$

^۱ National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)

^۲ Occupational Safety and Health Administration (OSHA)

^۳ International Standard Organization (ISO)

^۴ European Committee for Standardization



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

که در رابطه فوق UR نرخ جذب (میلی لیتر بر دقیقه)، A مساحت سطح نمونه بردار غیرفعال (سانتیمتر مربع)، L طول مسیر پخش یا همان فاصله میان مانع پخشی و جاذب (سانتیمتر) و D ضریب پخش (سانتیمتر مربع بر دقیقه) می باشد. توضیحاتی در مورد چندین روش تخمین نرخ جذب با استفاده از ثابت پخش توسط نامینسیک و همکاران [۱۰۱] و فیگلی و لی [۱۰۲] داده شده است.

۵.۲.۷ مدت زمان نمونه برداری

کمترین زمان نمونه برداری مورد نیاز برای داشتن حساسیت کافی جهت ارزیابی ریسک سلامتی انسان می تواند توسط رابطه زیر محاسبه شود:

$$t = \frac{M_{min}}{UR \times C_{RBSL}} \quad (۳-۷)$$

در رابطه فوق t مدت زمان نمونه برداری (دقیقه)، M_{min} حد آزمایشگاهی گزارش شده برای هر ترکیب آلی فرار (پیکوگرم)، UR نرخ جذب (میلی لیتر بر دقیقه) و C_{RBSL} سطح پایش ریسک مینا (میکروگرم بر مترمکعب) است.

۶.۲.۷ هندسه نمونه بردارهای غیرفعال و جاذبها

خلاصه ای از ترکیب بین هندسه نمونه بردارهای غیرفعال و جاذبها در جدول ۷-۲ نشان داده شده است. هر هندسه نمونه بردار می تواند با یک جاذب زغالی که برای استخراج به حلال نیاز دارد یا یک جاذب حرارتی جفت شود. برای یک هندسه داده شده، جاذب نوع زغالی مناسب ترین جاذب برای مدت زمان نمونه برداری بلندمدت است که کمک می کند تا حساسیت تحلیلی پایین در فرآیند استخراج با حلال را تا حدی جبران نماید. از طرفی انتخاب یک هندسه نمونه بردار با نرخ جذب بزرگ که با یک جاذب حرارتی جفت شده است برای مدت زمان های نمونه برداری کوتاه مدت مناسب است. پس از اینکه نمونه بردار و جاذب مناسب برای آلاینده ها و غلظت های مورد نظر انتخاب شدند بایستی موارد زیر لحاظ گردند:



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- ۱- آیا همه آلاینده های هدف دارای نرخ جذب کالیبره هستند یا نه. اگر نرخ جذب در دسترس نباشد بایستی با استفاده از مطالب بخش ۴.۲.۷ محاسبه شود.
- ۲- مدت زمان نمونه برداری. اگر مدت زمان محاسبه شده طولانی تر از مدت زمان نمونه برداری مطلوب باشد، بایستی یک نمونه بردار غیرفعال با نرخ جذب بزرگ و/یا یک جاذب حرارتی انتخاب گردد.

جدول ۲-۷ ماتریس انتخاب هندسه و جاذب نمونه بردارهای غیرفعال

نوع جاذب	هندسه نمونه بردار		
	لوله ای (محوری)	بج (محوری)	شعاعی
استخراج با حلال (نوع زغالی)	Drager ORSA 5	SKC 575	Radiello 130
جاذب حرارتی	انواع مختلف لوله های با جاذب حرارتی	SKC Ultra Series	Radiello 145

به سمت حساسیت تحلیلی بزرگتر

به سمت زمان نمونه برداری بزرگتر

به سمت نرخ جذب های بزرگتر

لیستی از نمونه بردارهای غیرفعال در جدول ۳-۷ آورده شده است. در این جدول نام نمونه بردار، سازنده یا سازندگان دستگاه، توضیح مختصری در مورد محصول (با محدوده نرخ های جذب) و وبسایت سازندگان این نمونه بردارهای غیرفعال آورده شده است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۳-۷ دستگاه های نمونه برداری غیرفعال تجاری

نام دستگاه	سازندگان	توضیحات	وبسایت
لوله رهاسازی حرارتی اتوماتیک	Perkin Elmer, Markes, CAMSCO, Supelco	لوله پر شده از جاذب با کلاhek گرد و غبار در یک سمت، نرخ جذب بین ۰/۳ تا ۰/۶ میلی لیتر بر دقیقه	www.perkinelmer.com, www.markes.com, www.camsco.com, www.sigmaaldrich.com
OVM 3500	3M	از نوع بچ با فیلمی از کربن فعال یا فیلمی از پلاستیک متخلخل، نرخ جذب بین ۲۰ تا ۴۰ میلی لیتر بر دقیقه	www.shop3m.com, www.multimedia.3m.com
Ultra, Ultra II, Ultra III	SKC	از نوع بچ با سه پیکربندی جاذب مختلف، نرخ جذب محیط داخلی ۷ تا ۱۱ میلی لیتر بر دقیقه و محیط خارجی ۱۲ تا ۱۵ میلی لیتر بر دقیقه	www.skinc.com
GABIE	SKC	بچ	www.skcsouthafrica.co.za
575	SKC	بچ با شبکه بندی، نرخ جذب ۹ تا ۱۸ میلی لیتر بر دقیقه	www.skinc.com
ORSA	Draeger	لوله دو سمتی، نرخ جذب ۴ تا ۸ میلی لیتر بر دقیقه	www.afcintl.com
Radiello	Fondazione Salvatore Maugeri	مانع پخشی پلاستیکی متخلخل شعاعی با جاذب استوانه ای	www.radiello.com
نمونه بردار غشایی واترلو	WMS, SiREM Labs	نمونه بردار غشایی پلی دیمتیل سیلوکسان، نرخ جذب ۰/۸ تا ۱۹ میلی لیتر بر دقیقه	www.siremlab.com

۳.۷ مقایسه نمونه برداری غیرفعال با روش های رایج نمونه برداری

مقایسه بین نمونه بردارهای غیرفعال و روش های رایج نمونه برداری هوا در جدول ۴-۷ آورده شده است. هر یک از روش ها هنگام استفاده در محیط داخلی دارای فواید و محدودیت هایی هستند. روش EPA TO-15 شامل روش های جمع آوری نمونه هوا در محفظه های مخصوص و ارزیابی بخشی از این نمونه با کروماتوگرافی گازها و طیف سنجی



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جرمی است. روش EPA TO-17 شامل روش های جمع آوری ترکیبات آلی فرار موجود در هوا از طریق پمپاژ هوا به داخل جاذب های قرار داده شده در لوله های بی اثر و سپس رهاسازی آن ها با روش های حرارتی در آزمایشگاه و سپس انجام کروماتوگرافی گازی و طیف سنجی جرمی است. در ادامه مقایسه ای میان این روش ها از چهار منظر سهولت استفاده، حساسیت تحلیل، ترکیبات مورد هدف و مدت زمان نمونه برداری صورت گرفته است.

جدول ۴-۷ مقایسه روش نمونه برداری غیرفعال با روش های رایج نمونه برداری

روش	سهولت استفاده	حساسیت تحلیلی	ترکیبات مورد هدف	مدت زمان نمونه برداری
نمونه بردارهای غیرفعال با یک جاذب	عالی	عالی	بستگی به نوع جاذب دارد	چند ساعت تا چند هفته
روش TO-15	خوب	عالی	C3-C12	تا ۷۲ ساعت
روش TO-17	متوسط	عالی	بسته به نوع جاذب (C3-C26)	تا ۲۴ ساعت

سهولت استفاده. نمونه بردارهای غیرفعال عموماً دارای پروتکل های نمونه برداری ساده بوده و به این دلیل که نیازی به توان و انرژی ندارند، فرآیند نمونه برداری در معرض خطراتی نظیر خرابی باتری یا کمبود انرژی (نظیر آنچه ممکن است در روش TO-17 اتفاق افتد) قرار ندارند. همچنین خطر مسدود شدن مسیر جریان با گرد و خاک (نظیر آنچه ممکن است در روش TO-15 اتفاق افتد) نیز وجود نخواهد داشت. همچنین نمونه بردارهای غیرفعال کوچکتر بوده و در نتیجه هزینه حمل و نقل آن ها کمتر است.

حساسیت تحلیلی. هر روش می تواند برای رسیدن به آستانه تشخیص مشخصی پیکربندی شود. در مورد روش های جاذب های فعال و غیرفعال، آستانه تشخیص تابعی از پارامترهای نمونه برداری است.

ترکیبات مورد هدف. روش های نمونه برداری رایج و غیرفعال در نوع و محدوده ترکیبات شیمیایی قابل جمع آوری و ارزیابی با هم متفاوت هستند. روش TO-15 اساساً به ترکیباتی که فشار بخار بالایی دارند محدود شده است تا میعان بر روی سطوح محفظه کمینه شود. این موضوع به این معنا است که روش TO-15 به ترکیبات با حداکثر ۱۲



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

اتم کربن (نفتالن) محدود شده است. اما روش TO-17 برای محدوده ۳ تا ۲۶ اتم کربن قابل استفاده است که محدوده وسیع تری محسوب می شود. در عوض نمونه بردارهای غیرفعال چون به یک نوع جاذب محدود شده اند بنابراین محدوده ترکیبات قابل تشخیص آنها نیز بسته به نوع جاذب است.

مدت زمان نمونه برداری. نمونه بردارهای غیرفعال می توانند برای مدت زمان های نمونه برداری طولانی تری نسبت به روش TO-15 و TO-17 استفاده شوند. در روش TO-15 مدت زمان نمونه برداری حداکثر می تواند ۷۲ ساعت باشد ولی به طور معمول بین ۸ تا ۲۴ ساعت است. در روش TO-17 مدت زمان نمونه برداری توسط دبی کمینه پمپ و حجم نمونه برداری قابل اطمینان لوله جاذب و بر مبنای نرخ جذب های منتشر شده برای ترکیبات مختلف محدود شده است. بیشینه زمان نمونه برداری در روش TO-17 بین ۸ تا ۲۴ ساعت است. در عوض نمونه بردارهای غیرفعال می توانند برای بازه های زمانی چند روز تا چند هفته استفاده شوند.

فصل هشتم

روش‌های فعال اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها

۸ روش‌های فعال اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها

در این فصل به معرفی روش‌های فعال اندازه‌گیری آلاینده‌ها در محیط‌های داخلی پرداخته شده و اصول عملکرد، انواع و مزایا و معایب آن‌ها به صورت کوتاه و مختصر بررسی شده است. در فصول بعدی این گزارش دستگاه‌هایی معرفی می‌گردند که مبنای همه آن‌ها استفاده از روش‌های فعال است.

۱.۸ مقدمه‌ای بر روش‌های اندازه‌گیری فعال

نمونه‌بردارهای فعال شامل استفاده از یک پمپ نمونه‌برداری به منظور مکیدن هوا به داخل یک دستگاه جمع‌آوری هوا نظیر فیلترها یا مخازن است. یکی از مزایای اصلی نمونه‌برداری فعال نسبت به نمونه‌برداری غیرفعال عدم وابستگی آن به میزان و جهت وزش باد است، اما معمولاً وزن و اندازه نمونه‌بردارهای فعال بزرگتر بوده و کار با آن‌ها نیز کمی دشوارتر است. در ادامه برخی از روش‌های فعال نمونه‌برداری و اندازه‌گیری فعال هوا که برای اندازه‌گیری کیفیت هوای محیط‌های داخلی مناسب است، بررسی شده است.



۲.۸ کیسه‌های نمونه‌برداری هوا

کیسه‌های نمونه‌برداری^۱ دستگاه‌هایی هستند که برای پایش ترکیبات آلی فرار و برخی گازهای دیگر در سطح غلظت ppm مفید می‌باشند. کیسه‌های نمونه‌برداری هوا می‌توانند روشی

^۱ Sampling bags



مقرون به صرفه برای جایگزینی با روش‌های محفظه‌ای^۱ و لوله‌های رهاسازی با حلال^۲ باشند. کاربردهای این کیسه‌ها در بهداشت صنعتی، هوای محیطی، هوای داخلی و آزمایش منابع ساکن است.

۱.۲.۸ توصیه‌های عمومی استفاده از کیسه‌های نمونه‌برداری هوا

برای استفاده از کیسه‌های نمونه‌برداری هوا بایستی برخی موارد را قبل، بعد و در حین نمونه‌برداری رعایت نمود.

قبل از نمونه‌برداری:

- ۱- کیسه‌های استفاده نشده را در یک محیط تمیز نگهداری کرده و در داخل یک کیسه عایق‌بندی شده دیگر قرار دهید تا آلاینده‌ها روی آن جذب نشوند.
- ۲- کیسه‌ها را قبل از استفاده بایستی با نیتروژن خالص تمیز نمود.

در حین نمونه‌برداری:

- ۱- نبایستی بیش از ۸۰ درصد حجم کیسه‌ها را پر کرد.
- ۲- برای پر کردن مستقیم کیسه از «جعبه خلأ» به جای پمپ استفاده شود تا مشکلات مربوط به آلودگی پمپ ایجاد نگردد.
- ۳- لوله رابط نمونه‌برداری (لوله PTFE) بایستی تمیز باشد.
- ۴- دبی حجمی بایستی در حدود ۳ لیتر بر دقیقه باشد.

بعد از نمونه‌برداری:

- ۱- کیسه‌های نمونه‌برداری هوا یک بار مصرف هستند و بایستی دور انداخته شوند.

^۱ Canister

^۲ Solvent desorption tube



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲- زمان نگهداشت کیسه ها پس از نمونه برداری حداکثر ۴۸ ساعت است.

۳- کیسه ها نباید در معرض نور مستقیم خورشید و دمای زیر صفر درجه سانتیگراد قرار بگیرند.

۴- برای حمل و نقل کیسه ها از مخازن تیره و محکم استفاده گردد تا کیسه ها سوراخ نشوند. همچنین در صورت حمل و نقل هوایی کیسه ها نیز بایستی از اتاق های تحت فشار استفاده گردد.

۲.۲.۸ انواع کیسه های نمونه برداری هوا

برخی از انواع کیسه های نمونه برداری هوا شامل کیسه های تدلار^۱، آلف^۲ و ورق چندلایه^۳ که محصول شرکت Restek (واقع در ایالات متحده آمریکا) می باشند در جدول ۸-۱ با یکدیگر مقایسه شده اند. یکی دیگر از شرکت های معتبر در زمینه ساخت کیسه های نمونه برداری هوا شرکت SKC می باشد که این شرکت نیز در ایالات متحده آمریکا واقع است.

جدول ۸-۱ مقایسه کیسه های نمونه برداری هوا ساخت شرکت Restek

نوع کیسه (ساخت شرکت Restek)			
ورق چندلایه	آلف	تدلار	ترکیب
۵ لایه	نوعی پی وی سی	نوعی پی وی سی	
۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	ضخامت (اینچ)
۸۷	۱۵۰	۲۰۴	بیشینه دمای کاری (سانتیگراد)
۰/۰۰۰۶	۵۸	۵۰	نفوذپذیری در برابر اکسیژن (سی سی بر مترمربع بر روز)
۰/۰۰۰۹۳	۱۵-۱۲	۵۷-۹	نفوذپذیری در برابر بخار آب (گرم بر مترمربع بر روز)
۰/۰۰۷۸	۱۷۲	۱۷۲	نفوذپذیری در برابر دی اکسید کربن (سی سی بر مترمربع بر روز)

¹ Tedlar

² ALTEF

³ Multi layer foil



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۳.۸ لوله های رنگی تشخیص گازها



لوله های رنگی یکی دیگر از ابزارهای اندازه گیری غلظت گازها هستند. هر کدام از لوله ها برای اندازه گیری غلظت گاز مشخصی طراحی و ساخته شده است و نوع این گاز نیز بر روی لوله نوشته شده است. اساس کار این لوله ها به این صورت است که یک هوای نمونه از طریق پمپی به داخل

لوله کشیده می شود. این لوله شامل یک «واکنشگر ناب»^۱ است. به دلیل واکنش های شیمیایی، رنگ لوله در تماس با هوای مکیده شده تغییر می کند. مزایای استفاده از این روش نسبت به سایر روش های اندازه گیری به شرح زیر است:

- ۱- سهولت استفاده؛
- ۲- پاسخ سریع؛
- ۳- هزینه کم؛
- ۴- نگهداری و تعمیرات اندک؛ و
- ۵- عدم نیاز به کالیبراسیون.

عموماً پمپی که برای مکش هوا به داخل لوله استفاده می شود از نوع دستی است. حجم هوای نمونه نیز بایستی به صورت دقیق مشخص باشد تا خطای اندازه گیری کاهش یابد. هر نوع لوله دارای پمپ مخصوص به خود است. به طور کلی دو نوع ترکیب لوله و پمپ وجود دارد:

- ۱- پمپ های آکاردئونی کم خلأ^۱ با لوله های عریض (۷ میلی متر قطر خارجی) و ذرات درشت تر؛ و

^۱ Reagent

۲- پمپ های پیستونی پرخلا^۲ با لوله های باریک (۵ میلی متر قطر خارجی) و ذرات ریزتر.

سیستم لوله و پمپ آکاردئونی معمولاً زمان نمونه برداری کمتری نیاز دارد ولی تعداد دفعات پمپاژ مورد نیاز برای کامل شدن اندازه گیری معمولاً زیاد است، درحالیکه سیستم لوله و پمپ پیستونی معمولاً تعداد دفعات پمپاژ کمتری نیاز دارد ولی در هر بار پمپاژ مدت زمان نمونه برداری بیشتر است.

واکنشگر ناب به ماده یا ترکیبی گفته می شود که به آن را به یک سیستم اضافه می کنند تا یک واکنش شیمیایی روی دهد. تفاوت واکنشگر با **واکنشگر ناب** در این است که واکنشگر خود در جریان واکنش شیمیایی مصرف می شود ولی **واکنشگر ناب** این چنین نیست.



شکل ۸-۱ چند نمونه لوله رنگی برای اندازه گیری غلظت گازهای مختلف

برخی از سازندگان مطرح در زمینه ساخت و تولید لوله های رنگی شرکت های RAE، Honeywell، Kitagawa، Drager و GASTEC می باشند.

¹ Low-vacuum bellows pumps

² High-vacuum piston pumps

فصل نهم

دستگاه‌های اندازه‌گیری گازها و ذرات

۹ دستگاه های اندازه گیری گازها و ذرات

در این فصل تعدادی از دستگاه های اندازه گیری کیفیت هوای داخلی معرفی شده است. لازم به ذکر است که تمامی دستگاه های معرفی شده در این فصل زیرمجموعه ای از روش های فعال اندازه گیری غلظت گازها و آلاینده های دیگر محسوب می شوند.

۱.۹ دستگاه های اندازه گیری گازها

۱.۱.۹ دستگاه AQ-Expert

این دستگاه می تواند تعداد زیاد از گازها شامل منوکسید کربن، اکسیژن، نیتریک اکسید، دی اکسید نیتروژن، دی اکسید سولفور، هیدروژن سولفید، ازن، فرمالدهید، دی اکسید کربن و ترکیبات آلی فرار را اندازه گیری نماید. علاوه بر این، دستگاه AQ-Expert قادر به اندازه گیری دما، فشار بارومتریک، رطوبت نسبی، فشار و سرعت هوا نیز می باشد. این دستگاه در شکل ۱-۹ و مشخصات فنی آن در جدول ۱-۹ و جدول ۲-۹ آورده شده است.

مزیت اصلی دستگاه AQ-Expert این است که حسگرهای زیادی بر روی آن قابل نصب است. این حسگرها به چهار دسته تقسیم می شوند که عبارتند از:

- ✓ شش حسگر الکتروشیمیایی؛
- ✓ یک حسگر مادون قرمز؛
- ✓ یک حسگر فوتو یونی؛ و
- ✓ حسگرهای غیر گازی (شامل حسگرهای حالت جامد و ترموکوپل).

۱.۱.۱.۹ حسگرهای الکتروشیمیایی

همه حسگرهای الکتروشیمیایی دستگاه به راحتی قابل تعویض و جابه جایی هستند. این حسگرها به طور خلاصه در ادامه معرفی شده اند.

حسگر دی اکسید نیتروژن (NO_2): یک حسگر سه الکترودی برای واکنش به گاز دی اکسید نیتروژن تعبیه شده است. دی اکسید نیتروژن گازی چسبنده^۱ است و معمولاً واکنش این حسگر از باقی حسگرها کندتر است.

حسگر دی اکسید سولفور (SO_2): یک حسگر سه الکترودی برای واکنش به گاز دی اکسید سولفور تعبیه شده است. هم چنین دستگاه مجهز به یک فیلتر برای حذف گازهای مزاحم نظیر هیدروژن سولفید و سایر گازهای اسیدی نیز می باشد.

حسگر نیتریک اکسید (NO): یک حسگر سه الکترودی برای واکنش به گاز نیتریک اکسید تعبیه شده است. هم چنین فیلتری برای حذف سایر گازهای اسیدی مزاحم نیز در دستگاه نصب شده است. حسگر نیتریک اکسید برای عملکرد مناسب نیاز به یک ولتاژ بایاس ثابت دارد. این ولتاژ از طریق باتری مانیتور تامین می گردد. اگر ولتاژ باتری به زیر حد مشخصی کاهش یابد، مانیتور به صورت خودکار خاموش می شود تا حسگر بایاس باقی بماند. اما اگر ولتاژ باتری باز هم کاهش یابد و به نزدیکی صفر برسد، بایستی بعد از اتصال شارژر باتری در حدود ۲۴ ساعت صبر کرد تا بایاس حسگر بازیابی شود.

حسگر اکسیژن (O_2): این حسگر میزان غلظت اکسیژن را در نمونه اندازه گیری می نماید و یک سلول الکتروشیمیایی دو الکترودی است که کاتدی نقره ای و آنودی از جنس سرب دارد. اکسیژن از طریق یک سوراخ بسیار ریز دیفیوزر کرده و با آند سربی واکنش می دهد. واکنش میان اکسیژن و آند یک جریان الکتریکی تولید می نماید.

^۱ Sticky gas



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

نرم افزار دستگاه رابطه میان اکسیژن و جریان الکتریکی را خطی می نماید. زمانی که تمامی سرب آند مصرف شود، حسگر اکسیژن از کار خواهد افتاد.

حسگر هیدروژن سولفید (H_2S): این حسگر یک شامل چهار حسگر میکروی سری شده سه الکترودی است. به علت سمی بودن هیدروژن سولفید، هنگام کالیبراسیون بایستی ملاحظات خاصی انجام شود.

حسگر منوکسید کربن (CO): یک حسگر سه الکترودی برای واکنش به گاز منوکسید کربن تعبیه شده است. هم چنین فیلتری برای حذف سایر گازهای اسیدی مزاحم نیز در دستگاه نصب شده است. حسگر اختیاری^۱ محدوده بالای^۲ منوکسید کربن شامل چهار الکترودی است. یکی غلظت منوکسید کربن را اندازه گیری کرده و باقی غلظت گازهای هیدروژنی مزاحم را اندازه می گیرند.

حسگر ازن (O_3): یک حسگر سه الکترودی برای واکنش به گاز ازن تعبیه شده است.

حسگر فرمالدهید ($HCHO$): یک حسگر سه الکترودی برای واکنش به گاز ازن تعبیه شده است. هم چنین فیلتری برای حذف سایر گازهای اسیدی مزاحم نیز در دستگاه نصب شده است.

۲.۱.۱.۹ حسگر مادون قرمز

یک حسگر مادون قرمز در واقع دستگاه طیف سنج ساده ای است که عمدتاً برای اندازه گیری غلظت گاز دی اکسید کربن (CO_2) در محیط های داخلی از آن استفاده می شود. اجزای اصلی این حسگر یک منبع مادون قرمز (لامپ) و یک محفظه نمونه یا لوله نور است. نحوه عملکرد این نوع حسگرها در فصل دوم این سند توضیح داده شده است.

¹ Optional

² High range



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



۳.۱.۱.۹ حسگر فوتو یونی

حسگرهای فوتو یونی رایج‌ترین روش اندازه‌گیری غلظت ترکیبات آلی فرار (VOCs) و سایر گازها در محیط‌های داخلی و در محدوده‌های غلظت ppm و ppb هستند. اصول عملکرد حسگرهای فوتو یونی در فصل دوم این سند توضیح داده شده است.

۴.۱.۱.۹ حسگرهای غیرگازی

حسگر دمای محیط: این حسگر از نوع حسگر حالت جامد^۱ است که در جلوی پنل مانیتور نصب شده است. دمای محیط در هر دو واحد فارنهایت و سانتیگراد نمایش داده می‌شود. دمای نقطه شبنم نیز با استفاده از دمای محیط و رطوبت نسبی محاسبه می‌شود. دمای نقطه شبنم در مانیتور دستگاه با علامت DPt نشان داده می‌شود.

حسگر رطوبت: این حسگر از نوع حسگر حالت جامد است که در جلوی پنل مانیتور نصب شده است. رطوبت نسبی بر روی صفحه مانیتور به صورت %RH نمایش داده می‌شود. دمای حباب تر نیز بر اساس دمای محیط،

^۱ Solid state

رطوبت نسبی و فشار بارومتريک محاسبه می شود. دمای حباب تر بر روی مانیتور با علامت WBT نشان داده می شود.

حسگر فشار بارومتريک: این حسگر از نوع حسگر حالت جامد است که در جلوی پنل مانیتور نصب شده است. فشار بارومتريک بر روی صفحه نمایش با علامت BP نشان داده می شود.

حسگر دمای خارجی (T1 و T2): ترموکوپل های دمای خارجی از نوع K بوده و در صفحه نمایش با علامت T1 و T2 نمایش داده می شود.

حسگر سرعت هوا: سرعت هوا در صفحه نمایش با علامت VEL نشان داده می شود.

زمانیکه حسگر ازن متصل باشد، دستگاه AQ Expert می تواند ازن و دی اکسید نیتروژن یا ازن و دی اکسید سولفور را اندازه گیری نماید. دستگاه نمی تواند هر سه حسگر ازن، دی اکسید نیتروژن و دی اکسید سولفور را همزمان داشته باشد. همچنین حسگرهای این دستگاه انتخابی می باشند.





معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

آدرس های اینترنتی جهت سفارش

www.E-Inst.com

www.tnp-instruments.com

حدود قیمت

۳۵۰۰ دلار



شکل ۹-۱ دستگاه AQ-Expert

جدول ۹-۱ مشخصات فنی حسگرهای گازی دستگاه AQ-Expert

نوع گاز	نوع حسگر	محدوده اندازه گیری	وضوح	دقت
منوکسید کربن	الکتروشیمیایی	استاندارد	0.1 ppm	± 1 ppm
		زیاد	1 ppm	<300 ppm, 10 ppm To 2000 ppm, 4%
اکسیژن	الکتروشیمیایی	استاندارد	0.10%	0.1% Vol.
نیتریک اکسید	الکتروشیمیایی	استاندارد	0.1 ppm	± 2 ppm
		زیاد	1 ppm	<100 ppm, 5 ppm To 2000 ppm, 4%
دی اکسید نیتروژن	الکتروشیمیایی	استاندارد	0.1 ppm	± 0.5 ppm
		زیاد	1 ppm	<100 ppm, 5 ppm To 1000 ppm, 4%
دی اکسید سولفور	الکتروشیمیایی	استاندارد	0.1 ppm	± 0.5 ppm
		زیاد	1 ppm	<100 ppm, 5 ppm To 2000 ppm, 4%
هیدروژن سولفید	الکتروشیمیایی	استاندارد	1 ppm	$\pm 4\%$
ازن	الکتروشیمیایی	استاندارد	1 ppb	0-5 ppm
فرمالدهید	الکتروشیمیایی	استاندارد	1 ppb	$\pm 2\%$
دی اکسید کربن	مادون قرمز	زیاد	10 ppm	$\pm 2\%$
		استاندارد	0.10%	$\pm 3\%$
ترکیبات آلی فرار	فوتو یونی	زیاد	1 ppb	$\pm 10\%$
		استاندارد	1ppb	$\pm 10\%$



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۹-۲ مشخصات فنی حسگرهای غیر گازی دستگاه AQ-Expert

پارامتر	محدوده	وضوح	دقت
دمای خارجی (T1)	0-2000 °F	0.1 °F	±0.5 °C 0-100 °C
	0-1100 °C	0.1 °C	±5 °C >100 °C
دمای محیط	-40-257 °F	0.1 °F	±0.4 °C (0-60 °C)
	-40-125 °C	0.1 °C	
فشار بارومتریک	260-1260 mbar	1 mbar	±2 mbar
رطوبت نسبی	0-100%	0.10%	±2% RH
اختلاف فشار	±80 mbar	0.1 mbar	±2 mbar
سرعت هوا	0-300 ft/sec	1 ft/sec	

۵.۱.۱.۹ کالیبراسیون

دو نوع کالیبراسیون وجود دارد:

کالیبراسیون صفر: در این نوع کالیبراسیون، باید غلظت گاز هدف در گاز ورودی به دستگاه صفر باشد. در طول زمان عملکرد دستگاه ممکن است به دلیل تغییرات در حسگر، خروجی حسگر عددی منفی شود که با این نوع کالیبراسیون، این مشکل حل خواهد شد.

کالیبراسیون دامنه: در این نوع کالیبراسیون، غلظت گاز هدف در گاز ورودی به دستگاه باید عدد مشخصی باشد. در طول زمان عملکرد دستگاه، ممکن است حساسیت دستگاه کاهش یابد که با این نوع کالیبراسیون، این مشکل حل خواهد شد.

دستگاه AQ Expert هر دو نوع کالیبراسیون صفر^۱ و دامنه^۲ را می تواند انجام دهد. اگر دستگاه برای انجام کالیبراسیون دامنه به شرکت سازنده (E Instrument) فرستاده شود، این شرکت پس از کالیبراسیون یک مدرک

^۱ Zero

^۲ Span



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

کالیبراسیون که تا یک سال معتبر است را به همراه آن ارسال خواهد کرد. اگر دستگاه توسط شرکت دیگری کالیبراسیون دامنه شود دیگر مدرک اصلی آن معتبر نخواهد بود.

انجام هر دو نوع عملیات کالیبراسیون صفر و دامنه از طریق گزینه های موجود در دستگاه امکان پذیر است. در راهنمای^۱ این دستگاه، نحوه هر دو نوع عملیات کالیبراسیون شرح داده شده است.

^۱ manual



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۱.۹ دستگاه GASMET DX4040

دستگاه آنالیز گاز Gasmet DX4040 FTIR می تواند تا ۲۵ گاز را در حالت استاندارد به صورت همزمان و در مدت زمانی در حدود ۲۵ ثانیه اندازه گیری نماید که تا ۵۰ گاز نیز قابل ارتقا می باشد. واژه FTIR در واقع مخفف عبارت «طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه»^۱ می باشد. این دستگاه حدود شناسایی پایین را نیز ارائه می دهد و توانایی تحلیل چندجزئی را دارد.

نحوه اندازه گیری با این دستگاه بدین صورت است که گاز نمونه به وسیله یک پمپ داخلی و از طریق فیلتر ذرات دستی و لوله تایکون^۲ وارد دستگاه می شود. دستگاه می تواند به صورت مداوم اندازه گیری ها را انجام دهد و نتایج را به صورت میانگین های زمانی از یک ثانیه تا پنج دقیقه ارائه دهد. همچنین این دستگاه می تواند غلظت های زیر ppm را نیز اندازه گیری نماید.

^۱ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

^۲ Tycon tubing



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.Ariapayesh.com

حدود قیمت

۴۴۰۰۰ دلار



شکل ۹-۲ دستگاه Gasmet DX4040 به همراه PDA

دستگاه Gasmet DX4040 هم می تواند به صورت کوله پشتی و هم رومیزی استفاده شود. کاربر می تواند به صورت آزادانه در مکان اندازه گیری جابه جا شده و غلظت را در مکان های مختلف اندازه گیری نماید. با کتابخانه استاندارد این دستگاه می توان ۲۵ گاز مختلف را به صورت همزمان شناسایی و اندازه گیری نمود. قابلیت دستگاه می تواند از طریق نرم افزار Calcmeter Pro که به کاربر اجازه دستیابی به یک کتابخانه مرجع شامل بیش از ۲۵۰ گاز را می دهد، افزایش یابد. این دستگاه می تواند با باتری یا به صورت مستقیم با برق ۲۳۰ ولت متناوب کار کند. در حالت کار با باتری، طول عملکرد دستگاه در حدود دو ساعت و نیم است. وزن دستگاه نیز با باتری در حدود ۱۴ کیلوگرم است.

دستگاه Gasmet DX4040 قادر به اندازه گیری تعداد بسیار زیادی از گازهای مختلف شامل هیدروکربن ها، ترکیبات آروماتیک، اسیدها، آلدهیدها، کتون ها، الکل ها، اترها، ترکیبات اپوکسی، ترکیبات سولفوری، ترکیبات نیتروژنی، ترکیبات کلرو، ترکیبات فلئوئورو، فرئون ها و ترکیبات غیر آلی می باشد. مشخصات مربوط به گازهای مهم در محیط های داخلی ایران در جدول ۹-۳ مشخص شده است.

جدول ۳-۹ مشخصات فنی دستگاه Gasmet DX4040

نوع گاز	محدوده	حد کمینه شناسایی (ppm)
منوکسید کربن	0-200 ppm	0.246
دی اکسید کربن	0-2000 ppm	
دی اکسید نیتروژن	0-50 ppm	0.365
فرمالدهید	0-50 ppm	0.086
بنزن	0-50 ppm	0.134

✓ قابلیت شناسایی ترکیبات آلی و غیرآلی

✓ حل مشکل تقاطع حساسیت به صورت خودکار

✓ عدم نیاز به تعویض حسگرها

✓ کالیبراسیون ساده با هوا یا نیتروژن



شکل ۳-۹ دستگاه Gasmet DX4040

دستگاه Gasmet DX4040 مجهز به یک PDA است که نرم افزار Calcmet بر روی آن نصب شده است. این نرم افزار در دو نسخه Lite و Professional توسعه داده شده است. تمامی اطلاعات مربوط به اندازه گیری ها بر روی دستگاه PDA ذخیره شده و می تواند از طریق مودم داخلی دستگاه به سایر دستگاه ها نظیر لپ تاپ فرستاده شود. کالیبراسیون برای کالیبراسیون دستگاه تنها بایستی به صورت روزانه از نیتروژن یا هوای تمیز استفاده نمود و نیازی به گازهای خاص یا مواد دیگری وجود ندارد.

۳.۱.۹ دستگاه Aeroqual S500

دستگاه پایش هوای Aeroqual S500 یک دستگاه قابل حمل با قابلیت اندازه گیری دقیق چندین گاز مختلف با غلظت های متفاوت و در محیط های داخلی و خارجی است. ثبت داده ها در این دستگاه به صورت داخلی بوده و عمر باتری لیتیومی آن نیز طولانی است. به طور کلی ویژگی های اصلی این دستگاه عبارتند از:

- ثبت داخلی داده ها؛
- باتری لیتیومی؛
- نرم افزار کامپیوتری (ویندوز ۷، ۸ و XP)؛
- ارتباط با کامپیوتر از طریق درگاه USB؛
- زنگ هشدار بلند و کم؛
- حسگرهای گاز قابل تعویض (بیش از ۳۰ حسگر)؛ و
- حسگرهای اختیاری دما و رطوبت نسبی.

آدرس های اینترنتی جهت سفارش

www.Ariapayesh.com

www.gas-sensing.com

حدود قیمت

۱۴۰۰ دلار



شکل ۹-۴ دستگاه Aeroqual S500



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- ✓ دقت بالای اندازه گیری در حد ppb
- ✓ امکان کالیبراسیون از طریق دستگاه
- ✓ قابلیت تعویض و شارژ مجدد سنسور
- ✓ قابلیت ذخیره سازی اطلاعات بر روی دستگاه و کامپیوتر
- ✓ دارای حسگر دما و رطوبت



شکل ۹-۵ کالیبراسیون دستگاه Aeroqual S500

مشخصات انواع حسگرهای مربوط به گازهای آلاینده در محیط های داخلی، قابل نصب بر روی دستگاه Aeroqual S500، در

جدول ۹-۴ آورده شده است. لازم به ذکر است که حسگرهای دستگاه باید علاوه بر دستگاه خریداری شود و قیمت هر حسگر نیز متفاوت است. این موضوع می تواند باعث صرفه جویی اقتصادی شود زیرا می توان تنها حسگرهایی را که مورد نیاز است خریداری نمود. همچنین این دستگاه یک سال گارانتی نیز خواهد داشت.

- ✓ حسگرهای قابل تعویض
- ✓ متغیر بودن محدوده اندازه گیری حسگرها
- ✓ حدود قیمت حسگرها ۴۰۰ دلار



شکل ۹-۶ نمونه ای از حسگرهای دستگاه S500



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۹-۴ مشخصات انواع حسگرهای قابل نصب بر روی دستگاه Aeroqual S500

نوع گاز	نوع حسگر	محدوده اندازه گیری	حد پایین (ppm)	وضوح (ppm)	دقت
منوکسید کربن	نیمه هادی	0-1000 ppm	1	1	$\pm 2 \text{ ppm} + 15\%$
	الکتروشیمیایی	0-100 ppm	0.2	0.1	$\pm 1 \text{ ppm}$ 0-10 ppm $\pm 10\%$ 10-1000 ppm
	الکتروشیمیایی	0-25 ppm	0.05	0.01	$\pm 0.5 \text{ ppm}$ 0-5 ppm $\pm 10\%$ 5-25 ppm
دی اکسید کربن	مادون قرمز	0-5000 ppm	20	1	$\pm 20 \text{ ppm} + 5\%$
	مادون قرمز	0-2000 ppm	10	1	$\pm 10 \text{ ppm} + 5\%$
دی اکسید نیتروژن	الکتروشیمیایی	0-1 ppm	0.005	0.001	$\pm 0.02 \text{ ppm}$ 0-0.2 ppm $\pm 10\%$ 0.2-1 ppm
فرمالدهید	الکتروشیمیایی	0-10 ppm	0.01	0.01	$\pm 0.05 \text{ ppm}$ 0-0.5 ppm $\pm 10\%$ 0.5-10 ppm
ازن	الکتروشیمیایی	0-10 ppm	0.01	0.01	$\pm 0.01 \text{ ppm} + 7.5\%$
	نیمه هادی	0-0.5 ppm	0.001	0.001	$\pm 0.008 \text{ ppm}$ 0-0.1 ppm $\pm 10\%$ 0.1-0.5 ppm
	نیمه هادی	0-0.15 ppm	0.001	0.001	$\pm 0.005 \text{ ppm}$
	نیمه هادی	0-0.05 ppm	0.001	0.001	$\pm 0.002 \text{ ppm}$
ترکیبات آلی فرار	نیمه هادی	0-500 ppm	1	1	$\pm 5 \text{ ppm} + 10\%$
	نیمه هادی	0-25 ppm	0.1	0.1	$\pm 0.1 \text{ ppm} + 10\%$
	فوتو یونی	0-1000 ppm	0.1	0.1	$\pm 0.2 \text{ ppm} + 10\%$
	فوتو یونی	0-20 ppm	0.01	0.01	$\pm 0.02 \text{ ppm} + 10\%$

حدود قیمت حسگرهای دستگاه S500 ۴۰۰ دلار می باشد. البته دو حسگر دی اکسید کربن و ترکیبات آلی فرار قیمت های متفاوتی دارند. قیمت حسگر دی اکسید کربن در حدود ۶۰۰ دلار و حسگرهای ترکیبات آلی فرار در حدود ۲۰۰۰ دلار است. در ایران دو شرکت آریا پایش و پایش زیست آزما اقدام به توزیع این دستگاه می نمایند که در جدول ۹-۵ لیست قیمت استعلام شده از شرکت زیست آزما آورده شده است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۵-۹ قیمت دستگاه Aeroqual S500 و حسگرهای مختلف آن (استعلام شرکت پایش زیست آزما)

شرح کالا	محدوده غلظت	قیمت واحد (تومان)
Aeroqual S500	---	۹۳۰۰۰۰۰
Sensor NO2	0-1 ppm	۳۶۰۰۰۰۰
Sensor CO	0-25 ppm	۳۶۰۰۰۰۰
Sensor O3	0-0.5 ppm	۳۶۰۰۰۰۰
Sensor CH2O	0-10 ppm	۴۸۰۰۰۰۰
Sensor VOC	0-20 ppm	۱۱۹۰۰۰۰۰

۱.۳.۱.۹ کالیبراسیون

حسگرهای دستگاه Aeroqual S500 می توانند به دو روش کالیبره شوند:

۱. بازگرداندن حسگر به شرکت Aeroqual و خرید حسگر تعویضی با مدرک کالیبراسیون جدید؛ یا

۲. کالیبراسیون دستی.

شرکت Aeroqual یک ابزار کالیبراسیون به نام R42 که در شکل ۵-۹ نیز نشان داده شده است، به منظور کالیبره

کردن حسگرها به صورت دستی ارائه می دهد. دستگاه قادر به هر دو نوع کالیبراسیون صفر و دامنه می باشد و روند

کالیبراسیون به صورت واضح در راهنمای دستگاه آورده شده است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۴.۱.۹ دستگاه C16 PortaSense II

دستگاه آشکارگر قابل حمل C16 PortaSense II یک دستگاه شناسایی گازهای مختلف است که با یک دست نیز قابل حمل می باشد. این دستگاه شامل یک پمپ داخلی است و کابلی انعطاف پذیر برای ورودی گاز آن تعبیه شده است که می تواند کار نمونه گیری را راحت تر نماید. همچنین صفحه نمایش بزرگ همراه با نور پس زمینه، خواندن اعداد را در این دستگاه آسان نموده است.

در دستگاه C16 می توان از طریق نصب حسگر مربوط به گاز مورد نظر، میزان غلظت آن را اندازه گیری نمود. این بدان معناست که با این دستگاه می توان تا حدود بیش از ۳۰ نوع گاز و بخار را اندازه گیری نمود که باعث صرفه جویی در هزینه می گردد. حسگرها می توانند به راحتی و با سرعت تعویض شده و پس از تعویض حسگر نیازی به کالیبراسیون مجدد آن وجود ندارد. مشخصات انواع حسگرهای مربوط به گازهای آلاینده در محیط های داخلی، قابل نصب بر روی دستگاه C16 PortaSens II، در جدول ۹-۶ آورده شده است.

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.gas-sensing.com

حدود قیمت

۱۵۰۰ دلار



شکل ۹-۷ دستگاه C16 PortaSens II



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- ✓ حسگرهای قابل تعویض (بیش از ۳۰ گاز مختلف)
- ✓ طراحی برای جابه جایی با یک دست
- ✓ قابلیت اندازه گیری لحظه ای و میانگین زمانی
- ✓ هشدارهای سمعی و بصری



شکل ۸-۹ دستگاه C16 به همراه برخی لوازم جانبی

حسگرهای استفاده شده در دستگاه C16 محصول شرکت ATI هستند. هر ماژول حسگر در واقع یک حسگر، تقویت کننده و حافظه در یک پکیج فشرده است. به دلیل همین طراحی، ماژول های حسگر می توانند به صورت مجزا کالیبره شده و به سادگی به دستگاه متصل شوند. زمانی که حسگر بر روی دستگاه نصب می شود، داده های کالیبراسیون بر روی میکرو پردازشگر بارگذاری شده و نیازی به تنظیمات جدید وجود نخواهد داشت. هر حسگر با یک محدوده استاندارد اندازه گیری ارائه می شود. با این وجود برای کاربردهای خاص، هر حسگر می تواند برای محدوده های دلخواه نیز کالیبره شود. همچنین میزان دقت حسگرها نیز متفاوت است ولی به طور کلی در حدود ۵ درصد میزان قرائت شده می باشد.

- ✓ دقت حسگرها در حدود ۵ درصد
- ✓ متغیر بودن محدوده اندازه گیری حسگرها



شکل ۹-۹ نمونه ای از حسگرهای دستگاه C16



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۹-۶ مشخصات انواع حسگرهای قابل نصب بر روی دستگاه C16 PortaSens II

نوع گاز	محدوده اندازه گیری			وضوح (ppm)
	کمینه	بیشینه	استاندارد	
منوکسید کربن	0-50 ppm	0-1000 ppm	0-200 ppm	1
دی اکسید نیتروژن	0-10 ppm	0-200 ppm	0-20 ppm	0.1
فرمالدهید	0-20 ppm	0-200 ppm	0-20 ppm	0.1
	0-500 ppm	0-2000 ppm	0-1000 ppm	1
ازن	0-200 ppm	0-1000 ppm	0-1000 ppm	1
	0-5 ppm	0-200 ppm	0-20 ppm	0.1
	0-1 ppm	0-5 ppm	0-2 ppm	0.01
	0-500 ppb	0-2000 ppb	0-1000 ppb	0.001

۱.۴.۱.۹ کالیبراسیون

دستگاه C16 PortaSens II نیز همانند سایر دستگاه ها هر دو نوع کالیبراسیون صفر و دامنه را دارا می باشد. به منظور افزایش دقت و کارایی بهتر است که دستگاه برای کالیبراسیون به شرکت ATI فرستاده شود اما در راهنمای دستگاه مراحل کالیبراسیون صفر و دامنه توضیح داده شده است. دستگاه تقریباً هر دو تا سه ماه یکبار به کالیبراسیون صفر و هر شش ماه به کالیبراسیون دامنه نیاز خواهد داشت. باید توجه داشت که همواره باید پیش از کالیبراسیون دامنه، کالیبراسیون صفر انجام شود.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۵.۱.۹ دستگاه Formaldehyde Multimode Monitor (FMM-MD)

دستگاه‌هایی همانند Aeroqual S500 توانایی اندازه‌گیری غلظت فرمالدهید را دارا می‌باشند اما به دلیل استفاده از حسگر الکتروشیمیایی برای اندازه‌گیری فرمالدهید ممکن است با مشکل «تقاطع حساسیت» که در بخش ۳.۱.۱.۶ توضیح داده شده است، روبرو شوند. بر این اساس غلظت فرمالدهید اندازه‌گیری شده توسط دستگاه به طور خالص به دلیل وجود فرمالدهید نبوده و برخی گازهای دیگر نیز ممکن است توسط دستگاه به عنوان فرمالدهید اندازه‌گیری شده باشند.

برای برطرف کردن مشکل تقاطع حساسیت در اندازه‌گیری فرمالدهید، از حسگر دیگری از نوع کالریمتری استفاده می‌شود. این حسگر در دستگاه FMM-MD ساخته شده توسط کمپانی Shinyei کشور ژاپن استفاده شده است. محدوده غلظت قابل اندازه‌گیری این دستگاه، وضوح اندازه‌گیری و دقت بالای آن، دستگاه FMM-MD را برای اندازه‌گیری در محیط‌های داخلی کاملاً مناسب کرده است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

آدرس های اینترنتی جهت سفارش

www.Ariapayesh.com

www.shinyei.co.jp

حدود قیمت

۱۵۰۰ دلار



شکل ۹-۱۰ دستگاه FMM-MD

روش اندازه گیری فرمالدهید توسط دستگاه FMM-MD به این صورت است که حسگرهای دستگاه که در شکل ۹-۱۱ نشان داده شده اند، به دلیل واکنش شیمیایی رخ داده میان فرمالدهید موجود در هوا با ماده $\beta - diketone$ موجود بر روی سطح شیشه ای متخلخل حسگر، تغییر رنگ می دهند. این تغییر رنگ توسط دستگاه نشان داده شده در شکل ۹-۱۰ و از طریق تابش نوری با طول موج مشخص و اندازه گیری میزان جذب نور توسط حسگر قبل و بعد از اندازه گیری، به غلظت فرمالدهید تبدیل می شود.

هر دستگاه FMM-MD هنگام خرید ۵ حسگر نیز به همراه دارد و بنابراین می توان به طور همزمان نمونه برداری را در مکان های مختلف انجام داد و سپس با وارد کردن حسگر به دستگاه اصلی، مقدار غلظت فرمالدهید را اندازه گیری کرد. از طرفی در صورت نیاز به اندازه گیری غلظت فرمالدهید در یک بازه زمانی طولانی، می توان حسگر را وارد دستگاه اصلی کرده و در محل مورد نظر قرار داد. دستگاه هر ۳۰ دقیقه مقدار غلظت فرمالدهید را اندازه گیری کرده و در حافظه خود نگه می دارد. از این طریق می توان روند تغییرات غلظت فرمالدهید را به طور نمونه در یک



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

شبانه روز اندازه گیری نمود. باید توجه داشت که حسگرهای دستگاه قابلیت استفاده مجدد نیز دارند و به عبارتی دیگر یک بار مصرف نمی باشند.



Colorimetric reaction to exposure.

شکل ۹-۱۱ نحوه پاسخ حسگرهای دستگاه FMM-MD به فرمالدهید و تغییر رنگ حسگر

مشخصات فنی دستگاه FMM-MD در جدول ۹-۷ آورده شده است. دستگاه FMM-MD از یک صفحه نمایش LCD دیجیتالی به منظور نمایش اطلاعات بهره می برد. حافظه این دستگاه قابلیت ذخیره تا ۴۵۰۰ داده مربوط به ۲۵۵ حسگر مختلف را دارا می باشد. این دستگاه هم قابلیت کار با دو باتری آلکالینی و هم اتصال مستقیم به برق AC را دارد. هم چنین نرم افزار مخصوص دستگاه نیز برای انتقال اطلاعات به کامپیوتر و رسم نمودارهای دلخواه به همراه دستگاه عرضه می شود.

جدول ۹-۷ مشخصات فنی دستگاه FMM-MD

نام دستگاه	نوع گاز	نوع حسگر	محدوده غلظت	وضوح	دقت
FMM-MD	فرمالدهید	کالریمتری	20-1000 ppb	1 ppb	± 10%



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱.۵.۱.۹ کالبراسیون

یکی از مهم ترین ویژگی های دستگاه FMM-MD عدم نیاز آن به انجام کالبراسیون است.

-
- | | |
|---|---------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • اندازه گیری فرمالدهید با دقت و وضوح بالا مناسب محیط های داخلی | <p>ویژگی ها و مزایای</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • عدم نیاز به کالبراسیون | <p>دستگاه</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • قابلیت اندازه گیری همزمان در مکان های مختلف | <p>FMM-MD</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • عدم تداخل با سایر گازهای محیطی به دلیل استفاده از روش کالریمتری | |
| <ul style="list-style-type: none"> • قابلیت اتصال به کامپیوتر و مجهز به نرم افزار مخصوص | |
-

۲.۹ دستگاه های اندازه گیری ذرات

۱.۲.۹ دستگاه پایش ذرات DustTrack DRX

دستگاه پایش ذرات DustTrack DRX در دو مدل 8533 و 8534 عرضه شده است. مدل 8533 به صورت رومیزی و مدل 8534 دستی و قابل حمل است. هر دو مدل می توانند به صورت همزمان توزیع جرمی و اندازه ذرات معلق را اندازه گیری نمایند. دستگاه پایش DustTrack DRX با باتری کار کرده و به صورت در لحظه اندازه گیری ها را انجام می دهد. این دستگاه بر مبنای فناوری های اپتیکی کار می کند و برای اندازه گیری آلاینده های هم چون گرد و غبار، دود، ذرات و مه مورد استفاده قرار می گیرد.

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.btmco.ir

حدود قیمت

۱۰۰۰۰ دلار



شکل ۹-۱۲ دستگاه DustTrack DRX 8533

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.btmco.ir

حدود قیمت

۹۰۰۰ دلار



شکل ۹-۱۳ دستگاه DustTrack DRX 8534



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

هر دو مدل دستگاه DustTrack DRX در واقع «نورسنج های لیزری بر مبنای پخش نور^۱» هستند که به صورت همزمان غلظت جرمی تفکیک شده متناظر با PM1، PM2.5، ذرات استنشاقی، PM10 و مجموع ذرات معلق را اندازه گیری می نمایند. این روش اندازه گیری از هر دو روش «نورسنجی معمولی^۲» و «شمارنده ذرات نوری^۳» برتر است. این روش می تواند هم خروجی نورسنج معمولی یعنی غلظت جرمی را به دست دهد و هم خروجی شمارنده ذرات نوری یعنی توزیع اندازه ذرات را محاسبه کند.

✓ نورسنج ها می توانند در غلظت های جرمی بزرگ استفاده شوند ولی نمی توانند هیچ اطلاعاتی در مورد اندازه ذرات در اختیار قرار دهند مگر اینکه از ورودی هایی که می توانند اندازه ذرات را انتخاب نمایند، بهره ببرند. هم چنین این دستگاه ها غلظت جرمی ذرات بزرگ را به صورت چشمگیری کمتر تخمین می زنند.

✓ دستگاه های شمارنده ذرات نوری (OPC) اطلاعات اندازه و تعداد را ارائه می کنند ولی هیچ اطلاعاتی در مورد غلظت جرمی در اختیار قرار نمی دهند و نمی توانند در محیط های با غلظت جرمی بالا نیز استفاده شوند.

¹ Light-scattering laser photometers

² Basic photometer

³ Optical Particle Counter (OPC)

مدل رومیزی: برای بررسی های طولانی مدت و کاربردهای پایش از راه دور ایده آل است.

مدل دستی: برای بررسی های میدانی و کاربردهای داده برداری تک نقطه ای مناسب است.



شکل ۹-۱۴ مدل رومیزی و دستی DustTrack DRX

- اندازه گیری همزمان غلظت های جرمی PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، ذرات استنشاقی، PM_{10} و مجموع ذرات معلق

- برنامه ریزی و عملکرد ساده

- رابط گرافیکی با صفحه نمایش لمسی رنگی

- انجام تحلیل وزن سنجی همزمان برای کالیبراسیون با مرجع دلخواه

- صفر خودکار (همراه با ماژول اختیاری صفر) که اثر رانش صفر را به حداقل می رساند.

ویژگی ها و مزایای

دستگاه

DustTrack DRX

مشخصات فنی دستگاه اندازه گیری ذرات معلق DustTrack DRX که برای هر دو مدل رومیزی و دستی یکسان است، در جدول ۸-۹ آورده شده است. وزن مدل رومیزی با باتری در حدود ۱/۵ کیلوگرم و وزن مدل دستی با یک باتری ۲ کیلوگرم و با دو باتری ۲/۵ کیلوگرم می باشد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۸-۹ مشخصات فنی دستگاه اندازه گیری ذرات معلق DustTrack DRX

نام دستگاه	نوع حسگر	محدوده اندازه ذرات	محدوده غلظت ذرات	وضوح	دبی جرمی
DustTrack DRX	پراکنش نور	0.1-15 μm	1-150000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ یا $\pm 0.1\%$ (هر کدام بزرگتر باشد)	3 lit/min

۱.۱.۲.۹ کالیبراسیون

دستگاه DustTrack DRX دارای دو نوع کالیبراسیون فتومتریک^۱ و اندازه^۲ است. در حالتی که تنها کالیبراسیون اندازه انجام شود به آن کالیبراسیون استاندارد گفته می شود. اگر ابتدا کالیبراسیون فتومتریک و سپس کالیبراسیون اندازه انجام شود به آن کالیبراسیون پیشرفته گفته خواهد شد. هر دو نوع کالیبراسیون توسط کاربر قابل انجام می باشد. البته باید توجه داشت که کالیبراسیون استاندارد نمی تواند غلظت جرمی را به خوبی کالیبره کند و برای این منظور بایستی از کالیبراسیون پیشرفته استفاده نمود. روند انجام کالیبراسیون دستگاه DustTrack DRX در راهنمای آن به خوبی توضیح داده شده است. هم چنین یک مازول برای صفر کردن دستگاه نیز وجود دارد که تنها با مدل رومیزی کار می کند.

^۱ Photometric calibration factor (PCF)

^۲ Size calibration (SCF)



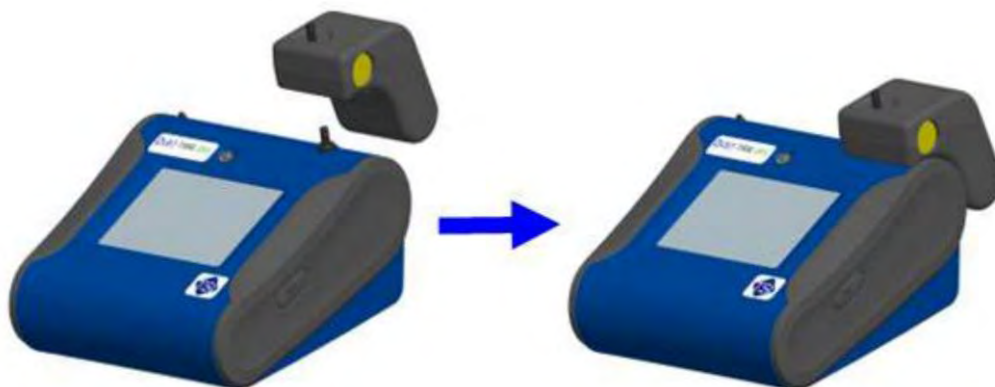
معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۹-۱۵ مازول مربوط به صفر کردن دستگاه مدل رومیزی

۲.۲.۹ دستگاه Aerocet 531S

دستگاه Aerocet 531S یک دستگاه کوچک، دستی، باتری دار و به طور کلی دستگاهی قابل حمل است. این دستگاه می تواند هم تعداد ذرات و هم غلظت جرمی آن ها را اندازه گیری نماید. در حالت جرمی، دستگاه می تواند شش محدوده مهم PM_{10} ، PM_7 ، PM_4 ، $PM_{2.5}$ ، PM_1 و مجموع ذرات معلق را محاسبه کند. در حالت شمارشی، دستگاه می تواند تا پنج محدوده 0.3 ، 0.5 ، 1 ، 5 و 10 میکرومتر را اندازه گیری کند. این دستگاه با استفاده از فناوری لیزر تعداد ذرات را شمارش کرده و سپس از طریق یک الگوریتم اختصاصی، غلظت جرمی معادل را نیز به دست می آورد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

آدرس های اینترنتی جهت سفارش

www.btmco.ir

www.metone.com

حدود قیمت

۴۰۰۰ دلار



شکل ۹-۱۶ دستگاه Aerocet 531S

• اندازه گیری تعداد و غلظت جرمی ذرات

• کوچک و قابل حمل

• قابلیت اندازه گیری دما و رطوبت

• ۱۰ ساعت طول عملکرد مداوم باتری

• وزن کم در حدود ۹۰۰ گرم

ویژگی ها و مزایای

دستگاه

Aerocet 531S



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

مشخصات فنی دستگاه اندازه گیری ذرات معلق Aerocet 531S، در جدول ۹-۹ آورده شده است.

جدول ۹-۹ مشخصات فنی دستگاه Aerocet 531S

نام دستگاه	حالت عملکرد	محدوده غلظت	مدت زمان نمونه گیری	دقت
Aerocet 531S	جرمی	0-1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 minute	$\pm 10\%$
	تعدادی	0-300000 particle/ft ³	1 minute	$\pm 10\%$

۱.۲.۲.۹ کالیبراسیون

دستگاه Aerocet 531S باید سالانه کالیبره شود و به این منظور بایستی دستگاه به شرکت Met One فرستاده شود. عملیات کالیبراسیون نمی تواند توسط مشتری انجام گردد زیرا به تجهیزات خاص و افراد ماهر نیازمند است. هم چنین کالیبراسیون سالیانه شامل بازرسی و تعمیرات پیشگیرانه به منظور بهبود عملکرد و افزایش قابلیت اطمینان دستگاه نیز می باشد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۳.۲.۹ دستگاه AeroCet 831

دستگاه AeroCet 831 یک دستگاه پایش ذرات معلق کوچک و مقرون به صرفه است که به طور همزمان می تواند غلظت جرمی پنج محدوده مهم PM1، PM2.5، PM4، PM10 و مجموع ذرات معلق را اندازه گیری نماید. داده ها را می توان از طریق صفحه نمایش دستگاه مشاهده نمود و یا از طریق کابل USB به کامپیوتر منتقل کرد. این دستگاه می تواند تا ۲۵۰۰ داده را در خود ذخیره نماید. این دستگاه ذرات را در ۷ محدوده مختلف شمارش کرده و سپس از طریق یک الگوریتم اختصاصی داده های تعدادی را به غلظت جرمی در واحد $\frac{\mu g}{m^3}$ تبدیل می نماید.

آدرس های اینترنتی جهت سفارش

www.metone.com

www.Ariapayesh.com

حدود قیمت

۳۰۰۰ دلار



شکل ۹-۱۷ دستگاه AeroCet 831

- اندازه گیری غلظت جرمی ذرات

ویژگی ها و مزایای

- کوچک و قابل حمل

دستگاه

- ۸ ساعت طول عملکرد مداوم باتری

Aerocet 531S

- وزن کم در حدود ۷۹۰ گرم

مشخصات فنی دستگاه اندازه گیری ذرات معلق Aerocet 831، در جدول ۹-۱۰ آورده شده است.

جدول ۹-۱۰ مشخصات فنی دستگاه Aerocet 831

نام دستگاه	حالت عملکرد	محدوده غلظت	وضوح	مدت زمان نمونه گیری	دقت
Aerocet 831	جرمی	0-1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 minute	$\pm 10\%$

۱.۳.۲.۹ کالیبراسیون

دستگاه Aerocet 831 باید سالانه کالیبره شود و به این منظور بایستی دستگاه به شرکت Met One فرستاده شود. عملیات کالیبراسیون نمی تواند توسط مشتری انجام گردد زیرا به تجهیزات خاص و افراد ماهر نیازمند است. تجهیزات کالیبراسیون دستگاه های Met One از روش های صنعتی قابل قبول نظیر ISO و JIS استفاده می نمایند. علاوه بر این، کالیبراسیون سالانه شامل تعمیرات پیشگیرانه به منظور جلوگیری از خرابی های ناخواسته نیز می باشد که شامل موارد زیر می باشد:

- بررسی فیلتر خروجی؛
- بررسی و تمیز کردن حسگر نوری؛
- بررسی پمپ و لوله ها؛ و
- تست کردن باتری.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

دستگاه قابل حمل پایش ذرات محیطی محصول برند Turnkey کشور انگلستان جهت اندازه گیری پارامترهای TSP، PM10، PM2.5 و PM1 طراحی گردیده است. در ایران شرکت پایش زیست آزما نمایندگی رسمی این دستگاه می باشد. این دستگاه غلظت جرمی ذرات را متناسب با محیط های داخلی اندازه گیری می نماید. روش اندازه گیری این دستگاه نیز Laser Nephelometer است. داده های ثبت شده توسط این دستگاه می تواند از طریق یک کابل به کامپیوتر منتقل گردد.

آدرس های اینترنتی جهت سفارش

www.zistazmagroup.com

تلفن تماس جهت سفارش کالا

021-44267403

حدود قیمت

۵۰۰۰ دلار



شکل ۹-۱۸ دستگاه DustMate



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

مشخصات فنی دستگاه اندازه گیری ذرات DustMate در جدول ۹-۱۱ مشخص شده است. همچنین دستگاه DustMate قابلیت اتصال به برق یا استفاده از باتری را نیز دارا می باشد. وزن دستگاه در حدود ۱/۲ کیلوگرم بوده و دارای حافظه داخلی به منظور ذخیره سازی اطلاعات می باشد. محدوده دمای کاری دستگاه نیز از ۵- تا ۵۰ درجه سانتیگراد است.

جدول ۹-۱۱ مشخصات فنی دستگاه DustMate

نام دستگاه	حالت عملکرد	محدوده غلظت	حد پایین غلظت	وضوح	مدت زمان نمونه گیری
DustMate	جرمی	0-6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1-4 Second

۲.۳.۲.۹ کالیبراسیون

دستگاه DustMate مجهز به یک فیلتر رفرنس داخلی است که به روش گراویمتری^۱ عملیات کالیبراسیون را انجام می دهد.

^۱ Gravimetric



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۳.۹ دستگاه‌های اندازه‌گیری رادون

۱.۳.۹ دستگاه Corentium Pro

دستگاه Corentium Pro یک سیستم دیجیتالی برای پایش گاز رادون در محیط‌های داخلی است. این دستگاه با باتری کار می‌کند و به همین دلیل می‌تواند در نقاط مختلف و دلخواه نصب گردد. این دستگاه هوا را از طریق یک محفظه دیفیوژن به داخل کشیده و سپس از طریق طیف‌سنجی اشعه آلفا سطح رادون را به صورت دقیق تعیین می‌نماید. این دستگاه هنگام تولید کالیبره نیز می‌شود و به تغییرات دمایی، رطوبت، ذرات و میدان الکترومغناطیسی، به شرطی که در محدوده مجاز دستگاه باشند، چندان حساس نیست. صفحه نمایش (LCD) دستگاه مقادیر میانگین بلند مدت را تا یک سال (به‌روز رسانی ۲۴ ساعته) نمایش می‌دهد. همچنین مقادیر میانگین کوتاه مدت روزانه (به‌روز رسانی ساعتی) و هفتگی (به‌روز رسانی ۲۴ ساعته) نیز نمایش داده می‌شوند. این دستگاه با ۳ باتری آلکالینی کار می‌کند و همراه با باتری‌ها وزنی در حدود ۱۴۰ گرم دارد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.usa.corentium.com

حدود قیمت

۱۵۰۰ دلار



شکل ۹-۱۹ دستگاه Corentium Pro

- مجهز به حسگر دما، رطوبت، فشار بارومتري
- ذخیره سازی ۱۰ سال داده های حسگر با وضوح ۱ ساعتي
- مجهز به نرم افزار آنالیز و گزارش کورنتیوم
- طول عمر باتری در حدود ۲ سال
- وزن بسیار کم در حدود ۱۴۰ گرم

ویژگی ها و مزایای

دستگاه

Corentium Pro

دستگاه پایش رادون Corentium Pro مجهز به نرم افزار آنالیز و گزارش کورنتیوم^۱ است که همراه با دستگاه ارائه می شود. این نرم افزار به کاربر امکان انتقال همه داده ها را از طریق یک کابل micro-USB به کامپیوتر می دهد. این نرم افزار قابلیت های متنوعی دارد که از آن جمله می توان به تولید نمودارهای گرافیکی مختلف، گزارش های حرفه ای

^۱ Corentium Report and Analyze (CRA) Software

متنوع و تبدیل همه داده ها به فرمت اکسل اشاره نمود. نمونه ای از نمودارهای قابل رسم با این نرم افزار در شکل ۹-۲۰ نشان داده شده است.

دستگاه Corentium Pro غلظت رادون را در واحد پیکوکوری بر لیتر (pCi/L) نمایش می دهد. هر pCi/L معادل با ۳۷ بکرل بر مترمکعب (Bq/m³) است. مشخصات فنی دستگاه پایش رادون Corentium Pro در جدول ۹-۱۲ آورده شده است.

جدول ۹-۱۲ مشخصات فنی دستگاه Corentium Pro

نام دستگاه	پارامتر	محدوده اندازه گیری	وضوح	دقت
Corentium Pro	رادون	0-500 pCi/L		$\pm 0.1 \text{ pCi/L} < 5\%$
	دما	4-40 °C	0.336 °C	$\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	رطوبت	5-95 %RH	0.5 %RH	$\pm 4.5 \%$
	فشار بارومتري	50-115 kPa	0.06 kPa	$\pm 1 \text{ kPa}$

۱.۱.۳.۹ کالیبراسیون

دستگاه Corentium Pro دارای یک کالیبراسیون داخلی است که به صورت دوره ای دستگاه را کالیبره می کند. معمولاً اگر در محیط های داخلی (غلظت های کم) از دستگاه استفاده شود نیازی به کالیبراسیون خارجی نخواهد داشت. در غیر این صورت باید دستگاه سالانه به شرکت سازنده برای انجام کالیبراسیون ارسال شود. شرکت Corentium هر سال در دو زمان یعنی اول فوریه و اول آگوست دستگاه ها را برای کالیبراسیون پذیرش می کند. طول مدت زمان کالیبراسیون دستگاه در حدود ۲۰ روز کاری است و هزینه ای در حدود ۱۸۰ دلار آمریکا نیز خواهد داشت.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۹-۲۰ نمونه ای از نمودارهای قابل رسم با نرم افزار CRA مربوط به دستگاه Corentium Pro

۲.۳.۹ دستگاه Corentium

دستگاه اندازه گیری گاز رادون Corentium دستگاهی مشابه با Corentium Pro است اما برخی از امکانات و لوازم جانبی آن و در نتیجه قیمت این دستگاه، کاهش یافته است اما از لحاظ عملکرد پایش رادون تفاوتی ندارد.

تفاوت های اصلی این دستگاه با مدل Pro را می توان به شرح زیر بیان نمود:

- عدم وجود حسگرهای دما، رطوبت و فشار؛
- عدم وجود نرم افزار رابط بین دستگاه و کامپیوتر (نرم افزار CRA)؛ و
- قیمت کمتر.

۱.۲.۳.۹ کالیبراسیون

در طول عمر مفید این دستگاه که حدود ۱۰ سال است نیازی به کالیبراسیون خارجی وجود ندارد. در مورد دستگاه Corentium Pro در صورت نیاز به کالیبراسیون بایستی دستگاه به شرکت سازنده فرستاده شود.

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.usa.corentium.com

حدود قیمت

۲۵۰ دلار



شکل ۹-۲۱ دستگاه Corentium

۳.۳.۹ دستگاه Radon Scout

دستگاه Radon Scout به منظور اندازه گیری رادون در محیط های داخلی طراحی شده است. این دستگاه می تواند توزیع زمانی رادون را حتی در غلظت های کمتر از 100 Bq/m^3 نیز نشان دهد و بنابراین می توان تاثیرات تغییرات آب و هوا (شرایط هواشناسی) و تهویه را بر روی سطح رادون مشاهده نمود. این دستگاه می تواند مستقیماً به یک مودم متصل شود تا اطلاعات را از راه دور نیز منتقل نماید. محفظه اندازه گیری این دستگاه مجهز به یک حسگر



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

نیمه هادی است و نسبت به رطوبت محیط نیز حساسیتی ندارد. هم چنین حسگرهای دما، رطوبت و شیب نیز بر روی دستگاه نصب شده است.

این دستگاه از دو باتری استفاده کرده و طول عمر باتری ها نیز در حدود ۴ ماه تخمین زده شده است. دستگاه قابلیت اتصال به برق را ندارد. این دستگاه قابلیت ذخیره سازی ۶۷۲ داده را دارد. هم چنین بازه زمانی انتگرال گیری دستگاه از داده ها برای ذخیره سازی بین ۱ تا ۳ ساعت متغیر است.

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.sarad.de

حدود قیمت

۱۸۰۰ دلار



شکل ۹-۲۲ دستگاه Radon Scout

• مجهز به حسگر دما، رطوبت و شیب

• قابلیت ذخیره سازی ۶۷۲ داده

• مجهز به نرم افزار Radon Vision

• حساسیت بالا مناسب برای محیط های داخلی

• وزن بسیار کم در حدود ۸۰۰ گرم

ویژگی ها و مزایای

دستگاه

Radon Scout



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

دستگاه Radon Scout مجهز به نرم افزار Radon Vision نیز می باشد. این نرم افزار قابلیت های متعددی نظیر رسم نمودارهای گرافیکی و انتخاب فرمت ذخیره سازی اطلاعات (نظیر اکسل) را فراهم می نماید. همچنین نرم افزار امکان انتخاب واحد اندازه گیری رادون را از میان دو واحد Bq/m³ و pCi/L ایجاد می نماید. مشخصات فنی این دستگاه در جدول ۹-۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۹-۱۳ مشخصات فنی دستگاه Radon Scout

نام دستگاه	پارامتر	محدوده اندازه گیری	دقت
Radon Scout	رادون	0-10 MBq/m ³	<±5%
	دما	-20-40 °C	
	رطوبت	0-100 %RH	

۴.۳.۹ دستگاه Radon Scout Plus

این دستگاه در واقع مدل پیشرفته تر دستگاه Radon Scout است اما تفاوتی در محدوده و دقت اندازه گیری رادون ندارد. تفاوت های اصلی این دستگاه نسبت به مدل معمولی افزوده شدن حافظه داخلی دستگاه از ۶۷۲ داده به ۱۶۳۸۳ داده، اضافه شدن حسگر فشار بارومتری، افزایش بازه انتگرال گیری داده ها از ۱ تا ۳ ساعت به ۱ دقیقه تا ۲۵۵ دقیقه و همچنین اضافه شدن یک صفحه نمایش بر روی دستگاه می باشد. در ضمن دستگاه Radon Scout Plus علاوه بر باتری می تواند به منبع برق نیز متصل شده و در نتیجه به صورت بدون وقفه کار کند. با توجه به افزوده شدن امکانات فوق به دستگاه Radon Scout Plus نسبت به مدل معمولی، قیمت دستگاه نیز افزایش قابل توجهی یافته است. مشخصات فنی این دستگاه در جدول ۹-۱۴ نشان داده شده است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.sarad.de

www.Ariapayesh.com

حدود قیمت

۲۵۰۰ دلار



شکل ۹-۲۳ دستگاه Radon Scout Plus

- مجهز به حسگر دما، رطوبت، شیب و فشار
- قابلیت ذخیره سازی ۱۶۳۸۳ داده
- مجهز به نرم افزار Radon Vision
- حساسیت بالا مناسب برای محیط های داخلی
- وزن بسیار کم در حدود ۸۰۰ گرم
- دارای صفحه نمایش

ویژگی ها و مزایای

دستگاه

**Radon Scout
Plus**

جدول ۹-۱۴ مشخصات فنی دستگاه Radon Scout Plus

نام دستگاه	پارامتر	محدوده اندازه گیری	دقت
Radon Scout Plus	رادون	0-10 MBq/m ³	<±5%
	دما	-20-40 °C	
	رطوبت	0-100 %RH	
	فشار بارومتري	800-1200 mbar	

۱.۴.۳.۹ کالیبراسیون

مطابق نظر سازنده، دستگاه های Radon Scout و Radon Scout Plus به صورت کالیبره تحویل داده می شوند و در حالت عادی نیازی به کالیبراسیون دوباره ندارند. اما در صورت نیاز به کالیبراسیون یا بایستی به شرکت سازنده فرستاده شوند که هزینه این کار ۱۲۷ یورو به اضافه هزینه های جابه جایی می باشد یا بایستی توسط آزمایشگاه های محلی کالیبره شوند. البته این دستگاه در ایران دارای نمایندگی نیز می باشد (شرکت آریا پایش) و بنابراین ارسال دستگاه به نمایندگی برای کالیبراسیون نیز امکان پذیر است.

۴.۹ دستگاه های اندازه گیری باکتری و قارچ

پیش از معرفی دستگاه های این بخش لازم است تا با برخی از اصطلاحات استفاده شده در دستگاه های اندازه گیری باکتری و قارچ آشنایی پیدا کرد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

پتری دیش^۱: ظرفی بشقاب مانند از جنس شیشه یا پلاستیک با عمق کم و در دار است که زیست شناسان از آن برای کشت سلول یا خزّه های ریز استفاده می کنند. پتری دیش های شیشه ای را می توان با استریل کردن، دوباره مورد استفاده قرار داد.

ظرف آگار^۲: نمونه ای از یک پتری دیش است که حاوی مواد رشد دهنده (معمولا آگار و دیگر مواد غذایی) می باشد و برای رشد ارگانیسم ها و گیاهان ریز استفاده می شود.

آگار: عصاره خشک جلبک های قرمز از نوع ژلیدیوم^۳ است که از نظر شیمیایی استر سولفوریک گالاکتان می باشد و به شکل قطعات باریک نازک شفاف یا گرد سفید خاکستری رنگ بی مزه و بی بو است. در آب سرد نامحلول است ولی ابتدا در آب جوش آن را حل کرده و سپس در ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتی گراد یا کمتر سرد نموده و به صورت ژله ای در می آورند.



شکل ۹-۲۵ پتری دیش استفاده نشده



شکل ۹-۲۴ یک نمونه ظرف آگار با ارگانیسم های زنده

^۱ Petri dish

^۲ Agar dish

^۳ Gelidium



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

انکوباتور^۱: یک ابزار آزمایشگاهی است که در آزمایشگاه های بیولوژی برای کشت و رشد دادن نمونه های زنده مانند سلول ها یا میکروب ها به کار می رود. این وسیله با کنترل دما، رطوبت، میزان اکسیژن و دی اکسید کربن، شرایطی مناسب برای رشد ارگانیسم های زنده نظیر باکتری ها و قارچ ها را فراهم می نماید. انکوباتور یکی از ابزارهای مهم در آزمایش های بیولوژیکی و زیست شناسی مولکولی به حساب می آید. در آزمایشگاه باید قسمتی را برای این دستگاه انتخاب کرد که حداقل تغییر دما را داشته باشد. وجود فضای حدود ۵ الی ۱۰ سانتی متری در عقب و کنار دستگاه برای خوب کار کردن دستگاه الزامی می باشد. این وسیله توسط پزشک کودکان فیلیپینی «فیدل موندو» اختراع شده است.

۱.۴.۹ روش نمونه گیری باکتری و قارچ

برای نمونه گیری باکتری و قارچ بایستی از پتری دیش استفاده کرد. محیط کشتی که در پتری دیش قرار داده می شود بسته به هدف نمونه گیری متفاوت خواهد بود. به عبارتی دیگر محیط کشت باکتری و قارچ یکسان نمی باشد. بهتر است نمونه گیری در هوای اتاق در ارتفاع حدود ۱ متر بالاتر از کف اتاق صورت گیرد تا نزدیک به محدوده تنفس انسان باشد. نمونه گیری باید در بازه های زمانی مختلف مثلاً ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه و در زمان های مختلفی از روز مانند اول صبح و بعد از ظهر انجام شود.

پس از آنکه نمونه گیری به خوبی انجام شد بایستی پتری دیش ها به آزمایشگاه منتقل شده و سپس در انکوباتور قرار داده شوند تا فضای مناسب برای رشد باکتری یا قارچ فراهم گردد. به طور معمول پتری دیش مربوط به کشت باکتری ها، در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد و مدت زمان ۲۴ ساعت در انکوباتور قرار داده می شوند در حالیکه پتری دیش قارچ ها باید به مدت ۳ روز و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد داخل انکوباتور قرار داشته باشد.

¹ Incubator



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

پس از اینکه باکتری یا قارچ در انکوباتور رشد داده شد باید تعداد کولنی های تشکیل شده در پتری دیش شمارش شود. به منظور شمارش تعداد کولنی ها می توان از دستگاه های مخصوص استفاده کرد. برخی از دستگاه ها به صورت اتوماتیک و از طریق پردازش تصویر، عملیات شمارش را انجام می دهند و برخی دیگر نیز دستی هستند یعنی کاربر بایستی تعداد کولنی ها را با کمک یک عدسی شمارش کند.

پس از شمارش تعداد کولنی ها، تعداد کولنی ها بر واحد متر مکعب با استفاده از فرمولی که توسط اوملیانسکی ارائه شده است، محاسبه خواهد شد:

$$N = 5a \times 10^4 \times (bt)^{-1}$$

در رابطه فوق N تعداد کولنی ها بر متر مکعب هوای داخلی $(\frac{CFU}{m^3})$ ، a تعداد کولنی ها در پتری دیش، b مساحت سطح پتری دیش با واحد cm^2 و t مدت زمان مجاورت یا نمونه گیری با پتری دیش با واحد min (دقیقه) است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۴.۹ دستگاه Spin Air

دستگاه Spin Air یک ابزار برای نمونه برداری هوا و بررسی میزان و نوع باکتری ها و قارچ های موجود در آن است. این دستگاه کوچک و قابل حمل بوده و می تواند به راحتی جابه جا گردد. نحوه کار با دستگاه نیز ساده است. یک پتری دیش مناسب بر روی دستگاه قرار گرفته و سپس سرپوش دستگاه بر روی آن پیچانده می شود. سپس بایستی حجم مشخصی از هوا به سمت سطح آگار پتری دیش هدایت گردد. پس از انجام عملیات کشت باکتری و قارچ در پتری دیش، بایستی پتری دیش در انکوباتور کشت داده شود و سپس تعداد کولنی ها شمارش گردد که این کار توسط دستگاه دیگری صورت می پذیرد. سرعت چرخش دستگاه Spin Air می تواند ۰، ۱، ۲، ۳ یا ۴ دور بر دقیقه باشد. هم چنین وزن دستگاه نیز در حدود ۱/۷ کیلوگرم است.

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.neutecgroup.com

www.iul-inst.com

www.Ariapayesh.com

حدود قیمت

۴۰۰۰ دلار



Spin Air

شکل ۹-۲۶ دستگاه Spin Air



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۳.۴.۹ دستگاه انکوباتور

با توجه به محدوده دمایی مورد نیاز برای کشت باکتری و قارچ، دستگاه انکوباتوری باید انتخاب گردد که بتواند دماهای بین ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد را تولید نماید. به طور کلی انکوباتورها در دو دسته کلی معمولی و یخچالدار ارائه می شوند. نوع معمولی برای دماهای بالاتر از ۳۵ درجه سانتیگراد قابل استفاده است و بنابراین برای کشت قارچ مناسب نمی باشد. اما انکوباتورهای یخچالدار دماهای زیر صفر را نیز می توانند تولید نمایند و بنابراین برای کشت قارچ نیز مناسب خواهد بود.

همچنین در ساخت انکوباتورها معمولاً از آلومینیوم یا استیل استفاده می شود. هر چند که انکوباتور آزمایشگاهی محفظه آلومینیوم با انکوباتور آزمایشگاهی محفظه استیل در کل تفاوت چندانی ندارد ولی چند نکته که بایستی در مورد خاصیت آلومینیوم و استیل مورد توجه قرار گیرد، به شرح زیر می باشد:

جذب یا بازتاب نور: آلومینیوم دارای خاصیت جذب نور و استیل خاصیت بازتاب نور می باشد و از آنجا که نور به نوعی قابلیت تبدیلی به انرژی گرمایی را دارا می باشد، در دستگاه انکوباتور آزمایشگاهی محفظه آلومینیوم، خطای کاری دستگاه نسبت به دستگاه انکوباتور آزمایشگاهی محفظه استیل کمتر بوده و دقت دستگاه انکوباتور آزمایشگاهی محفظه آلومینیوم بیشتر می باشد.

قابلیت شستشو: استیل خاصیت شستشو دارد ولی آلومینیوم کثیفی را به خود جذب می کند و تقریباً لکه لکه می شود. لذا در صورتی که از مواد ریختنی در انکوباتور آزمایشگاهی استفاده می شود، دستگاه انکوباتور آزمایشگاهی محفظه استیل کاربردی تر خواهد بود.

قیمت: استیل از آلومینیوم گرانتر بوده و لذا صرفه اقتصادی با انکوباتور آزمایشگاهی محفظه آلومینیوم می باشد.

در ادامه محصولات انکوباتور شرکت های مختلف داخلی مقایسه می گردد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱.۳.۴.۹ شرکت شیماز

شرکت شیماز سه نوع انکوباتور را عرضه می نماید که شامل انکوباتور دیجیتال، هوشمند و یخچالدار است. در انکوباتور دیجیتال فقط نمایشگر دمای داخل دستگاه (ترموتر) دیجیتال بوده و تنظیم کننده دما (ترموستات) مکانیکی بوده و به صورت دستی تنظیم می شود در صورتیکه در انکوباتور آزمایشگاهی هوشمند، ترمومتر و ترموستات هر دو دیجیتالی بوده و با دقت دهم درجه سانتیگراد قابل تنظیم است. در انکوباتور آزمایشگاهی دیجیتال، تایمر وجود ندارد ولی در انکوباتور آزمایشگاهی هوشمند، تایمر دیجیتال نیز وجود دارد. انواع انکوباتورهای شرکت شیماز به همراه قیمت هر یک در جدول ۹-۱۵ آورده شده است.

دستگاه آزمایشگاهی انکوباتور یک درب برای کشت محیط هایی که به نور احتیاج دارند و انکوباتور آزمایشگاهی دو درب برای کشت محیط هایی که باید در محیط تاریک رشد کنند، استفاده می شود. هم چنین در دستگاه انکوباتور یک درب، با باز کردن درب دستگاه مبادله هوایی انجام شده و دستگاه تغییر دما پیدا می کند لذا تا اتمام کار دستگاه نباید درب دستگاه را باز کرد و در انکوباتور دودرب، پس از باز کردن درب آهنی، درب شیشه ای وجود دارد که از تبادل دمایی جلوگیری می کند.

جدول ۹-۱۵ لیست قیمت انکوباتورهای شرکت شیماز (قیمت ها به میلیون تومان است)

نام کالا	قیمت	نام کالا	قیمت	نام کالا	قیمت
انکوباتور دیجیتال		انکوباتور هوشمند		انکوباتور یخچالدار	
۵۵ لیتری، محفظه آلومینیوم، یک درب	۱۰	۵۵ لیتری، محفظه آلومینیوم، یک درب	۱۱/۵	محفظه آلومینیوم	۱۸
۵۵ لیتری، محفظه استیل، یک درب	۱۱	۵۵ لیتری، محفظه استیل، یک درب	۱۲/۵	محفظه استیل	۲۰
۵۵ لیتری، محفظه آلومینیوم، دو درب	۱۱	۵۵ لیتری، محفظه آلومینیوم، دو درب	۱۲/۵	تمام استیل	۲۷
۵۵ لیتری، محفظه استیل، دو درب	۱۲	۵۵ لیتری، محفظه استیل، دو درب	۱۳/۵		
		۱۰۰ لیتری، محفظه آلومینیوم	۱۷		
		۱۰۰ لیتری، محفظه استیل	۱۹/۵		



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.simiazma.ir

تلفن تماس جهت سفارش کالا

021-66196609

حدود قیمت

۱۱ میلیون تومان



شکل ۹-۲۷ دستگاه انکوباتور دیجیتال شیماز

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.simiazma.ir

تلفن تماس جهت سفارش کالا

021-66196609

حدود قیمت

۱۳ میلیون تومان



شکل ۹-۲۸ دستگاه انکوباتور هوشمند شیماز



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.simiazma.ir

تلفن تماس جهت سفارش کالا

021-66196609

حدود قیمت

۲۲ میلیون تومان



شکل ۹-۲۹ دستگاه انکوباتور یخچالدار شیماز

۲.۳.۴.۹ شرکت آرا تجهیز رادین

شرکت آرا تجهیز رادین وارد کننده تجهیزات آزمایشگاهی مختلف می باشد. این شرکت نمایندگی انکوباتورهای کمپانی آلمانی Memmert در ایران است. لیست انواع انکوباتورهای ارائه شده توسط این شرکت در جدول ۹-۱۶ آورده شده است.

جدول ۹-۱۶ لیست انکوباتورهای شرکت آرا تجهیز رادین

مدل	نام کالا
INB 300	انکوباتور ۵۳ لیتری تمام استیل
INB 400	انکوباتور ۵۳ لیتری تمام استیل
INE 400	انکوباتور ۵۳ لیتری تمام استیل قابل اتصال به کامپیوتر
INB 500	انکوباتور ۱۰۸ لیتری تمام استیل
INE 600	انکوباتور ۲۵۶ لیتری تمام استیل
IN 55	انکوباتور ۵۵ لیتری تمام استیل قابل اتصال به کامپیوتر
IN 110	انکوباتور ۵۵ لیتری تمام استیل قابل اتصال به کامپیوتر



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.aratajhiz.com

تلفن تماس جهت سفارش کالا

021-22862030

حدود قیمت

۵ تا ۱۷ میلیون تومان



شکل ۹-۳ نمونه انکوباتور شرکت آرا تجهیز رادین



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۴.۴.۹ دستگاه Flash & Go

دستگاه Flash & Go ابزاری برای شمارش تعداد کولنی های باکتری و قارچ در یک نمونه پتری دیش است. در واقع پتری دیش کشت شده توسط دستگاه Spin Air بایستی در دستگاه Flash & Go شمارش شود. این ابزار برای شمارش کولنی ها از نرم افزارهای پردازش تصویر بهره می گیرد. نحوه عملکرد دستگاه به این صورت است که ابتدا پتری دیش کشت شده در دستگاه قرار داده می شود. سپس یک سیستم نوری LED پتری دیش را روشن کرده و یک دوربین با وضوح ۱۵۳۶ در ۱۵۳۶ پیکسل از نوع CMOS، از محیط کشت عکسبرداری می نماید. سپس نرم افزار کولنی ها را بر مبنای رنگ آن ها شناسایی کرده و می شمارد. قدرت مصرفی دستگاه در حدود ۴۰ وات بوده و وزنی معادل ۵/۴ کیلوگرم دارد.

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.neutecgroup.com

www.iul-inst.com

www.fishersci.com

حدود قیمت

۶۰۰۰ دلار



شکل ۹-۳۱ دستگاه Flash & Go



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۵.۴.۹ دستگاه DOT

دستگاه DOT یک ابزار شمارش کولنی های باکتری و قارچ است که بر خلاف دستگاه Flash & Go که به صورت اتوماتیک شمارش کولنی ها را انجام می دهد، باید به صورت دستی کولنی ها را با آن شمرد. این دستگاه با استفاده از نور یک LED سطح پتری دیش کشت شده را روشن می کند و سپس می توان از طریق عدسی دستگاه تعداد کولنی ها را شمارش کرد. اپراتور دستگاه می تواند کولنی های شناسایی شده را توسط یک مارکر مخصوص تیک بزند و با این کار صفحه نمایش دیجیتالی نیز تعداد کولنی های شمارش شده را نشان خواهد داد. قدرت مصرفی دستگاه در حدود ۵۰ وات و وزن آن نیز تقریباً ۳ کیلوگرم است.

آدرس اینترنتی جهت سفارش

www.boostlabsales.co.uk

www.iul-inst.com

حدود قیمت

۱۰۰۰ دلار



شکل ۹-۳۲ دستگاه DOT

فصل دهم

دستگاه‌های پیشنهادی

۱۰ دستگاه‌های پیشنهادی

در فصل سوم چندین دستگاه اندازه‌گیری گازها، ذرات، رادون و باکتری و قارچ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور انتخاب یک دستگاه مناسب، بهتر است تا ابتدا مقایسه‌ای میان دستگاه‌های مختلف صورت پذیرد. مقایسه دستگاه‌های اندازه‌گیری گازها، ذرات و رادون به ترتیب در جدول ۱۰-۱ تا جدول ۱۰-۳ آورده شده است. دستگاه‌های انتخاب شده نیز در جدول ۱۰-۴ آورده شده‌اند.

۱.۱۰ انتخاب دستگاه پایش گازها

مقایسه دستگاه‌های اندازه‌گیری گازها که در فصل قبل مورد بررسی قرار گرفت و خلاصه‌ای از نتایج آن در جدول ۱۰-۱ آورده شده است، نشان دهنده این است که بهترین گزینه با توجه به امکانات و قیمت دستگاه Aeroqual S500 می‌باشد.

دستگاه Aeroqual S500 علاوه بر اینکه محدوده غلظت مورد نیاز محیط‌های داخلی برای تمامی گازهای آلاینده مهم داخلی شامل منوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن، فرمالدهید و ترکیبات آلی فرار را برآورده می‌کند، امکاناتی نظیر اندازه‌گیری دما، فشار و رطوبت را نیز در اختیار قرار می‌دهد. علاوه بر این کالیبراسیون دستگاه نیز به نسبت ساده می‌باشد. حسگرهای دستگاه Aeroqual S500 متنوع و انتخابی می‌باشند که باعث کاهش هزینه خواهد شد زیرا تنها حسگرهای مورد نیاز خریداری می‌گردند. هم‌چنین دستگاه Aeroqual S500 وزن اندکی داشته و جابه‌جایی آن ساده است. قیمت مناسب دستگاه نیز در مقایسه با سایر دستگاه‌های اندازه‌گیری گازها مشهود می‌باشد. البته یک اشکال عمده این دستگاه نیاز به تعویض حسگرهای آن برای اندازه‌گیری گازهای مختلف می‌باشد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۱۰ دستگاه پایش فرمالدهید

با توجه به اینکه دستگاه Aeroqual S500 به منظور اندازه گیری غلظت گاز فرمالدهید از حسگر الکتروشیمیایی استفاده می کند و در این نوع حسگر امکان تداخل با گازهای دیگر وجود دارد، دقت اندازه گیری غلظت فرمالدهید کاهش می یابد. برای رفع این مشکل حسگر دیگری به نام حسگرهای کالریمتری توسعه داده شده است. دستگاه FMM-MD با بهره گیری از این نوع حسگر، دستگاهی مناسب برای اندازه گیری غلظت فرمالدهید می باشد و به همین دلیل این دستگاه به جای دستگاه Aeroqual S500 به منظور اندازه گیری فرمالدهید معرفی می شود.

۳.۱۰ انتخاب دستگاه پایش ذرات

دستگاه های پایش ذرات در فصل سوم بررسی شدند که خلاصه ای از ویژگی های آنها در جدول ۲-۱۰ آورده شده است. هر پنج دستگاه معرفی شده می توانند محدوده غلظت جرمی ذرات معلق در محیط های داخلی را اندازه گیری نمایند. بررسی کلی این دستگاه ها نشان دهنده این موضوع می باشد که مهم ترین عامل برای انتخاب دستگاه مناسب، قیمت خواهد بود. بنابراین با توجه به قیمت پایین تر دستگاه Aerocet 831، این دستگاه به عنوان مناسب ترین دستگاه برای اندازه گیری ذرات معلق در محیط های داخلی انتخاب می گردد.

۴.۱۰ انتخاب دستگاه پایش رادون

دستگاه های پایش رادون معرفی شده در فصل سوم به طور خلاصه در جدول ۳-۱۰ آورده شده اند. هر چهار دستگاه معرفی شده محدوده غلظت مد نظر محیط های داخلی و دقت مورد نیاز را برآورده می کنند اما بررسی کلی دستگاه ها و در نظر گرفتن همه پارامترها از جمله قیمت دستگاه و وجود نمایندگی فروش در ایران، نشان دهنده این موضوع است که در حال حاضر بهترین دستگاه قابل خرید Radon Scout Plus می باشد و بنابراین این دستگاه به عنوان مناسب ترین دستگاه پایش رادون در محیط های داخلی معرفی می گردد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۵.۱۰ انتخاب دستگاه پایش باکتری و قارچ

دستگاه های پایش باکتری و قارچ شامل Spin Air برای نمونه گیری و انکوباتور برای کشت آن هاست. هم چنین دستگاه هایی نظیر Flash & Go یا DOT برای شمارش تعداد کولنی های باکتری و قارچ در فصل سوم معرفی گردیدند. دستگاه Spin Air برای نمونه گیری باکتری و قارچ پیشنهاد می گردد. هم چنین دستگاه های انکوباتور شرکت آرا تجهیز رادین نیز با توجه به کیفیت برند آلمانی Memmert توصیه می شود. هم چنین با توجه به مشورت صورت گرفته با متخصصین این زمینه، برای شمارش تعداد کولنی های باکتری یا قارچ نیازی به دستگاه های شمارش نمی باشد و به صورت چشمی نیز می توان این کار را انجام داد. بنابراین نیازی به خرید دستگاه های Flash & Go یا DOT نخواهد بود.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۱-۱۰ مقایسه دستگاه های اندازه گیری گازها

حسگرهای غیرگازی			گازهای قابل اندازه گیری در محدوده غلظت محیط های داخلی					قیمت (دلار)	نام دستگاه
رطوبت	فشار	دما	VOCs	CH ₂ O	O ₃	NO ₂	CO		
x	x	x	x	x	x		x	۳۵۰۰	AQ-Expert
			x					۴۴۰۰	Gasmet DX4040
x		x	x	x	x	x	x	۱۴۰۰	Aeroqual S500
					x		x	۱۵۰۰	C16 PortaSense II

جدول ۲-۱۰ مقایسه دستگاه های اندازه گیری ذرات

حسگرهای غیرگازی			ویژگی ها			قیمت (دلار)	نام دستگاه
رطوبت	فشار	دما	محدوده (µg/m ³)	غلظت عددی	غلظت جرمی		
			۱-۱۵۰۰۰		x	۱۰۰۰	DRX 8533
			۱-۱۵۰۰۰		x	۹۰۰	DRX 8534 (Portable)
x		x	۰-۱۰۰۰	x	x	۲۵۰۰	Aerocet 531S
			۰-۱۰۰۰		x	۱۵۰۰	Aerocet 831
			۰-۶۰۰۰		x	۵۰۰	DustMate

جدول ۳-۱۰ مقایسه دستگاه های اندازه گیری رادون

حسگرهای غیرگازی			ویژگی ها		قیمت (دلار)	نام دستگاه
رطوبت	فشار	دما	نرم افزار رابط	محدوده غلظت (pCi/L)		
x	x	x	x	۰-۵۰۰	۱۵۰۰	Corentium Pro
				۰-۵۰۰	۲۵۰	Corentium
x	x	x	x	۰-۲۷۰۰۰۰	۲۵۰۰	Radon Scout Plus
x		x	x	۰-۲۷۰۰۰۰	۱۸۰۰	Radon Scout

جدول ۴-۱۰ دستگاه های انتخاب شده برای اندازه گیری گازها

دستگاه انتخاب شده	پارامتر مورد نظر
Aeroqual S500	گازها به غیر از فرمالدهید
FMM-MD	فرمالدهید
Aerocet 831	ذرات معلق
Radon Scout Plus	رادون

فصل یازدهم

شناسایی مشکلات هوای داخلی و بهبود آنها



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱۱ شناسایی مشکلات هوای داخلی و بهبود آن‌ها

۱.۱۱ شناسایی مشکلات هوای داخلی

برخی عوارض و علائم سلامتی می‌توانند شاخص‌های خوبی از وجود مشکلات کیفیت هوای داخلی باشند به خصوص اگر این علائم بعد از رفتن فرد به یک اقامتگاه جدید، نوسازی خانه و اثاثیه یا استفاده از آفت‌کش‌ها در خانه ظاهر شده باشند. اگر افراد یک ساختمان احساس می‌کنند که دچار علائم بیماری شده‌اند که در ارتباط با محیط خانه یا محل کار آن‌ها می‌باشد بایستی این موضوع را با دکتر خود و مسئول مربوطه در میان بگذارند.

راه دیگری که می‌توان برای تشخیص وجود یا امکان بروز مشکلات مربوط به کیفیت هوای داخلی در یک ساختمان به کار گرفت، شناسایی منابع بالقوه تولید آلودگی هوای داخلی است. اگرچه وجود چنین منابعی الزاما به معنای وجود مشکل کیفیت هوای داخلی نمی‌باشد اما آگاهی از انواع و تعداد منابع بالقوه تولید آلودگی هوای داخلی، گام مهمی در راستای ارزیابی بهبود کیفیت هوای ساختمان‌ها می‌باشد.

راه سوم بررسی این موضوع که آیا یک ساختمان دچار مشکل کیفیت پایین هوای داخلی می‌باشد، توجه به نوع فعالیت‌ها و سبک زندگی افراد است. فعالیت‌های انسان می‌توانند منبع مهمی از آلودگی هوای داخلی باشند. در نهایت نیز بایستی به علائم مشکلات مربوط به تهویه در ساختمان توجه نمود. برخی علائمی که نشان می‌دهند یک ساختمان از مشکلات تهویه رنج می‌برد عبارتند از:

- میعان رطوبت بر روی پنجره‌ها و دیوارها؛
- هوای گرفته یا با بوی بد؛
- تجهیزات گرمایش و سرمایش هوای کثیف؛ و



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- مناطقی که در آن کتاب‌ها، کفش و سایر اقلام دچار کپک شده‌اند.

برای تشخیص بو در یک ساختمان، بایستی چند دقیقه بیرون ساختمان رفته و سپس هنگام ورود به ساختمان به وجود بوهای بد توجه نمود.

۲.۱۱ بهبود کیفیت هوای داخلی

به طور کلی سه روش اساسی برای بهبود کیفیت هوای داخلی وجود دارد:

۱. کنترل منبع آلودگی؛

۲. تهویه؛ و

۳. تصفیه‌کننده‌های هوا^۱.

در ادامه هر کدام از این سه روش شرح داده شده است.

¹ Air cleaners



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



۱.۲.۱۱ کنترل منبع آلودگی

در این روش منابع تولید آلودگی در داخل ساختمان حذف می‌شوند یا میزان انتشار آلاینده‌های آن‌ها کنترل می‌گردد. این روش معمولاً کاراترین روش برای کاهش آلودگی داخلی می‌باشد. هم‌چنین در بسیاری از موارد کنترل منبع آلودگی روش مقرون به صرفه‌تری نسبت به افزایش نرخ تهویه برای بهبود کیفیت هوای داخلی است زیرا افزایش میزان تهویه منجر به افزایش مصرف انرژی نیز خواهد شد.

منابع آلودگی زیادی در داخل خانه‌ها و ساختمان‌ها وجود دارند که می‌توانند کنترل شده و یا حذف شوند. به عنوان مثال چوب طبیعی یا مواد جایگزین دیگر می‌توانند به جای محصولات چوبی فشرده که منابع مهمی برای انتشار فرمالدهید هستند، استفاده شوند. افراد سیگاری می‌توانند بیرون از ساختمان سیگار بکشند. لوازم احتراقی نظیر اجاق‌ها می‌توانند برای کاهش انتشار آلاینده‌ها به درستی تنظیم شوند. موادی که حاوی آزبست هستند بایستی به خوبی عایق شوند.

۲.۲.۱۱ تهویه

استفاده از تهویه نیز یک راهکار برای کاهش غلظت آلاینده های هوای داخلی است. تهویه در واقع هوای داخل و خارج ساختمان را با هم تبادل می کند. هوای بیرون ساختمان می تواند به شیوه های نفوذ، تهویه طبیعی و تهویه مکانیکی وارد ساختمان شده یا از آن خارج شود.

نفوذ: در این فرآیند هوای خارجی از طریق اتصالات، اطراف پنجره ها و درها و شکاف های ایجاد شده در دیوار، زمین و سقف وارد ساختمان می شود.

تهویه طبیعی: در این فرآیند هوا از طریق در و پنجره های باز وارد ساختمان می شود.

جابه جایی هوا در دو فرآیند نفوذ و تهویه طبیعی به دلیل تفاوت دمای هوا میان داخل و خارج ساختمان و باد اتفاق می افتد.

تهویه مکانیکی: دستگاه های مکانیکی متعددی برای تهویه هوای ساختمان وجود دارد. وظیفه اصلی این تجهیزات خارج کردن هوای آلوده داخل و توزیع هوای خارجی تهویه شده در نقاط حساس ساختمان است. به نرخی که هوای خارجی با هوای داخلی جایگزین می شود، «نرخ تبادل هوا»^۱ گفته می شود. زمانیکه نفوذ، تهویه طبیعی و تهویه مکانیکی کافی نباشد، نرخ تبادل هوا کم بوده و سطح آلاینده های داخلی می تواند افزایش یابد.

۱.۲.۲.۱۱ تهویه عمومی و محلی

دو رویکرد اساسی در تهویه ساختمان ها شامل تهویه عمومی^۲ و تهویه محلی^۳ می باشد.

^۱ Air exchange rate

^۲ General ventilation

^۳ Local ventilation

تهویه عمومی: در این نوع تهویه فضاهای زندگی که از طریق فرآیندهای نفوذ، تهویه طبیعی و تهویه مکانیکی انجام می شود، هوای بیرون به داخل ساختمان وارد شده، در سرتاسر ساختمان به گردش در آمده و هوای آلوده را خارج می کند. این روش گرچه به شرایط آب و هوایی وابسته است، باعث حذف یا رقیق شدن آلاینده های داخلی شده و در نتیجه سطح آلاینده ها کاهش یافته و کیفیت هوا بهبود می یابد. باید توجه ویژه ای به هوای خارجی استفاده شده در تهویه داشت. هوای خارجی باید کیفیت قابل قبولی داشته و سطح آلاینده ها در آن نیز خطرناک نباشند. استفاده از تهویه برای کاهش آلاینده های هوای داخلی هنگامی که منابع خارجی تولید آلودگی حضور دارند بایستی به دقت ارزیابی گردد.

تهویه محلی: این نوع تهویه که از طریق فن های خروجی در حمام و آشپزخانه یا از طریق باز کردن درها و پنجره ها انجام می شود می تواند رطوبت اضافی و آلاینده های محلی را خارج کرده و جلوی گسترش آن ها به سایر نقاط خانه را بگیرد.

۲.۲.۲.۱۱ تاثیر کولرهای آبی بر کیفیت هوای داخلی



استفاده از کولرهای آبی برای خنک کردن هوا در فصول گرم سال در مناطق خشک و بیابانی دنیا رایج است. در ایران نیز که بخش وسیعی از شهرها و مناطق مسکونی در محدوده بیابانی و خشک قرار دارند، این سیستم سرمایش هنوز به عنوان پرتعدادترین روش شناخته می شود. نتایج تحقیقات پاسکولد و همکاران [۱۰۳] در سال ۲۰۰۳ میلادی نشان داد که کولرهای آبی می توانند سهم

بسیاری در کاهش غلظت ذرات معلق در هوای داخلی نسبت به محیط بیرون داشته باشند. نتایج این تحقیقات با مطالعاتی که پیشتر توسط کوئاکنبوس و همکاران [۱۰۴] انجام شده است نیز سازگار است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط پاسکولد و همکاران در حالتی که کولرهای آبی بدون آب کار کنند تقریباً هیچ اثری در کاهش غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ در هوای داخل ندارند. حتی تحقیقات نشان داده است در حالتی که آب کولر قطع بوده و سرعت فن آن بر روی دور تند قرار داده شود، ممکن است غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ هوای داخل بیش از هوای خارج شود. علت این موضوع می تواند جدایش ذراتی باشد که قبلاً روی الیاف پوشال های کولر نشست کرده بودند. از طرفی نتایج نشان داده است که در حالتی که کولر بدون آب کار می کند نسبت غلظت ذرات معلق PM_{10} در هوای داخل به خارج در حدود $0/7$ خواهد بود که نشان می دهد در حدود ۳۰ درصد ذرات معلق توسط الیاف پوشال های کولر جذب شده اند.

نتایج تحقیقات پاسکولد و همکاران در حالتی که کولر آبی با آب کار می کند به این صورت است که اگر فن کولر بر روی دور کند باشد در حدود ۳۰ درصد و اگر روی دور تند باشد در حدود ۴۰ درصد از ذرات معلق $PM_{2.5}$ هوای خارج توسط الیاف پوشال ها جذب شده و لذا غلظت این آلاینده در هوای داخل کاهش می یابد. همچنین حدود ۵۰ درصد از ذرات معلق PM_{10} نیز توسط الیاف پوشال ها جذب می شوند و در مورد PM_{10} تاثیر دور فن کولر نیز مشابه $PM_{2.5}$ است یعنی با افزایش دور فن کولر غلظت PM_{10} در هوای داخل بیشتر کاهش می یابد.

ذرات معلق موجود در هوا به واسطه مکانیزم های مختلفی توسط الیاف پوشال های کولر جذب می شوند. این مکانیزم ها عبارتند از:

۱- برخورد^۱: در این مکانیزم ذرات معلق از روبرو با الیاف پوشال های کولر برخورد کرده و به دام می افتند.

۲- پخش^۱: این مکانیزم بر روی ذرات بزرگتر از $0/1$ میکرون بی تاثیر است. در این مکانیزم ذرات به دلیل حرکت براونی و نامنظم مولکول های هوا به طور پیوسته تغییر مسیر داده و با نزدیک شدن به الیاف پوشال ها به دلیل وجود نیروهای بین مولکولی نظیر نیروی وندروالس، توسط الیاف جذب می شوند.

¹ Impaction



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

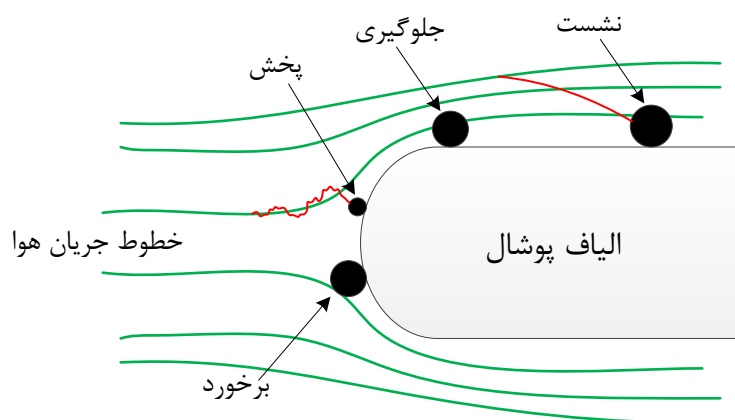
۳- **جلوگیری**^۲: اگر ذرات معلق در حین حرکت خود به اندازه معینی به الیاف پوشال ها نزدیک شوند به دلیل

وجود نیروهای بین مولکولی توسط الیاف جذب می شوند که به این مکانیزم جلوگیری گفته می شود.

۴- **نشست**^۳: در این مکانیزم ذرات تحت وزن خود روی الیاف نشست می کنند. این مکانیزم بیشتر می تواند بر

روی ذرات درشت اثرگذار باشد.

شماتیکی از انواع مکانیزم های جذب ذرات توسط الیاف پوشال های کولر در شکل ۱-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱۱ انواع مکانیزم های جذب ذرات معلق توسط الیاف پوشال کولر

۳.۲.۲.۱۱ تاثیر سیستم های گرمایشی بر کیفیت هوای داخلی

تحقیقات زیادی ثابت کرده است که فعالیتهایی نظیر پخت و پز،

شست و شو، سیگار کشیدن، روشن کردن شمع و استفاده از بخاری

اثرات قابل توجهی بر انتشار آلاینده ها در محیط های داخلی دارند.





معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

بخاری های فسیلی می توانند یکی از مهم ترین منابع تولید آلودگی داخلی باشند. بخاری های فسیلی می توانند سوخت های متنوعی نظیر گاز طبیعی فشرده (CNG)، گاز مایع (LPG) و نفت سفید داشته باشند. البته امروزه در ایران با توجه به انتقال خطوط گاز به درب منزل خانوارها در اکثر مناطق کشور، بیشتر بخاری های موجود از گاز طبیعی استفاده می نمایند.

تحقیقات نشان داده است که بخاری های فسیلی غلظت آلاینده های هوای داخلی نظیر ذرات معلق $PM_{2.5}$ ، دی اکسید نیتروژن NO_2 و دی اکسید سولفور SO_2 را افزایش می دهند [۳،۴]. همچنین بخاری های فسیلی سبب انتشار هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه نیز می گردند که از عوامل بروز سرطان محسوب می شوند [۱۰۷]. علاوه بر این بخاری های فسیلی می توانند سبب انتشار ذرات معلق بسیار ریز^۱ که قطر آئرو دینامیکی کمتر از 0.1 میکرون دارند نیز شوند [۱۰۸].

موضوع انتشار آلاینده ها توسط بخاری های فسیلی زمانی حادث می شود که به این توجه شود که بخاری در فصول سرد سال استفاده می شود و در این مواقع افراد ساکن ساختمان برای جلوگیری از ورود هوای سرد بیرون به داخل، تمامی درها و پنجره ها را می بندند و بنابراین هوا در داخل ساختمان از نرخ تهویه کافی برخوردار نمی باشد. این عدم تهویه مناسب هوا سبب افزایش غلظت آلاینده های تولید شده توسط بخاری می گردد و ممکن است سبب بروز مشکلات تنفسی شود. برای جلوگیری از بروز چنین مشکلاتی بهتر است به توصیه های زیر عمل گردد:

- ۱- هنگام خرید بخاری حتما به استاندارد بودن آن توجه شود.
- ۲- هرگز و تحت هیچ شرایطی نبایستی بخاری بدون دودکش مناسب روشن شود.
- ۳- حتی المقدور هنگام روشن بودن بخاری بایستی جریان هوا در داخل ساختمان برقرار باشد. برای این کار بهتر است پنجره ها یا درها تا حدی باز گذاشته شوند تا جریان هوا به داخل ساختمان برقرار شود.

¹ Ultrafine particles (UFPs)



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۳.۲.۱۱ تصفیه کننده های هوا

تصفیه کننده های هوا همراه با روش کنترل منبع آلودگی و تهویه می توانند برای بهبود کیفیت هوا مناسب باشند ولی جایگزینی برای این دو روش محسوب نمی شوند. استفاده از تصفیه کننده های هوا به تنهایی نمی توانند ضامن کیفیت هوای مناسب داخلی باشد به خصوص اگر منابع آلودگی داخلی چشمگیر بوده و تهویه هوا نیز نامناسب باشد.

تصفیه کننده های هوا در مدل ها و اندازه های گوناگونی ساخته شده اند که شامل مدل های قابل حمل ارزان قیمت تا سیستم های پیچیده و گران قیمت برای کل ساختمان می باشد. برخی از تصفیه کننده های هوا در حذف ذرات معلق بسیار کارا هستند در حالیکه برخی دیگر که بیشتر شامل مدل های قابل حمل می باشد، کارایی چندانی ندارند. به طور کلی تصفیه کننده های هوا برای حذف آلاینده های گازی طراحی نمی شوند. در فصل های ۱۳ و ۱۴ به طور مفصل تری به معرفی انواع تصفیه کننده های هوا پرداخته شده است.

فصل دوازدهم

طراحی و ساخت ساختمان‌ها با

توجه به کیفیت هوای داخلی



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱۲ طراحی و ساخت ساختمان ها با توجه به کیفیت هوای داخلی

کیفیت هوای داخلی یکی از عواملی است که عملکرد یک ساختمان را تعیین می نماید. کیفیت هوای داخلی بر روی ساکنان ساختمان و توانایی آن ها در انجام کارهایشان تاثیر گذاشته و حتی می تواند تاثیرات مثبت و منفی بر روی مشتریان، اربابان رجوع و بازدیدکنندگان از ساختمان نیز داشته باشد. اگر کیفیت هوای داخل خوب نباشد صاحبان ساختمان ها بایستی منابع زیادی را برای حل شکایات ساکنان، هزینه های تعمیر ساختمان و حتی اقدامات قانونی گزاف خرج نمایند. اگر کیفیت هوای داخل خوب باشد در این صورت ساختمان محیط مناسبی برای کار، یادگیری و تجارت خواهد بود.

کیفیت هوای داخل به طور مستقیم بر سلامتی، راحتی و بهره وری ساکنان تاثیرگذار است. اثرات نامطلوب حاصل از کیفیت پایین هوای داخلی می تواند هزینه های گزافی به خصوص در بخش سلامت ساکنان داشته باشد. این طور برآورد شده است که کاهش هزینه های سلامت و غیبت کارکنان و هم چنین بهبود عملکرد کارمندان در محیط های غیرصنعتی و به واسطه بهبود کیفیت هوای داخلی در ایالات متحده آمریکا، چیزی در حدود ۱۰ میلیارد دلار در هر سال صرفه جویی ایجاد خواهد کرد [۷،۸]. علیرغم این اثرات قابل توجه، بسیاری از طراحی و ساخت وسازهای ساختمان ها بدون در نظر گرفتن عواقب بد کیفیت پایین هوای داخلی صورت می گیرد. متأسفانه هنوز کیفیت هوای داخلی مانند سایر معیارهای طراحی و انتخاب ساختمان نظیر هزینه ساخت، فضا، زیبایی، مکان و عوامل این چنینی مورد توجه قرار نمی گیرد.

با وجود اینکه اطلاعات و تجارب فراوانی برای دست یابی به هوای داخلی با کیفیت در ساختمان های اداری و تجاری وجود دارد اما این مهم به صورت خودکار انجام نمی شود، در حالیکه توجه به امر کیفیت هوای داخلی بایستی در



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

همان مراحل اولیه طراحی ساختمان مورد توجه قرار گیرد. دو دلیل عمده برای در نظر گرفتن الزامات کیفیت هوای داخلی از همان ابتدای شروع طراحی وجود دارد:

- جلوگیری از بروز مشکلاتی که در صورت الزام بهبود کیفیت هوای داخل پس از ساخت ساختمان رخ می دهد؛ و

- امکان بررسی طرح های مفهومی جایگزین در تصمیمات اولیه ساخت ساختمان.

در نظر گرفتن کیفیت هوای داخل در همان مراحل ابتدایی طراحی مفهومی ساختمان، سبب آشکار شدن بسیاری از معضلات کلیدی طرح شده و باعث می شود تا تیم طراحی بتوانند تصمیمات آگاهانه ای برای ساخت بنا بگیرند. این معضلات کلیدی در این فصل از گزارش به صورت مفصل مورد بررسی قرار می گیرند اما به صورت خلاصه شامل موارد زیر خواهد بود:

- ✓ انتظارات صاحب ساختمان از کیفیت هوای داخلی بنا؛
- ✓ منابع آلاینده خارجی در نزدیکی ساختمان؛
- ✓ فعالیت هایی که انتظار آن ها در ساختمان می رود و آلاینده هایی که می توانند به این فعالیت ها مربوط باشند؛
- ✓ مشخصات ساکنان (نظیر محدوده سنی و وضعیت سلامتی)؛ و
- ✓ روش های مورد استفاده برای گرمایش، سرمایش و تهویه ساختمان.

اگر این ملزومات تا قبل از طرح ریزی ساختمان، انتخاب سیستم تهویه و انجام محاسبات نرخ تهویه آن مورد بررسی قرار نگیرند در این صورت تطبیق نیازهای ساختمان، مالک و ساکنان به کیفیت هوای داخلی بسیار سخت و گاهی غیرممکن خواهد بود.

در صورت توجه به اهمیت کیفیت هوای داخل از همان مراحل ابتدایی طراحی، می توان از بروز اشتباهات جلوگیری کرد. به عنوان مثال نبود فضای کافی برای تجهیزات مکانیکی، دسترسی دشوار برای تعمیرات و نگهداری، انتخاب

پوشش های داخلی که منجر به نرخ بالای انتشار ترکیبات آلی فرار می گردند و بروز مشکلات رطوبت بالا در ساختمان از جمله مواردی هستند که ممکن است به دلیل عدم توجه به کیفیت هوای داخل در طراحی ساختمان، ایجاد شوند.

به طور کلی می توان عناصر کلیدی برای طراحی ساختمان از منظر کیفیت هوای داخلی را تحت عنوان ۷ هدف کلیدی دسته بندی نمود. این ۷ هدف در جدول ۱-۱۲ معرفی شده اند.

جدول ۱-۱۲ اهداف کلیدی به منظور طراحی و ساخت ساختمان های مناسب از منظر کیفیت هوای داخلی

هدف ۱	مدیریت فرآیند طراحی و ساخت به منظور رسیدن به کیفیت هوای داخلی خوب
هدف ۲	کنترل رطوبت در ساختمان
هدف ۳	محدود کردن ورود آلاینده ها به ساختمان
هدف ۴	کنترل رطوبت و آلاینده های مربوط به سیستم های مکانیکی
هدف ۵	محدود کردن آلاینده های حاصل از منابع داخل ساختمان
هدف ۶	جمع آوری و خروج آلاینده ها از تجهیزات و فعالیت های ساختمان
هدف ۷	کاهش غلظت آلاینده ها از طریق تهویه، فیلتراسیون و پاک کننده های هوا

برای دستیابی به هر یک از ۷ هدف معرفی شده در جدول ۱-۱۲، راهکارهایی توسط سازمان های جهانی نظیر انجمن مهندسين تهويه آمريکا (ASHRAE)، موسسه معماران آمريکا و برخی نهادهای دیگر طراحی شده که در بخش های بعدی این فصل از گزارش به هر یک پرداخته شده است.

۱.۱۲ هدف ۱: مدیریت فرآیند طراحی و ساخت به منظور رسیدن به کیفیت هوای داخلی خوب



مهم ترین گامی که مالک ساختمان یا مدیر تیم طراحی می تواند برای تامین کیفیت هوای داخلی خوب انجام دهد، استفاده از فرآیندهای موثر و کارار در پروژه است. بدون توجه به این موضوع حتی پیچیده ترین فناوری های مربوط به کیفیت هوای داخلی نیز ممکن است نتایج مطلوبی به دست ندهند. در ادامه ۵ راهکار برای دستیابی به هدف ۱ معرفی شده است.

۱.۱.۱۲ راهکار اول: طراحی یکپارچه

فرآیند طراحی توسط بخش های مختلف (معماری، مهندسی، اجرا و غیره) بایستی یکپارچه شود. بسیاری از مشکلات مربوط به هوای داخلی به این دلیل رخ می دهند که عناصر ساختمان توسط گروه های مختلفی طراحی می شود که در ارتباط با یکدیگر نیستند. حتی عناصری که به ظاهر ارتباطی با هم ندارند می توانند طوری در تعامل با یکدیگر قرار گیرند که منجر به کاهش کیفیت هوای داخل شوند.

۲.۱.۱۲ راهکار دوم: اطمینان از حصول ملزومات کیفیت هوای داخلی مورد نظر مالک

بایستی از همان شروع به کار پروژه تا ساخت بنا، فرآیندهای کنترل کیفیت نظیر بازرسی و گرفتن تست های عملکردی برقرار باشند. ساختمان ها نظیر هر محصول دیگری به کنترل کیفیت در هنگام طراحی و اجرا نیاز دارند تا نتایج مطلوب حاصل شوند.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۳.۱.۱۲ راهکار سوم: انتخاب سیستم تهویه مطبوع برای بهبود کیفیت هوای داخل و کاهش مصرف

انرژی

انتخاب نوع سیستم تهویه مطبوع می تواند سطح کیفیت هوای داخل قابل دستیابی را از طریق موارد زیر محدود نماید:

- محدود کردن توانایی فیلتراسیون؛
- محدود کردن رطوبت فضا؛
- تعیین فشار داخل ساختمان؛ و
- دور کردن ورودی ها از منابع آلاینده.

علاوه بر این نوع سیستم تهویه مطبوع بر روی میزان انرژی مورد نیاز برای تهویه نیز اثرگذار است. متأسفانه هنوز نوع سیستم تهویه مطبوع اغلب توسط معمار و قبل از ورود مهندسین و بر مبنای هزینه، فضای مورد نیاز و سایر پارامترهایی که ارتباطی با کیفیت هوای داخلی ندارند، تعیین می گردد.

۴.۱.۱۲ راهکار چهارم: برنامه ریزی پروژه و مدیریت فعالیت های عمرانی

اگر برنامه ریزی پروژه بسیار فشرده بوده و یا توالی نادرستی داشته باشد، می تواند خطراتی برای کیفیت هوای داخلی به همراه بیاورد. به همین ترتیب اگر مدیریت آلاینده ها و آب در طول ساخت و ساز وجود نداشته باشد، می تواند اثرات مخربی بر روی ساکنان در ساختمان های تحت بازسازی و یا اثرات بلندمدت بر روی ساکنان ساختمان های نوساز داشته باشد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۵.۱.۱۲ راهکار پنجم: تسهیل فرآیند نگهداری و تعمیرات موثر

تیم طراحی می تواند از طریق انتخاب سیستم مناسب، ارائه مستندات سیستم و آموزش های مناسب به کارمندان بخش تعمیرات و نگهداری، موجب بهبود عملکرد ساختمان و کیفیت هوای داخلی آن شوند.

۲.۱۲ هدف ۲: کنترل رطوبت در ساختمان



رطوبت یکی از رایج ترین علل بروز مشکلات کیفیت هوای داخلی در ساختمان ها می باشد که هزینه های گزافی را به همراه دارد. رطوبت سبب رشد میکروارگانیسم ها، تولید ترکیبات آلی فرار میکروبیال و آلرژن ها، تخریب اجزای ساختمان و بروز سایر فرآیندهای آسیب رسان به کیفیت هوای داخلی می شود. علاوه بر این نشان داده شده است که رطوبت می تواند اثرات منفی بر سلامتی نیز داشته باشد؛ بنابراین کنترل رطوبت

برای بهبود کیفیت هوای داخلی الزامی است. در ادامه ۶ راهکار برای دستیابی به هدف ۲ معرفی شده است.

۱.۲.۱۲ راهکار اول: محدود کردن نفوذ آب به داخل ساختمان

نفوذ آب باران یا برف ذوب شده به داخل ساختمان یکی از علل رایج بروز مشکلات مربوط به کیفیت هوای داخل است؛ بنابراین بایستی با در نظر گرفتن ویژگی های مناسب هنگام طراحی و همچنین فرآیندهای کنترل کیفیت و بازرسی منظم، ورود آب به داخل ساختمان را محدود کرده و تا حد ممکن کاهش داد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۲.۱۲ راهکار دوم: جلوگیری از میعان بخار آب روی سطوح داخل ساختمان

میعان یا کندانس بخار آب روی سطوح یکی دیگر از عوامل بروز مشکلات کیفیت هوای داخلی است. معمولاً هنگامی که هوای مرطوب به داخل ساختمان نفوذ کرده و به یک سطح با دمای کمتر از دمای نقطه شبنم برخورد کند، میعان رخ می دهد؛ بنابراین بایستی با طراحی مناسب و اجرای فرآیندهای کنترل کیفیت مستمر، احتمال بروز مشکلات میعان بخار آب را کاهش داد.

۳.۲.۱۲ راهکار سوم: کنترل فشار داخل ساختمان

اگر فشار هوای داخل ساختمان منفی باشد (به عبارتی فشار هوای داخل کمتر از فشار هوای بیرون باشد) می تواند هوای مرطوب خارج را به داخل ساختمان کشیده و منجر به میعان بخار آب شود. علاوه بر این ورود هوای مرطوب به فضاهای داخل ساختمان که دارای تهویه مطبوع هستند می تواند منجر به افزایش بار حرارتی سیستم سرمایش شده و منجر به افزایش رطوبت هوا شود. از طرفی فشار هوای مثبت در ساختمان نیز می تواند هوای مرطوب داخل را به سمت خروجی ساختمان هدایت کرده و منجر به میعان بخار آب در شرایط گرمایش ساختمان (فصول سرد سال) شود.

۴.۲.۱۲ راهکار چهارم: کنترل رطوبت داخل

اگر رطوبت هوای داخلی زیاد باشد احتمال رشد میکروب ها و بروز مشکلات مربوط به کیفیت هوای داخل افزایش می یابد. کنترل رطوبت هوا به خصوص در مناطق گرم و مرطوب بسیار مهم است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۵.۲.۱۲ راهکار پنجم: انتخاب مواد و تجهیزات مناسب برای محیط‌های به ناچار خیس و مرطوب

برخی از محیط‌های داخلی نظیر حمام، توالت، آبدارخانه و آشپزخانه به طور پیوسته خیس بوده یا به دلیل رطوبت بالا دچار میعان بخار آب روی سطوح هستند. در این صورت بایستی برای این محیط‌ها راهکارهای خاصی انتخاب نمود تا مشکلات مربوط به کیفیت هوای داخلی کاهش یابد.

۶.۲.۱۲ راهکار ششم: در نظر گرفتن تأثیرات محوطه‌سازی و گیاهان بر رطوبت و سطح آلاینده‌ها

مزایا و معایب بالقوه‌ای به واسطه حضور گیاهان در داخل ساختمان وجود دارد. گیاهان در طول فرآیند تنفس خود سبب انتشار مولکول‌های آب به هوا می‌شوند. یک گیاه با اندازه متوسط می‌تواند روزانه حدود ۱۰۰ گرم آب به هوا وارد نماید. افزایش مقدار بخار آب در هوا باعث افزایش رطوبت نسبی می‌گردد. در ساختمان‌ها افزایش رطوبت نسبی در فصول خشک سال یک مزیت است ولی در فصول گرم و در شرایط شرجی یک عیب محسوب شده و باید به درستی مدیریت شود. علاوه بر این تحقیقاتی وجود دارد که نشان می‌دهد برخی از گیاهان به واسطه میکروب‌های خاصی که در ریشه خود دارند سبب کاهش ترکیبات آلی فرار در هوای داخل می‌شوند. اما انتخاب گیاهان مناسب بایستی با دقت انجام شود زیرا شواهدی نیز وجود دارند که طبق آن‌ها برخی از گیاهان می‌توانند سبب افزایش برخی گونه‌های قارچ بیماری‌زا شوند. در فصل ۱۶ این گزارش در مورد تأثیر گیاهان و انتخاب گیاهان مناسب به تفصیل توضیح داده شده است.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۳.۱۲ هدف ۳: محدود کردن ورود آلاینده ها به ساختمان



آلاینده های حاصل از منابع خارجی می توانند اثرات قابل توجهی بر کیفیت هوای داخل داشته باشند. این آلاینده ها شامل ذرات و گازهای موجود در هوای خارج، آلاینده های داخل خاک و آب، علف کش ها و آفت کش هایی که در اطراف ساختمان استفاده می شوند و آلاینده هایی که توسط حیوانات موزی به داخل آورده

می شوند، می باشند. آلاینده های هوای خارج می توانند از طریق سیستم تهویه یا راه های دیگر وارد ساختمان شوند. در ادامه ۵ راهکار برای دستیابی به هدف ۳ معرفی شده است.

۱.۳.۱۲ راهکار اول: بررسی کیفیت هوای محلی و منطقه ای

مطابق ملزومات استاندارد ASHRAE 62.1، اولین گام در طراحی تهویه برای هوای داخل، تعیین مطابقت کیفیت هوای خارج با استانداردها در منطقه ای که قرار است ساختمان بنا شود، می باشد. گام بعدی تعیین منابع محلی تولید آلودگی است که می توانند بر ساختمان اثرگذار باشند. سپس فیلتراسیون و دستگاه های تصفیه هوا می توانند به عنوان وسایلی برای کاهش ورود این آلاینده ها به داخل ساختمان در نظر گرفته شوند.

۲.۳.۱۲ راهکار دوم: تعیین محل ورودی هوا به منظور کمینه کردن ورود آلاینده ها

ورودی های هوای ساختمان بایستی از محل منابع تولید آلودگی نظیر آگزوز وسایل نقلیه موتوری، خروجی های ساختمان ها (نظیر دودکش) و برج های خنک کن دور باشد.

۳.۳.۱۲ راهکار سوم: کنترل ورود رادون

پس از دود سیگار، مجاورت با رادون دومین عامل ابتلا به سرطان ریه در آمریکا است؛ لذا بایستی ورود رادون به داخل ساختمان کنترل شود. روش های کنترل رادون در بخش ۲.۷.۱۵ توضیح داده شده است. هم چنین نقشه عملی ملی کاهش رادون در ایالات متحده آمریکا نیز در پیوست الف موجود است.

۴.۳.۱۲ راهکار چهارم: کنترل نفوذ بخارات از آلاینده های زیرسطحی

یکی از منابع مهم اما کمتر شناخته شده آلاینده ها، ورود بخارات از آب های زیرزمینی و خاک به داخل ساختمان است. آلاینده ها می توانند به دلیل نشتی، دفع نامناسب زباله ها و نشت مخازن ذخیره رو یا زیر زمین، در خاک و زیر آن وجود داشته باشند [۱۱۱]. برخی از مناطق که می توانند مشکلات آلودگی زیرسطحی داشته باشند مناطق نزدیک به جایگاه های سوخت گیری، خشک شویی ها و مکان هایی که قبلا استفاده صنعتی داشته اند، می باشد.

۵.۳.۱۲ راهکار پنجم: تعبیه سیستم های دفع آلاینده کارا در ورودی ها

افرادی که وارد یک ساختمان می شوند می توانند همراه خود آلاینده هایی نظیر آفت کش ها، خاک و آب کثیف را به داخل بیاورند. این آلاینده ها ممکن است به کفش افراد چسبیده باشد و وارد ساختمان شوند؛ لذا بایستی در ورودی ساختمان ها تمهیداتی برای این موضوع در نظر گرفته شود.

۶.۳.۱۲ راهکار ششم: طراحی و ساخت به منظور حذف موجودات موزی

حیوانات جونده، پرنده ها، حشرات و سایر موجودات موزی می توانند منبع عوامل عفونیو آلرژی زا باشند و به همین دلیل بایستی هنگام طراحی و ساخت ساختمان به نحوی عمل نمود که امکان رشد این موجودات وجود نداشته باشد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

مطالعه و ارزیابی کیفیت هوای محیط های داخلی



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۴.۱۲ هدف ۴: کنترل رطوبت و آلاینده‌های مربوط به سیستم‌های مکانیکی



سیستم‌های مکانیکی از طریق تهویه، تصفیه هوا و ایجاد شرایط راحتی نقش مهمی را در بهبود کیفیت هوای داخل ایفا می‌نمایند. با این وجود چون بسیاری از سیستم‌های مکانیکی با آب کار می‌کنند یا در طول عملکرد خود خیس می‌شوند، می‌توانند منجر به تقویت و توزیع آلاینده‌های میکروبی شوند. این موضوع می‌تواند در ساکنان ساختمان منجر به بروز نشانه‌های نظیر خارش حلق و بینی یا بروز بیماری‌های

نظیر لژیونر (نوعی سینه پهلوی) یا «تب دستگاه رطوبت‌ساز»^۱ شود. در ادامه ۵ راهکار برای دستیابی به هدف ۴ معرفی شده است.

۱.۴.۱۲ راهکار اول: کنترل رطوبت و خاک در سیستم هواساز

وجود رطوبت و خاک در سیستم‌های هواساز محیطی برای رشد میکروب‌ها فراهم می‌نماید؛ بنابراین بایستی اقدامات مناسبی جهت جلوگیری از ورود باران و برف به این سیستم‌ها، جلوگیری از میعان بخار آب بر روی کویل‌های خنک‌کننده و تمیز و خشک نگه‌داشتن سطوح موجود در مسیر جریان هوا انجام پذیرد.

۲.۴.۱۲ راهکار دوم: کنترل رطوبت در لوله‌کشی، اتصالات لوله‌کشی و کانال‌ها

میعان بخار آب بر روی خطوط سرد و در کانال‌ها و هم‌چنین نشت آب از اتصالات لوله‌کشی‌ها می‌تواند منجر به رشد میکروب‌ها شود؛ در نتیجه بایستی از عایق‌ها و درزگیرهای مناسب در لوله‌کشی استفاده شود و اقدامات مناسب جهت کنترل کیفیت این سیستم‌ها به طور منظم صورت پذیرد.

^۱ Humidifier fever



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۳.۴.۱۲ راهکار سوم: تسهیل دسترسی به سیستم های تهویه مطبوع جهت تعمیرات، بازرسی و تمیزکاری

تعمیرات، بازرسی، تمیزکاری دوره ای سیستم های مکانیکی برای حفظ کیفیت هوای داخلی الزامی است اما گاهی عدم امکان دسترسی به این تجهیزات مانع این کار خواهد شد؛ بنابراین بایستی انتخاب محل نصب تجهیزات و فواصل بین اجزا با دقت بررسی و انتخاب گردد.

۴.۴.۱۲ راهکار چهارم: کنترل لژیونلا در سیستم های آب

باکتری لژیونلا می تواند در سیستم های آبی ساختمان ها نظیر برج های خنک کن، رطوبت سازها، سیستم های آب آشامیدنی، آب معدنی و چشمه ها تکثیر شود. مصرف آب آلوده به این باکتری سالانه موجب حدود ۱۸۰۰۰ مورد ابتلا به بیماری لژیونر و ۴۵۰۰ مرگ ناشی از آن می گردد [۱۱۲].

۵.۴.۱۲ راهکار پنجم: استفاده از تابش فرابنفش ضد میکروب

یکی از روش های قابل استفاده برای کاهش رشد میکروارگانیسم ها در سیستم های هواساز، استفاده از لامپ های فرابنفش ضد میکروب است. این لامپ ها یا پاک کننده های فرابنفش در بخش ۱.۴.۲.۱۳ به تفصیل معرفی شده اند.

۵.۱۲ هدف ۵: محدود کردن آلاینده های حاصل از منابع داخل ساختمان



بسیاری از مواد ساختمانی، اسباب و اثاثیه و پوشش های داخل ساختمان (رنگ، جلادهنده و غیر) ترکیباتی را از خود منتشر می کنند که می توانند منجر به ناراحتی، خارش و حتی اثرات نامطلوب بر سلامت افراد شوند. این ترکیبات ارگانیک می توانند اثرات متنوعی بر سلامت ساکنان از خارش گوش و حلق و بینی تا سر درد و واکنش های آلرژیک و حتی آسیب به اعضا و

سرطان داشته باشند. همچنین این آلاینده ها می توانند موجب شکایت ساکنان، کاهش بهره وری و غیبت آن ها شود که خود هزینه های اضافی را ایجاد می نماید.

برخی از این مواد منتشر شده به تنهایی اثرات نامطلوبی ندارند ولی ممکن است در صورت واکنش با ترکیبات موجود در هوا نظیر ازن، مواد جدیدی تولید کنند که این مواد مضر و خطرناک باشند. اثاثیه، لوازم و پوشش هایی که به سختی تمیز می شوند نیاز به شوینده های قوی دارند و این شوینده ها می توانند سبب بروز مشکلات کیفیت هوا شوند. گرچه هنوز تحقیقات علمی برای درک این پدیده ها در حال رشد هستند اما در اینجا ۳ راهکار برای دستیابی به هدف ۵ خواهد شد.

۱.۵.۱۲ راهکار اول: کنترل منابع آلاینده داخلی از طریق انتخاب مواد و لوازم مناسب

انتخاب مواد، لوازم و پوشش های مناسب می تواند احتمال بروز مشکلات کیفیت هوای داخلی را تا حد زیادی کاهش دهد. به عنوان نمونه هنگام انتخاب رنگ بایستی از انواعی از رنگ ها که بدون ترکیبات آلی فرار هستند استفاده نمود.

۲.۵.۱۲ راهکار دوم: به کارگیری روش هایی برای محدود کردن اثرات انتشار آلاینده ها

گاهی اوقات استفاده از برخی مواد و محصولات منتشر کننده آلاینده ها اجتناب ناپذیر است. در چنین مواردی بایستی با انجام اقدامات مناسب اثر آلاینده های تولید شده را کاهش داد. برخی از اقدامات قابل انجام به شرح زیر می باشد:

- کنترل انتشار آلاینده ها با استفاده از لایه های روکش مانند لیمنت^۱، ونیر^۲ و پوشش های پودری یا مایع؛
- باز کردن موادی که آلایندگی انتشاری دارند در محل هایی با نرخ تهویه بالا قبل از نصب آن در ساختمان؛
- استفاده از سیستم های دفع آلاینده محلی؛
- استقرار با تاخیر ساکنان در ساختمان های تازه ساخته شده یا تازه بازسازی شده (معمولا در روزهای ابتدایی تکمیل ساختمان به دلیل تازه بودن رنگ ساختمان و سایر اجزا میزان انتشار آلاینده ها بیشینه است)؛ و
- افزایش نرخ تهویه هوا در روزهای آغازین تکمیل بنا.

۳.۵.۱۲ راهکار سوم: کمینه کردن اثرات مربوط به فعالیت های تعمیرات و تمیزکاری

فرآیندها و عوامل تمیزکاری می توانند اثرات مخربی بر هوای داخلی داشته باشند. در این صورت بایستی در انتخاب تجهیزات ساختمان دقت نمود و وسایلی را که به آسانی تمیز می شوند انتخاب کرد و همچنین محصولات شوینده را به درستی و با دقت ذخیره و استفاده نمود.

¹ Laminate

² Veneer



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۶.۱۲ هدف ۶: جمع آوری و خروج آلاینده های حاصل از تجهیزات و فعالیت های ساختمان



تجهیزات و فعالیت های داخل ساختمان می توانند منابع مهمی در تولید آلاینده های داخلی باشند که برخی از مهم ترین آن ها عبارتند از:

- محصولات احتراق حاصل از تجهیزات با سوخت فسیلی (مانند اجاق های گاز)؛
 - خروجی اگزوز و آلاینده های تبخیری سایر قسمت های خودروهای داخل پارکینگ؛
 - آلاینده های خطرناک تولید شده در خشک شویی ها و سالن های آرایش؛
 - ذرات و بخارات حاصل از آزمایشگاه های مدارس، مغازه ها و کلاس های هنری؛
 - انتشار ترکیبات آلی فرار و ازن از تجهیزات اداری مانند دستگاه های فتوکپی و پرینتر؛
 - عوامل عفونی از اتاق های پزشکی و دندان پزشکی؛ و
 - بوهای حاصل از سایر منابع.
- در ادامه ۴ راهکار برای دستیابی به هدف ۶ معرفی شده است.

۱.۶.۱۲ راهکار اول: تهویه مناسب تجهیزات احتراقی

احتراق سبب تولید رطوبت، دی اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و سولفور، دوده و منوکسید کربن می گردد؛ لذا بایستی محصولات حاصل از احتراق توسط دودکش یا به کمک فن از محیط خارج شوند.



۲.۶.۱۲ راهکار دوم: جمع‌آوری و خروج محلی آلاینده‌های حاصل از منابع نقطه‌ای

منابع نقطه‌ای نظیر دستگاه‌های فتوکپی و پرینتر، محل‌های آرایش، مکان‌های خاص در آزمایشگاه‌ها و مغازه‌ها و تجهیزات پخت‌وپز تجاری می‌توانند سبب تولید آلاینده‌های هوا شوند. در چنین مواردی بایستی آلودگی‌های تولید شده به صورت محلی از محیط خارج شوند. به عنوان نمونه می‌توان از هود برای خروج آلاینده‌های تولید شده هنگام آشپزی استفاده نمود.

۳.۶.۱۲ راهکار سوم: طراحی مناسب سیستم خروج آلاینده‌ها

آلاینده‌های موجود در هوای خروجی ساختمان می‌توانند در صورت عدم عایق‌بندی مناسب کانال‌های خروجی دوباره به داخل ساختمان و فضاهای مسکونی راه یابند. هم‌چنین هوای خروجی ممکن است از طریق ورودی‌های هوا دوباره به داخل ساختمان باز گردد؛ بنابراین بایستی علاوه بر عایق‌بندی مناسب کانال‌ها، محل فن‌های خروجی و ورودی‌های طراحی شوند تا امکان بازگشت دوباره هوای خروجی به داخل ساختمان وجود نداشته باشد.

۴.۶.۱۲ راهکار چهارم: ایجاد توزیع فشار مناسب میان فضاهای داخلی مختلف

بسیاری از منابع تولید آلاینده‌ها قابلیت پخش بالایی دارند و لذا نمی‌توان آن‌ها را به سادگی در همان محل تولید به دام انداخته و از ساختمان خارج نمود. در چنین مواردی نظیر پارکینگ‌ها، استخرهای شنا، مغازه‌های خشک‌شویی و سالن‌های بزرگ آرایش بایستی از طریق تنظیم فشار محیط از گسترش آلودگی به سایر مکان‌ها جلوگیری نمود. به عبارتی توزیع فشار داخل ساختمان باید به گونه‌ای باشد تا جهت حرکت هوا از فضاهای تمیز به فضاهای کثیف برقرار شود.

۷.۱۲ هدف ۷: کاهش غلظت آلاینده ها از طریق تهویه، فیلتراسیون و پاک کننده های هوا



طراحی به منظور بهبود کیفیت هوای داخل بایستی در درجه اول بر کاهش منابع تولید آلودگی و سپس بر جمع آوری و خروج آلاینده ها از همان مناطق نزدیک منبع تولید آلودگی تمرکز داشته باشد. باقی آلاینده ها بایستی توسط تهویه هوا رقیق شده و یا از طریق فیلتراسیون و پاک کننده های هوا کاهش یابند. تهویه ناکافی احتمال اثرات منفی بر سلامت و

شکایت از کیفیت هوای داخل را افزایش می دهد. از طرفی فیلتراسیون و تصفیه هوای ناکافی نیز باعث ورود آلاینده ها از خارج به داخل ساختمان، گردش مجدد آلاینده ها در داخل ساختمان و انباشته شدن خاک و آلودگی در سیستم های هواساز می گردد. در ادامه ۶ راهکار برای دستیابی به هدف ۷ معرفی شده است.

۱.۷.۱۲ راهکار اول: تامین مقدار کافی از هوای خارج برای هر اتاق

مقدار هوای مورد نیاز برای هر اتاق، بسته به تعداد نفرات ساکن در آن و مساحت اتاق، تعیین می گردد. برای این منظور می توان از استاندارد ASHRAE 62.1 استفاده نمود.

۲.۷.۱۲ راهکار دوم: پایش و کنترل پیوسته میزان هوای خارجی ورودی به ساختمان

اگر میزان هوای خارجی وارد شده به ساختمان از حد نیاز بیشتر باشد سبب اتلاف انرژی شده و اگر از حد نیاز کمتر باشد سبب کاهش کیفیت هوا می گردد. بنابراین میزان هوای خارجی بایستی مرتب کنترل شود.

۳.۷.۱۲ راهکار سوم: توزیع کارآمد هوای تهویه به منطقه تنفسی^۱

به منظور کاهش کارآمد غلظت آلاینده ها، هوای تهویه بایستی به منطقه تنفسی تحویل داده شود. به طور معمول ناحیه ای از فضا که در شعاع ۳۰ سانتیمتری دهان و بینی افراد قرار می گیرد به عنوان منطقه تنفسی شناخته می شود.

۴.۷.۱۲ راهکار چهارم: توزیع کارآمد هوای تهویه به فضاهای چندگانه

تعیین درصد هوای خارجی مورد نیاز برای یک سیستم تهویه که برای فضاهای چندگانه (فضایی که شامل تعداد زیادی اتاق و محیط های متفاوت باشد) طراحی شده است کار دشواری می باشد و عدم طراحی دقیق می تواند منجر به تهویه ضعیف این فضاها شود.

۵.۷.۱۲ راهکار پنجم: استفاده از فیلترهای ذرات و تصفیه کننده های هوای سازگار با کیفیت هوای داخل

فیلترهای ذرات و تصفیه کننده های هوا می توانند بخش مهمی از آلاینده های هوای داخلی را از طریق کاهش آلاینده های هوای خارج، کاهش چرخش مجدد آلاینده ها در محیط داخل و کاهش تجمع خاک و ذرات در سیستم های هواساز، حذف نمایند. در فصل های ۱۳ و ۱۴ انواع تصفیه کننده های هوا و نحوه انتخاب آن ها توضیح داده شده است.

¹ Breathing zone



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۶.۷.۱۲ راهکار ششم: تامین شرایط راحتی به منظور افزایش رضایت ساکنان

احساس ساکنان ساختمان نسبت به کیفیت هوای داخلی به شدت به شرایط گرمایی داخل وابسته است. شرایط گرمایی داخل به همراه نوع فعالیت و پوشش ساکنان شرایط راحتی گرمایی ساکنان را تعیین می نماید. عوامل تاثیرگذار بر راحتی ساکنان در بخش ۴.۳ توضیح داده شده است.

فصل سیزدهم

تصفیه‌کننده‌های هوا

۱۳ تصفیه‌کننده‌های هوا

در این فصل انواع تصفیه‌کننده‌های هوا که برای بهبود کیفیت هوای داخلی قابل استفاده می‌باشند، معرفی خواهد شد.

۱.۱۳ مقدمه

فناوری‌های مختلفی می‌توانند در ساخت تصفیه‌کننده‌های هوا استفاده شوند. فیلتراسیون و جذب الکترواستاتیک در حذف ذرات معلق موجود در هوا کارایی بالایی دارند. فرآیندهای جذب شیمیایی برخی از آلاینده‌های گازی و بخارات را جذب می‌نمایند. برخی از تصفیه‌کننده‌های هوا از فناوری نور فرابنفش استفاده می‌کنند. تابش فرابنفش ضد میکروب^۱ برای کشتن برخی میکروارگانیسم‌هایی که روی سطوح رشد می‌کنند، استفاده می‌شوند. اکسیداسیون فوتوکاتالیستی^۲ یک فناوری نور فرابنفش دیگری است که در حال توسعه است که توانایی تخریب آلاینده‌های گازی را نیز دارا می‌باشد. دستگاه‌های مولد ازن^۳ که به عنوان تصفیه‌کننده‌های هوا فروخته می‌شوند نیز از فناوری نور فرابنفش یا پدیده کرونا استفاده کرده و برای کنترل آلاینده‌های داخلی استفاده می‌شوند.

خلاصه‌ای از فناوری‌های تصفیه هوا و آلاینده‌هایی که هر کدام از این روش‌ها قادر به کنترل هستند در جدول ۱-۱۳ آورده شده است. برخی از دستگاه‌های تصفیه هوا به منظور نصب در مجراهای سیستم‌های تهویه مطبوع طراحی شده‌اند و برخی دیگر نیز دستگاه‌های قابل حمل (رومیزی) بوده که به طور مستقل کار می‌کنند.

جدول ۱-۱۳ خلاصه‌ای از فناوری‌های مختلف تصفیه هوا

فناوری تصفیه‌کننده هوا	آلاینده	محدودیت‌ها
------------------------	---------	------------

^۱ Ultraviolet germicidal irradiation (UVGI)

^۲ Photocatalytic oxidation (PCO)

^۳ Ozone-generators

هدف			
فیلتراسیون	فیلتر هوا	ذرات	در حذف ذرات بزرگ ناکارآمد هستند زیرا این ذرات به سرعت ته نشین شده و به فیلتر نمی‌رسند.
	فیلترهای گازها	گازها	نسبت به فیلترهای ذرات کاربرد کمتری در خانه‌ها دارند. طول عمر این فیلترها در حذف آلاینده‌های گازی کوتاه است.
سایر تصفیه‌کننده‌ها	تابش فرابنفش ضدمیکروب	بیولوژیکی	هاگ‌های باکتری و قارچ مقاومت زیادی در برابر تابش فرابنفش دارند و نیاز به نور بیشتر یا مجاورت طولانی‌تر و یا هر دو دارند تا کشته شوند.
	اکسیداسیون فوتوکاتالیستی	گازها	به دلیل ناکارآمد بودن کاتالیست‌هایی که در حال حاضر وجود دارند، کاربرد آن‌ها در خانه‌ها بسیار محدود است.
	مولدهای ازن	ذرات، گازها و بیولوژیکی	تولید ازن می‌نماید که خود یک آلاینده داخلی بوده و محرک ریه است و کارایی و ایمنی مناسبی نیز در حذف آلاینده‌ها ندارند.

دستگاه‌های تصفیه هوای تمام خانه: این دستگاه‌ها عموماً در مسیر مجرای هوای برگشتی سیستم‌های تهویه

مطبوع نصب می‌شوند. فیلترهای هوای ساده که برخی ذرات را در مسیر هوا جذب کرده و از موتور فن، مبدل‌های حرارتی و مجراها در برابر نفوذ و نشت این ذرات محافظت می‌کنند به منظور بهبود کیفیت هوای داخلی طراحی نشده‌اند اما سیستم تهویه مطبوع می‌تواند با استفاده از فیلترهای هوای با کارایی بیشتر برای جذب دیگر ذرات، بهبود بخشیده شود. سایر دستگاه‌های تصفیه هوا نظیر رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیکی، لامپ‌های فرابنفش و فیلترهای فاز گازی از پدیده‌های جذب سطحی و واکنش‌های شیمیایی استفاده کرده و گاهی در مجراهای سیستم‌های تهویه مطبوع خانه‌ها نیز استفاده می‌شوند.

فن‌ها در سیستم‌های تهویه مطبوع مسکونی ممکن است به صورت تناوبی یا مستمر کار کنند. عملکرد مستمر اگرچه گردش جریان هوا و تمیزکاری آن را بهبود می‌بخشد اما مصرف انرژی الکتریکی و هزینه‌ها را نیز بالا خواهد برد.

دستگاه‌های تصفیه هوای قابل حمل: این دستگاه‌ها در انواع کوچک رومیزی و واحدهای بزرگتر موجود می‌باشند. از این دستگاه‌ها برای تمیز کردن هوای یک اتاق استفاده می‌شود و برای کل خانه مناسب نیستند. این دستگاه‌ها می‌توانند به هر مکانی که به تصفیه هوای محلی یا مستمر نیاز دارد منتقل شوند. واحدهای بزرگ برای خانه‌هایی که مجهز به سیستم‌های تهویه مطبوع هوا نیستند، مناسب می‌باشد. تصفیه‌کننده‌های هوای قابل حمل معمولاً دارای یک فن برای گردش هوا هستند و مجهز به یک دستگاه تصفیه نظیر فیلتر هوای مکانیکی، رسوب‌دهنده الکترواستاتیک، مولد یونی یا لامپ فرابنفش نیز می‌باشند. برخی از دستگاه‌های قابل حمل تحت عنوان دستگاه‌های بدون صدا به بازار عرضه می‌شوند که این به معنای نبود فن در آنهاست. اما عدم وجود فن سبب کاهش کارایی دستگاه نیز خواهد شد.

هم‌چنین دستگاه‌های تصفیه هوا می‌توانند مجهز به فیلترهای پنبلی نیز باشند که شامل فیلترهای کربن فعال هستند تا گازها و بوها را نیز حذف نمایند. برخی از تصفیه‌کننده‌های هوای قابل حمل به نام تصفیه‌کننده‌های هیبریدی شناخته می‌شوند که در واقع از ترکیب دو یا تعدا بیشتری از دستگاه‌های نام برده شده بهره می‌برند.

۲.۱۳ انواع تصفیه‌کننده‌های هوا

تصفیه‌کننده‌های هوا را می‌توان بر اساس معیارهای متفاوتی دسته‌بندی نمود. در این سند، تصفیه‌کننده‌های هوا بر مبنای نوع آلاینده‌ای که به دام می‌اندازند به چهار دسته تقسیم شده‌اند که شامل تصفیه‌کننده‌های ذرات، گازها، رادون و غیرفعال‌کننده‌ها می‌باشند. در ادامه هر یک از این انواع توضیح داده شده‌اند.

۱.۲.۱۳ تصفیه‌کننده‌های ذرات

فیلترهای هوا به منظور حذف آلاینده‌های معلق از هوای داخلی طراحی می‌شوند. عملکرد این فیلترها علاوه بر عواملی چون نرخ جریان هوای گذرنده از فیلتر و بازده آن، به فاکتورهای زیر نیز وابسته است:

➤ اندازه و جرم ذرات؛

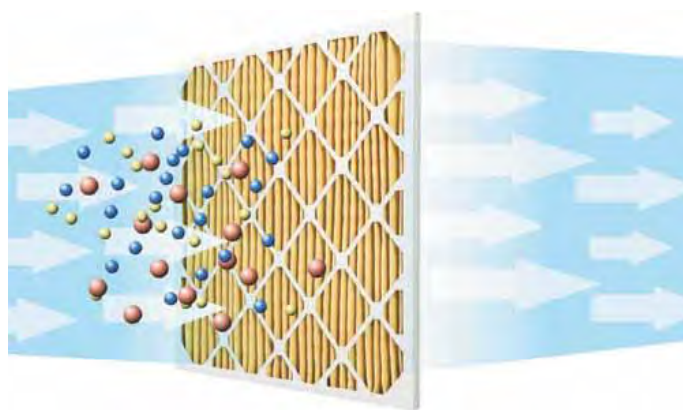
➤ مقدار غبار بر روی فیلتر؛

➤ نرخ جریان، سرعت، مسیر و مقاومت هوا در عبور از فیلتر؛

➤ ترکیب شدن هوای خروجی از فیلتر با هوای اتاق؛ و

➤ نرخ نشتی هوایی که از فیلتر بای پس می شود.

دو نوع اصلی دستگاه های تصفیه ذرات هوا موجود می باشند که شامل فیلترهای مکانیکی و الکترونیکی می شود. این دستگاه ها بر مبنای روشی که برای حذف ذرات با اندازه های مختلف از هوا استفاده می نمایند، دسته بندی می شوند.



۱.۱.۲.۱۳ فیلترهای هوای مکانیکی

این فیلترها که ممکن است قابل حمل بوده و یا در سیستم های تهویه مطبوع نصب شوند، ذرات معلق را بر روی فیلترهای خود گیر می اندازند. ذرات یا در الیاف این فیلترها به دام افتاده و یا به دلیل بار الکترواستاتیک به فیلتر می چسبند. فیلترهای هوای مکانیکی در دو نوع اصلی مسطح و پلیسه دار ساخته می شوند.

فیلترهای مسطح یا پنبلی: این نوع فیلترها عموماً از الیاف شیشه ای ضخیم، موی حیوانات روکش دار، الیاف سبزیجات، الیاف مصنوعی (نظیر نایلون و پلی استر)، فوم مصنوعی، پشم فلزی یا فلزات و ورق های گسترش یافته ساخته می شوند. فیلتر ممکن است با یک ماده لزج نظیر روغن آغشته شود که منجر به چسبیدن ذرات به الیاف

فیلتر می‌گردد. هم‌چنین فیلترهای مسطح می‌توانند از سه نوع ماده‌ای که دائماً به صورت الکترواستاتیکی باردار هستند نیز ساخته شوند. این مواد عبارتند از پشم رزین، یک الیاف یا فیلم پلاستیکی به نام «الکترت»^۱ و یک نوع پلیمر. بار استاتیک این مواد سبب جذب و به دام افتادن ذرات می‌شود. الیاف فیلترهای الکترت تا حدودی بزرگتر از الیاف سایر فیلترهای مسطح هستند که باعث می‌شود افت فشار کمتری داشته و بازده جذب ذرات کوچک آن نیز بیشتر باشد. بازده فیلترهای الکترت با گذشت زمان و پر شدن فیلتر از ذرات، کاهش می‌یابد.

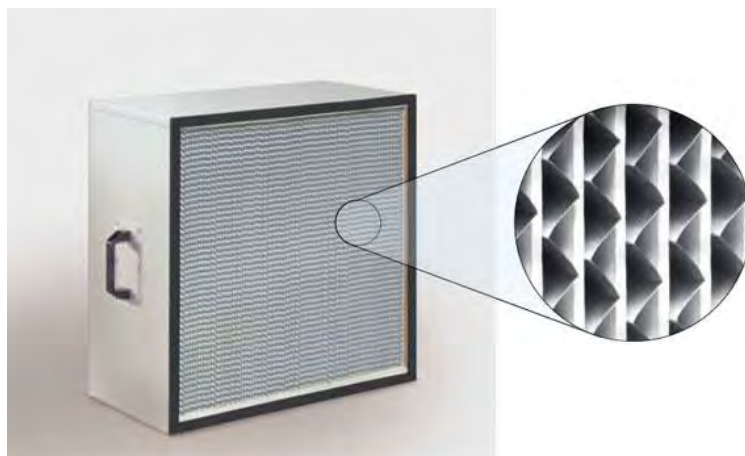
فیلترهای پلیسه‌دار یا سطح گسترده: این فیلترها عموماً نسبت به فیلترهای مسطح بازده بیشتری در جذب ذرات قابل استنشاق دارند. پلیسه‌دار کردن فیلتر باعث افزایش مساحت فیلتر و کاهش سرعت هوا شده و امکان استفاده از الیاف کوچکتر و افزایش چگالی فیلتر بدون افت زیاد در نرخ جریان هوا را ایجاد می‌نماید. در ساخت فیلترهای پلیسه‌دار از الیاف‌های شیشه، مصنوعی، سلولزی و سایر مواد پلی‌استری و کتان استفاده می‌شود.

فیلترهای ذرات هوای با بازده بالا^۲ که به فیلترهای «هپا» معروف هستند یکی از انواع فیلترهای با سطح گسترش‌یافته محسوب می‌شوند. این فیلترها معمولاً از الیاف شیشه‌ای زیر میکرون ساخته شده و بافتی شبیه به کاغذ بلاتر^۳ دارند. این فیلترها مساحت مقطع بزرگتری داشته و ذرات استنشاقی را با کارایی بیشتری نسبت به فیلترهای پلیسه‌دار حذف می‌نمایند.

^۱ Electret

^۲ High efficiency particulate air (HEPA)

^۳ Blotter paper



شکل ۱۳-۱ نمونه‌ای از فیلترهای پلیسه‌دار

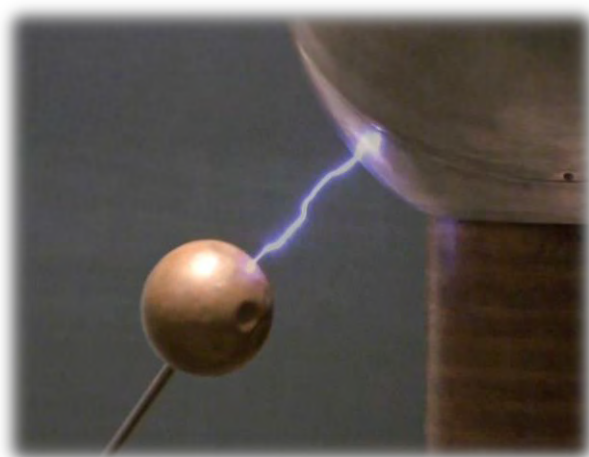
۲.۱.۲.۱۳ فیلترهای هوای الکترونیکی

این فیلترها از فرآیندی به نام جذب الکترواستاتیک برای به دام انداختن ذرات باردار استفاده می‌نمایند. دو نوع از تصفیه‌کننده‌های هوای الکترونیکی وجود دارد که شامل رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیک و مولدهای یونی می‌باشد.

رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیکی: این دستگاه‌ها دارای یک بخش یونیزاسیون و یک بخش صفحه جمع‌آوری هستند که هر دو از یک منبع قدرت خارجی استفاده می‌نمایند. تصفیه‌کننده هوا، هوا را به سمت بخش یونیزاسیون مکیده و در آنجا ذرات موجود در هوا باردار می‌شوند. ذرات باردار بر روی یک سری صفحات مسطح که کالکتور نامیده می‌شوند، جمع می‌گردند که این صفحات باری مخالف بار ذرات دارند. تمیزکاری صفحات کالکتور برای حفظ عملکرد تصفیه‌کننده هوا ضروری می‌باشد.

مولدهای یونی: مولدهای یونی همانند رسوب‌دهنده الکترواستاتیکی یون‌های باردار را در هوا پخش می‌نمایند اما صفحات کالکتور ندارند. مولدهای یونی از طریق پدیده کرونا یا نور فرابنفش یون‌ها را تولید می‌نمایند. این یون‌های باردار به ذرات موجود در هوا چسبیده و آن‌ها را باردار می‌نمایند و در نتیجه این ذرات نیز به سطوح نزدیک خود نظیر دیوارها، اثاثیه منزل و پرده‌ها چسبیده یا اینکه به سایر ذرات باردار متصل شده و به دلیل سنگین شدن بر

روی سطح زمین رسوب می‌کنند. مولدهای یونی ساده‌ترین نوع تصفیه‌کننده‌های هوای الکترونیکی هستند که در انواع رومیزی، قابل حمل و واحدهای نصب شونده بر روی سقف ساخته می‌شوند.



میدان الکتریکی در نزدیکی ماده رسانا می‌تواند به حدی متمرکز شود که هوای مجاور خود را یونیزه نماید. این موضوع می‌تواند منجر به تخلیه جزئی انرژی الکتریکی گردد که به آن **کرونا** گفته می‌شود.

شکل ۱۳-۲ نمایش پدیده کرونا

همانند فیلترهای مکانیکی، تصفیه‌کننده‌های هوای الکترونیکی نیز می‌توانند در سیستم‌های تهویه مطبوع نصب شده و یا در واحدهای قابل حمل استفاده شوند. اگرچه تصفیه‌کننده‌های هوای الکترونیکی ذرات ریز را حذف می‌نمایند اما گازها و بوها را حذف نخواهند کرد. همچنین از آنجایی که تصفیه‌کننده‌های هوای الکترونیکی برای تولید میدان یونی از ولتاژهای بالا استفاده می‌نمایند، می‌توانند سبب تولید ازن به عنوان یک محصول جانبی و یا یک محصول اصلی شوند. غلظت‌های داخلی ازن در محیط‌های مسکونی می‌تواند تحت تاثیر ازن منتشر شده از تصفیه‌کننده‌های هوای الکترونیکی باشد. حتی در غلظت‌های پایین‌تر از حد استاندارد سلامت عمومی نیز ازن می‌تواند با مواد شیمیایی منتشر شده از برخی منابع رایج داخلی نظیر خوشبوکننده‌های هوا، رنگ‌ها، پولیش‌ها و فرش‌ها واکنش نشان دهد. این واکنش‌های شیمیایی می‌توانند منجر به تولید محصولات جانبی خطرناکی گردند که تاثیرات منفی بر روی سلامتی افراد حساس خواهند داشت. محصولات جانبی واکنش ازن می‌تواند شامل ذرات بسیار ریز (با قطر کوچکتر از $0.1 \mu m$)، فرمالدهید، کتون‌ها و اسیدهای ارگانیک باشد [۱۱۳].

بازده و کارایی:

به منظور انتخاب تصفیه‌کننده‌های هوا و استفاده از آن‌ها بایستی تفاوت میان دو مفهوم بازده و کارایی را به خوبی درک نمود. **بازده** یک دستگاه تصفیه هوا معمولاً به صورت درصد بیان شده و بیانگر میزان توانایی آن در حذف ذرات معلق یا گازهای آلاینده از هوایی است که از فیلتر عبور می‌نماید. **کارایی** یک دستگاه تصفیه هوا بیانگر میزان توانایی آن در کاهش ذرات معلق یا غلظت گازهای آلاینده در یک فضای اشغال شده است.

بازده فیلترهای هوایی که در مجراهای سیستم‌های تهویه مطبوع یا در تصفیه‌کننده‌های هوای قابل حمل استفاده می‌شوند، با توجه به نرخ جریان هوا و بار ذرات معلق متفاوت می‌باشند. کارایی یک دستگاه تصفیه هوا در حذف آلاینده‌ها از یک فضای اشغال شده به سه عامل بستگی دارد:

✓ بازده فیلتر؛

✓ مقدار هوای فیلتر شده؛ و

✓ مسیری که هوای فیلتر شده پس از عبور از فیلتر طی می‌نماید.

به عنوان مثال یک فیلتر ممکن است ۹۹ درصد ذرات را از هوایی که از آن عبور می‌کند جدا نماید (به عبارت دیگر بازده آن ۹۹ درصد باشد). با این حال اگر نرخ جریان هوای عبوری از فیلتر تنها ۱۰ فوت مکعب بر دقیقه بوده و حجم اتاق نیز حدود ۱۰۰۰ فوت مکعب باشد، در این صورت این فیلتر تقریباً در حذف ذرات از هوای اتاق ناکارآمد است.

هنگام نصب فیلترها در سیستم‌های تهویه مطبوع بایستی از عدم نشت هوا از اطراف آن‌ها اطمینان حاصل نمود. هرچه بازده فیلتر بالاتر باشد، بایستی هنگام نصب درزبندهای آن توجه بیشتری نمود زیرا مقاومت بیشتری که این فیلترها در برابر جریان هوا ایجاد می‌نمایند، امکان نشت هوا را افزایش می‌دهد. کارایی فیلتر هوا در صورتی که به خوبی نصب نشده و دارای نشتی باشد، می‌تواند به میزان قابل توجهی کاهش یابد [۱۱۴]. اگر هوای خروجی از سیستم تهویه مطبوع قبل از ورود مجدد به سیستم به خوبی با هوای اتاق مخلوط نشود، کارایی فیلترها کاهش خواهد یافت.

۲.۲.۱۳ تصفیه‌کننده‌های گازها

فیلترهای گازها در واقع توسط فرآیندهای فیزیکی یا شیمیایی، گازهای آلاینده و بوهای هوا را حذف می‌نمایند. این فیلترها معمولاً برای حذف یک یا تعداد بیشتری آلاینده گازی که در غلظت‌های کمی در هوای عبوری از فیلتر حضور دارند، طراحی می‌شوند. با این وجود این فیلترها برای حذف تمامی آلاینده‌های گازی طراحی نمی‌شوند. تصفیه‌کننده‌های هوایی که حاوی مواد جاذب یا فناوری اکسیداسیون فوتوکاتالیستی نیستند، نمی‌توانند آلاینده‌های گازی را حذف نمایند.

رفتار یک فیلتر جاذب به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که می‌توان آن‌ها را به صورت زیر برشمرد:

➤ سرعت و نرخ جریان هوای عبوری از جاذب؛

➤ غلظت آلاینده‌ها؛

➤ وجود آلاینده‌های گازی دیگر؛

➤ کل مساحت در دسترس جاذب (برخی تکنیک‌های ساخت می‌تواند این مساحت را به میزان قابل توجهی کاهش دهد)؛

➤ مشخصات فیزیکی و شیمیایی آلاینده‌ها و جاذب (نظیر وزن، قطبیت، اندازه روزنه، شکل، حجم و نوع و میزان لقاح شیمیایی)؛

➤ افت فشار؛

➤ ظرفیت و بازده حذف؛ و

➤ دما و رطوبت نسبی جریان گاز.

فیلترهای گازها نسبت به فیلترهای ذرات در خانه‌ها بسیار کمتر رایج هستند زیرا یک سیستم فیلتر گازی با طراحی و ساخت مناسب برای یک سیستم تهویه مطبوع مسکونی یا یک تصفیه‌کننده هوای قابل حمل بسیار بزرگ است. عوامل دیگری که باعث شده‌اند تا استفاده از فیلترهای گازها در سیستم‌های تهویه مطبوع کمتر رایج باشد عبارتند از:

۱. عمر مفید این فیلترها محدود است؛

۲. ماده جاذب باید در معرض آلاینده‌های خاصی قرار گیرد؛

۳. هزینه خرید این فیلترها بالا می‌باشد؛ و

۴. هزینه تطبیق آن‌ها با کاربردهای مسکونی و هزینه‌های عملیاتی آن‌ها پس از نصب زیاد است.

دو نوع فرآیند اصلی برای حذف آلاینده‌های گازی وجود دارد. فرآیند فیزیکی حذف آلاینده‌های گازی به نام «جذب سطحی»^۱ و فرآیند شیمیایی حذف به نام «جذب سطحی شیمیایی»^۲ شناخته شده است.

^۱ Adsorption

^۲ Chemisorption

۱۳.۲.۱۳ فرآیند جذب سطحی

فرآیند جذب سطحی به دلیل جذب فیزیکی مولکول‌های گاز یا بخار بر روی یک سطح اتفاق می‌افتد. تمامی جاذب‌ها دارای ظرفیت محدود هستند و بنابراین نیاز به نگهداری مداوم می‌باشند. یک جاذب عموماً مولکول‌هایی که بیشترین آفنیته (آفنیته: میل ترکیبی اجزای شیمیایی غیرمشابه به یکدیگر را گویند) را دارند جذب کرده و اجازه می‌دهد تا سایر مولکول‌ها در جریان هوا باقی بمانند. فرآیند جذب سطحی در دماها و رطوبت نسبی پایین راحت‌تر اتفاق می‌افتد. جاذب‌های جامد نظیر کربن فعال، سیلیکا ژل، آلومینای فعال، زئولیت‌ها، پلیمرهای مصنوعی و مواد معدنی خاک رس متخلخل به دلیل مساحت سطح داخلی بزرگ، پایداری و قیمت کم بسیار مناسب هستند.



کربن فعال به گروهی از مواد کربنی با تخلخل و سطح داخلی بالا اطلاق می‌شود که به دلیل مساحت داخلی قابل توجه، ساختار متخلخل و منفذی، ظرفیت جذب بالا، قابلیت فعال‌سازی مجدد سطح و همچنین قیمت پایین در مقایسه با جاذب‌های غیرآلی نظیر زئولیت، ماده منحصر به فردی می‌باشند.

کربن فعال رایج‌ترین ماده جاذبی است که در سیستم‌های تهویه مطبوع و تصفیه‌کننده‌های قابل حمل برای حذف آلاینده‌های گازی استفاده می‌شود. این ماده توانایی حذف اکثر هیدروکربن‌ها، بیشتر آلدهیدها و اسیدهای ارگانیک را دارا می‌باشد. با این وجود کربن فعال در برابر اکسیدهای سولفور، هیدروژن سولفید، آلدهیدهای با جرم مولکولی کوچک، آمونیاک و نیتروژن اکسید کارایی ندارد.

۲.۲.۲.۱۳ فرآیند جذب سطحی شیمیایی

این فرآیند هنگامی که مولکول‌های گاز یا بخار به صورت شیمیایی با ماده جاذب یا عوامل واکنشی آغشته شده در جاذب واکنش نشان می‌دهند، اتفاق می‌افتد. این عوامل واکنشی با گازها واکنش نشان داده و ترکیبات شیمیایی پایداری به وجود می‌آورند که به عنوان نمک‌های آلی یا غیرآلی به سطح جاذب متصل می‌شوند یا شکسته شده و به صورت منوکسید کربن، بخار آب یا موادی که به راحتی با سایر جاذب‌ها جذب می‌شوند، در جریان هوا رها می‌شوند.

طول عمر کوتاه فیلترهای
گازی امکان استفاده از
آنها را در سیستم‌های
تهویه مطبوع خانگی محدود
کرده است.

مواد شیمیایی مختلفی می‌توانند بر روی کربن فعال آغشته شوند. پتاسیم پرمنگنات یک جاذب شیمیایی رایج است که بر روی آلومینای فعال آغشته می‌شود. این جاذب شیمیایی با بسیاری از آلاینده‌های هوای رایج نظیر فرمالدهید، سولفور و دی‌اکسید نیتروژن واکنش نشان می‌دهد. از آنجا که یک جاذب شیمیایی تنها با یک یا تعداد محدودی از آلاینده‌های فعال واکنش نشان می‌دهد، نباید انتظار داشت تا بتواند غلظت سایر آلاینده‌ها را نیز کاهش دهد.

۳.۲.۲.۱۳ استفاده از جاذب‌ها برای حذف آلاینده‌های گازی

فیلترهای فاز گازی که شامل جاذب‌های فیزیکی و شیمیایی است ممکن است در سیستم‌های تهویه مطبوع یا در تصفیه‌کننده‌های هوای قابل حمل استفاده شوند. این جاذب‌ها معمولاً در پایین‌دست فیلترهای هوای ذرات جذب

می‌شوند. فیلتر هوا مقدار ذرات معلق که به جاذب می‌رسد را کاهش داده و جاذب نیز بخارات حاصل از ذرات مایعی که در فیلتر ذرات جمع‌آوری می‌شود را جذب می‌کند.

برخی از فیلترهای فاز گازی ممکن است حداقل به صورت موقت بخشی از آلاینده‌های گازی را از هوای داخلی حذف کنند. اگرچه برخی از فیلترهای فاز گازی (اگر به خوبی طراحی، استفاده و نگهداری شوند) ممکن است به خوبی برخی از آلاینده‌های خاص را از هوای داخلی حذف نمایند اما این انتظار وجود ندارد که بتوانند تمامی آلاینده‌های گازی را به میزان کافی در یک خانه معمولی حذف نمایند. برای مثال، منوکسید کربن به راحتی توسط فرآیند جذب سطحی یا جذب سطحی شیمیایی به دام نمی‌افتد. علاوه بر این سیستم‌های حذف آلاینده‌های گازی معمولاً دارای عمر محدودی هستند و پس از آن بایستی ماده جاذب تعویض گردد. همچنین این نگرانی وجود دارد که فیلترهای جاذب اشباع شده ممکن است آلاینده‌های به دام افتاده را دوباره به جریان هوا بازگردانند.

آزمایش‌های حذف آلاینده‌های گازی توسط کربن فعال عموماً با استفاده از غلظت‌های بالای آلاینده‌ها انجام می‌گردد و بنابراین اطلاعات اندکی در مورد کارایی کربن در حذف ترکیبات شیمیایی در غلظت‌های اندک (در حد ppb) که معمولاً در محیط‌های داخل یافت می‌شود، وجود دارد.

۳.۲.۱۳ تصفیه‌کننده‌های رادون

آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا^۱ استفاده از تصفیه‌کننده‌های هوا را برای کاهش خطرات مرتبط با رادون و محصولات واپاشی آن که دختران رادون نام دارد، توصیه نمی‌کند. این آژانس استفاده از روش کنترل منبع آلودگی را برای جلوگیری از ورود رادون به محیط‌های مسکونی پیشنهاد کرده است. کاراترین فناوری کنترل رادون روش «افت فشار خاک فعال»^۲ است. در این روش با استفاده از یک فن الکتریکی، هوا از زیر ساختمان مکش شده و به سمت بیرون ساختمان تهویه می‌شود. روش دیگری که کارایی کمتری دارد و در طول ساخت بنا نصب می‌گردد، «سیستم غیرفعال کاهش رادون»^۳ نام دارد که به روش «سازه جدید مقاوم در برابر رادون»^۴ یا روش RRNC نیز معروف است.

سیستم‌های RRNC سیستم‌هایی دو منظوره هستند. این سیستم‌ها معمولاً فن ندارند اما اگر آزمایش‌های بعدی نشان از سطح بالای رادون داشته باشد، یک فن نیز می‌تواند نصب شده و سیستم RRNC به نوعی تبدیل به سیستم افت فشار خاک فعال یا همان ASD شود.

مطالعات اندکی به بررسی کارایی تصفیه‌کننده‌های هوا در حذف رادون و دخترانش پرداخته‌اند. این مطالعات به مقایسه بازده تصفیه‌کننده‌های مختلف نظیر فیلترهای هوای مکانیکی، رسوب‌دهنده الکترواستاتیک و مولدهای یونی مجهز به فن و همچنین میزان موفقیت آن‌ها در کاهش خطرات ناشی از رادون پرداخته‌اند. با این وجود مقادیر کاهش خطری که در این مطالعات یافت شده است با یکدیگر سازگاری ندارند.

^۱ Environmental Protection Agency (EPA)

^۲ Active Soil Depressurization (ASD)

^۳ Passive radon reduction system

^۴ Radon-Resistant New Construction (RRNC)

۴.۲.۱۳ غیرفعال کننده‌ها

سه نوع از تصفیه‌کننده‌های هوا برای تخریب یا غیرفعال کردن آلاینده‌های هوای داخلی طراحی می‌شوند:

- پاک‌کننده‌های فرابنفش ضد میکروب^۱؛
- پاک‌کننده‌های اکسیداسیون فوتوکاتالیستی^۲؛ و
- مولدهای ازن.

در ادامه هر یک از این سه نوع دستگاه معرفی شده است.

۱.۴.۲.۱۳ پاک‌کننده‌های فرابنفش ضد میکروب

این نوع پاک‌کننده‌ها به منظور بهبود کیفیت هوای داخلی محیط‌های مسکونی طراحی شده‌اند. این دستگاه‌ها از طریق غیرفعال کردن آلاینده‌های بیولوژیکی که در هوا معلق بوده و یا بر روی سطوح مرطوب سیستم‌های تهویه مطبوع وجود دارند، کار تصفیه هوا را انجام می‌دهند.

هیچ روش آزمایش استاندارد برای مقایسه کارایی پاک‌کننده‌های فرابنفش ضد میکروب استفاده شده در سیستم‌های تهویه مطبوع یا در تصفیه‌کننده‌های هوای قابل حمل وجود ندارد. پاک‌کننده‌های معمولی که در خانه‌ها استفاده می‌شوند کارایی محدودی در از بین بردن باکتری و قارچ‌ها دارند. تخریب مناسب برخی از ویروس‌ها و بیشتر قارچ‌ها و باکتری‌ها معمولاً به مجاورت طولانی‌تری با اشعه فرابنفش نسبت به مقداری که واحدهای پاک‌کننده خانگی ایجاد می‌نمایند، نیاز دارد. بنابراین اینطور به نظر می‌رسد که دستگاه‌های فرابنفش ضد میکروب به عنوان تنها دستگاه کنترل آلاینده‌های بیولوژیکی مناسب نیستند. زمانی که از پاک‌کننده‌های فرابنفش استفاده می‌شود بایستی از سیستم‌های فیلتراسیون ذرات نیز استفاده شود [۱۱۵].

¹ Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) cleaners

² Photocatalytic Oxidation (PCO) cleaners

بیشتر لامپ‌های فرابنفش که برای کشتن میکروب‌ها در محیط‌های مسکونی استفاده می‌شوند لامپ‌های بخار جیوه با فشار کم هستند که اشعه فرابنفش در طول موج ۲۵۳/۷ نانومتر منتشر می‌نمایند که خاصیت میکروب‌کشی آن اثبات شده است. اشعه فرابنفش می‌تواند به ساختار سلول‌های میکروارگانیسم‌ها نفوذ کرده و با تغییر DNA آن‌ها، جلوی تکثیر آن را گرفته و منجر به مرگ سلول شود. البته برخی از باکتری‌ها و قارچ‌ها نسبت به اشعه فرابنفش مقاوم هستند.

پرتوافکنی فرابنفش ضد میکروب یک روش ضد عفونی کردن است که با استفاده از امواج فرابنفش با طول موج‌های کوتاه، اسیدهای نوکلئیک یا DNA میکروارگانیسم‌ها را تخریب کرده و جلوی ادامه فعالیت‌های حیاتی این سلول‌ها را می‌گیرد. این فناوری در کاربردهای زیادی نظیر تصفیه آب و هوا استفاده می‌شود.

دو نوع کاربرد برای پاک‌کننده‌های فرابنفش ضد میکروب وجود دارد. برخی از این پاک‌کننده‌ها برای ضد عفونی کردن جریان هوا به منظور کاهش زیست‌پذیری این میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شوند و دسته دیگری از آن‌ها به منظور ضد عفونی کردن سطوح نظیر سطوح اجزای مختلف سیستم تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می‌گیرند. لامپ‌های فرابنفش ضد میکروب به منظور ضد عفونی کردن سطوح یا جریان هوا در سیستم‌های تهویه مطبوع، بعد از فیلترها و قبل از کویل سرمایش قرار می‌گیرند. در تصفیه‌کننده‌های قابل حمل نیز لامپ‌های فرابنفش پس از فیلتر قرار می‌گیرد. اگر در کاربردهای ضد عفونی کردن جریان هوا فن موجود در مسیر هوا کار نکند، جابه‌جایی هوا صورت نگرفته و عملاً عملیات ضد عفونی کردن نیز انجام نخواهد شد.

پاک‌کننده‌های فرابنفش ضد میکروب به منظور ضد عفونی کردن جریان هوا، اگر به درستی نصب شده باشند، توانایی کاهش زیست‌پذیری قارچ‌ها و باکتری‌های گیاهی^۱ و توانایی کاهش کم تا متوسط ویروس‌ها را دارند ولی توانایی کاهش هاگ‌های باکتری‌ها و قارچ‌ها را ندارند [۱۱۶]. هاگ‌ها نسبت به اشعه فرابنفش مقاومت بیشتری دارند و برای کشتن آن‌ها به دز بیشتری نیاز است.

پاک‌کننده‌های هوای فرابنفش ضد میکروب به منظور ضد عفونی کردن سطوح در واحدهای هواساز نصب می‌شوند تا از رشد قارچ‌ها و باکتری‌های گیاهی بر روی سطوح مرطوب سیستم‌های تهویه مطبوع جلوگیری نمایند [۱۱۷].

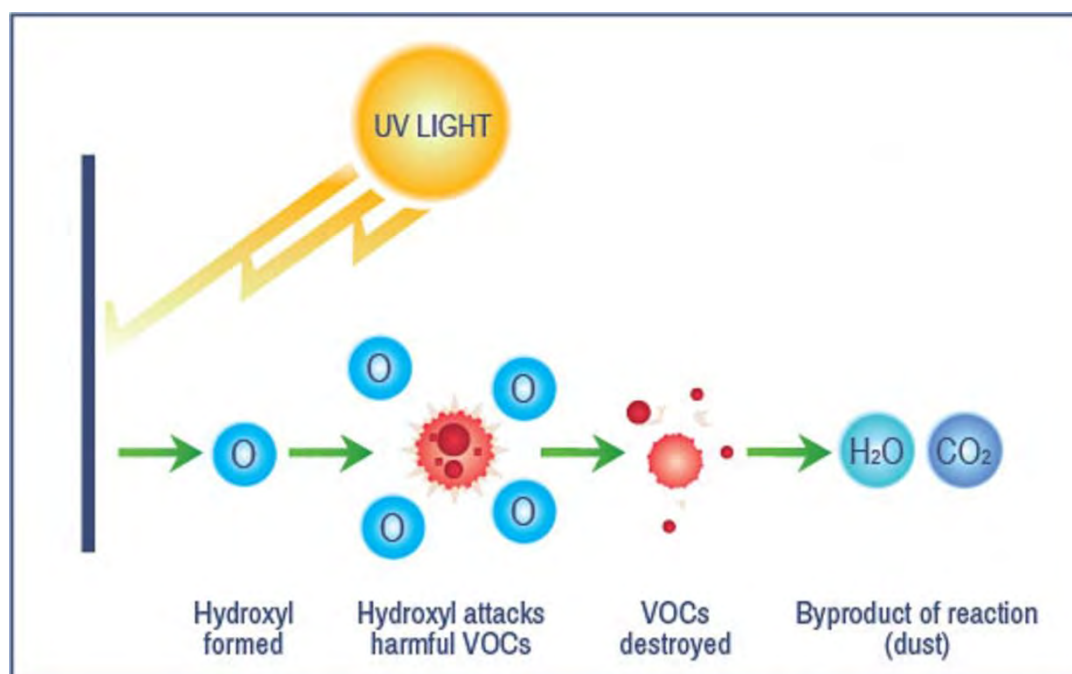
۲.۴.۲.۱۳ پاک‌کننده‌های اکسیداسیون فوتوکاتالیستی

هدف این دستگاه‌ها که به PCO معروف هستند، از بین بردن آلاینده‌های گازی و بوی آن‌ها از طریق تبدیل آن‌ها به محصولات بی‌ضرر است. البته این دستگاه‌ها به منظور حذف آلاینده‌های معلق طراحی نشده‌اند. پاک‌کننده‌های PCO از یک لامپ فرابنفش و یک فوتوکاتالیست که معمولاً دی‌اکسید تیتانیوم است استفاده می‌کنند تا اکسیدان‌هایی تولید نمایند که آلاینده‌های گازی را از بین می‌برند. زمانی که فوتوکاتالیست تحت تابش فرابنفش قرار گیرد یک واکنش فوتوشیمیایی شکل گرفته و رادیکال‌های هیدروکسیل شکل می‌گیرند. رادیکال‌های هیدروکسیل آلاینده‌های گازی جذب شده بر روی سطح کاتالیست را اکسید می‌نمایند. این فرآیند که به آن اکسیداسیون فوتوکاتالیستی گفته می‌شود آلاینده‌های ارگانیک را به دی‌اکسید کربن و آب تبدیل می‌نماید. به منظور دستیابی به یک تبدیل کارآمد بایستی نرخ واکنش پاک‌کننده PCO با نرخ تولید و ورود هوای کثیف به فضای مورد نظر برابر باشد.

روش PCO یک فناوری نوظهور است که هدف اصلی آن بهبود کیفیت هوای داخلی می‌باشد. سودمندی پاک‌کننده‌های PCO در خانه‌ها محدود شده است زیرا فوتوکاتالیست‌های در دسترس (یعنی موادی که با نور

^۱ Vegetative

واکنش نشان می‌دهند) در تخریب کامل آلاینده‌های گازی هوای داخلی ناکارآمد هستند [۱۱۸]. سایر معضلات مهندسی این دستگاه‌ها که هنوز به خوبی حل و فصل نشده است مصرف انرژی نسبتاً زیاد آن‌ها، پیچیدگی فرآیند آن که ترکیبی از اشعه فرابنفش و کاتالیست می‌باشد و نیاز به حذف چندین نوع ترکیب آلاینده از جریان هوا را می‌توان نام برد. برخی از دستگاه‌های PCO نه تنها نمی‌توانند آلاینده‌ها را به طور کامل از بین ببرند بلکه آلاینده‌های جدیدی نیز تولید می‌نمایند که منجر به خارش چشم، گلو و بینی می‌شوند. تا زمانی که داده‌های بیشتری حاصل نشده است، اطلاعات مربوط به عملکرد دستگاه‌های PCO چندان قابل استناد نیستند.



شکل ۱۳-۳ فرآیند تخریب ترکیبات آلی فرار توسط روش PCO

نتایج یک مطالعه [۱۱۹] نشان داده است که دستگاه‌های PCO نصب شده در تصفیه‌کننده‌های هوای قابل حمل نتوانسته‌اند هیچ یک از ترکیبات آلی فرار که معمولاً در غلظت‌های اندک در محیط‌های داخلی یافت می‌شوند را به صورت کارآمدی حذف نمایند. این مطالعه بازده حذف ترکیبات آلی فرار ۱۵ تصفیه‌کننده که از فناوری‌های مختلفی

بهره می‌بردند با هم مقایسه کرده است. در این مطالعه ترکیبی از ۱۶ ترکیب آلی فرار رایج در محیط‌های داخلی نیز استفاده شده است.

مروری بر ادبیات نشان می‌دهد که تحقیقات بیشتری به منظور پیشرفت بیشتر روش PCO نیاز است تا این فناوری بتواند برای حذف آلاینده‌های گازی در غلظت‌های کم محیط‌های داخلی کارایی داشته باشد.

۳.۴.۲.۱۳ مولدهای ازن

مولدهای ازن که به عنوان تصفیه کننده هوا و به صورت واحدهای قابل حمل یا قابل نصب در سیستم‌های تهویه مطبوع به بازار عرضه می‌شوند با استفاده از نور فرابنفش یا پدیده کرونا ازن تولید کرده و سپس این ازن را توسط یک فن در هوای اتاق پخش می‌نمایند.

برخی از سازندگان و فروشندگان مولدهای ازن بیان می‌کنند که ازن هم با آلاینده‌های شیمیایی و هم آلاینده‌های بیولوژیکی واکنش نشان داده و آن‌ها را تبدیل به مواد بی‌ضرری می‌کند. با این وجود باید دانست که ازن یک گاز محرک بوده و با بافت‌های ریه واکنش می‌دهد و می‌تواند منجر به حملات آسمی، سرفه، ناراحتی قفسه سینه، خارش بینی، گلو و نای و سایر اثرات منفی بر روی سلامتی شود. ازن می‌تواند با آلاینده‌های شیمیایی واکنش داده و محصولات جانبی خطرناکی تولید نماید [۱۱۳].



شواهد علمی موجود حاکی
از این است که **مولدهای
ازن** نمی‌توانند کارایی
لازم را برای از بین
بردن آلاینده‌های داخلی
داشته باشند.

شواهد علمی موجود نشان می‌دهند که ازن در غلظت‌های کمتر از حد استاندارد سلامت، توانایی اندکی در حذف آلاینده‌های محیط‌های داخلی نظیر ترکیبات شیمیایی بدبو، ویروس‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها و دود سیگار دارد و بنابراین عملاً ازن برای کنترل آلودگی هوای داخلی ناکارآمد است. برخی از مطالعات کنترل شده نشان داده‌اند که غلظت ازن تولید شده توسط مولدهای ازن می‌تواند از حدود استاندارد فراتر رود حتی اگر مصرف‌کننده دستورات سازنده دستگاه را نیز رعایت کرده باشد. هیچ سازمانی استفاده از مولدهای ازن را برای محیط‌های داخلی تایید نکرده است.

۳.۱۳ تاثیر تصفیه‌کننده‌های هوا در بهبود کیفیت هوای داخلی

دستگاه‌های تصفیه هوا ممکن است به کاهش سطح آلرژن‌های معلق کوچک، ذرات و در برخی موارد آلاینده‌های گازی خانه‌ها کمک نمایند. با این وجود تصفیه‌کننده‌های هوا ممکن است اثرات منفی بر روی سلامتی را به خصوص در افراد حساس نظیر کودکان، افراد مبتلا به آسم و حساسیت و سالخوردگان کاهش ندهند.

متخصصان بالینی به بیمارانی که آسم یا آلرژی دارند توصیه می‌نمایند که از فیلترهای هپا در سیستم تهویه مطبوع یا دستگاه‌های تصفیه هوای قابل حمل استفاده نمایند. صرف‌نظر از میزان کارایی این دستگاه‌ها در حذف آلاینده‌های هوا، سوال اساسی این است که آیا این دستگاه‌ها می‌توانند اثرات منفی بر روی سلامتی را کاهش دهند. چگونگی کاهش علائم بیماری و آلرژی به دلیل استفاده از دستگاه‌های تصفیه هوا هنوز مشخص نیست. در واقع داده‌های قدرتمندی که ارتباط میان دستگاه‌های تصفیه هوا و کاهش علائم بیماری‌ها را نشان دهند وجود ندارد. مطالعات زیادی ارتباط دستگاه‌های تصفیه هوا را با کاهش غلظت آلاینده‌های معلق در هوای داخلی مشخص کرده‌اند اما مطالعات تخصصی بیشتری برای تعیین اثرات این دستگاه‌ها بر روی سلامتی مورد نیاز است. یک مرور ادبیات تنها تعداد محدودی از مطالعاتی که در این زمینه بوده‌اند را بررسی کرده است. این مطالعات بیشتر بر روی افراد حساس نظیر افراد مبتلا به آسم و حساسیت، کودکان و سالخوردگان صورت گرفته است. البته تعداد زیادی از مطالعات نیز محدودیت‌های مهمی نظیر کوچک بودن اندازه مطالعه، دوزه زمانی کوتاه و نبود دانش کافی از عملکرد دستگاه‌های تصفیه هوا را داشته‌اند.

مطالعات بسیاری بر روی افرادی که علائم آلرژی فصلی یا دایمی داشته‌اند و از تصفیه‌کننده‌های هوای قابل حمل مجهز به فیلتر هپا استفاده کرده‌اند، صورت گرفته است. مطالعات اندکی به بررسی فیلترهای گازها و تصفیه‌کننده‌های هوایی که از فناوری‌های نور فرابنفش استفاده می‌کنند نظیر پاک‌کننده‌های فرابنفش ضد میکروب و پاک‌کننده‌های PCO پرداخته‌اند. کمبود اطلاعات منجر به شواهد علمی اندک برای ارتباط دادن این دستگاه‌ها با کاهش علائم بیماری شده است.

استفاده از تصفیه‌کننده‌های هوا ممکن است به کاهش ذرات و آلرژن‌های معلق کوچک کمک نماید ولی نباید انتظار کاهش موثر علایم بیماری را داشت. برای ارزیابی تاثیر تصفیه‌کننده‌های هوا در بهبود علایم بیماری چندین عامل بایستی در نظر گرفته شود که شامل موارد زیر هستند:

➤ تداخلات متعدد؛

➤ عدم ارتباط قاطع میان تصفیه‌کننده‌های هوا و بهبود علایم سلامتی؛ و

➤ تولید آلاینده‌های جدید.

در ادامه هر یک از این سه عامل به طور کامل تشریح شده است.

۱.۳.۱۳ تداخلات متعدد

مطالعات بسیاری بر روی فواید تصفیه‌کننده‌های هوا بر روی سلامتی، شامل تداخلات متعددی هستند و بنابراین برای تعیین اثرات تصفیه‌کننده‌های هوا مناسب نمی‌باشند. فواید تصفیه‌کننده‌های هوا بر روی سلامتی معمولاً همراه با مداخلاتی نظیر پوشاندن بالش‌ها و تشک‌ها، خارج کردن حیوانات خانگی از اتاق خواب، حمام هفتگی حیوانات خانگی و جارو کشی منظم خانه مطالعه شده است. مطالعاتی که تصفیه‌کننده‌های هوا را همزمان با این مداخلات در نظر گرفته‌اند ارزش به نسبت کمی در تعیین فواید بهداشتی آن‌ها دارند زیرا مشخص نمی‌گردد که بهبودهای حاصل شده به دلیل وجود تصفیه‌کننده هوا بوده یا مداخلاتی که نام برده شدند در آن نقش داشته‌اند [۱۲۰].

۲.۳.۱۳ عدم ارتباط قاطع میان تصفیه‌کننده‌های هوا و بهبود علایم سلامتی

توانایی یک تصفیه‌کننده هوا در حذف برخی از آلاینده‌های معلق در هوا نظیر میکروارگانیسم‌ها، به خودی خود شاخصی برای توانایی تصفیه‌کننده هوا در بهبود علایم سلامتی نمی‌باشد. آلرژن‌های گرده‌ها، مایت و سوسک‌های حمام، برخی هاگ‌های قارچ‌ها و پوست حیوانات که بر روی ذرات بزرگ حمل می‌شوند به سرعت و پیش از آنکه بتوانند توسط فیلتراسیون حذف شوند، ته‌نشین می‌گردند. از آنجا که این ذرات در هوا معلق نمی‌مانند، بنابراین

دستگاه‌های تصفیه هوا تقریباً کارایی چندانی در حذف آن‌ها ندارند [۱۲۱]. بنابراین کنترل موثر آلرژن‌ها نیازمند تمیزکاری مرتب و کنترل گرد و خاک شامل شست‌وشوی هفتگی روکش‌های تخت، جارو کشی مداوم فرش‌ها و مبلمان و گردگیری و تمیزکاری منظم سطوح سخت است.

شواهد و مدارک علمی اندکی کارایی پاک‌کننده‌های فرابنفش ضد میکروب را در کاهش علایم بیماری در هر دو نوع کاربرد ضد عفونی کردن جریان هوا و سطوح تایید کرده‌اند. علی‌رغم توانایی پاک‌کننده‌های فرابنفش ضد میکروب در غیرفعال کردن برخی از میکروارگانیسم‌های رشد کننده روی سطوح، اطلاعاتی که کارایی این سیستم‌ها را برای کاهش علایم بیماری در گروه‌های حساس جامعه نظیر کودکان، اشخاص با بیماری آسم یا حساسیت و سالخوردگان تایید کند وجود ندارد.

۳.۳.۱۳ تولید آلاینده‌های جدید

برخی از تصفیه‌کننده‌های هوا ممکن است آلاینده‌های جدید و سمی تولید کرده و یا آلاینده‌های قدیمی را دوباره در هوا پخش نمایند. مطالعات محدودی گزارش کرده‌اند که پرتوافکنی توسط لامپ‌های فرابنفش ضد میکروب می‌توانند قارچ‌ها و باکتری‌های گیاهی معلق در هوا یا روی سطوح سیستم‌های تهویه مطبوع را کاهش دهند [۱۱۶]. با این وجود هاگ‌های مرده قارچ نیز هنوز می‌توانند در برخی از افراد واکنش‌های آلرژیک ایجاد نمایند.

رطوبت و دمای زیاد می‌تواند رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها را در فیلترهای ذرات بیشتر نماید [۱۲۲]. فیلترهای هوا ممکن است هنگام راه‌اندازی سیستم تهویه مطبوع یا خاموش و روشن کردن آن، که سرعت هوا ناگهان افزایش می‌یابد، هاگ‌های باکتری و قارچ را دوباره به هوا منتشر نماید.

شواهد کنونی حاکی از آن است که تصفیه هوا
می‌تواند در صورتی که با فرآیندهای کنترل

منبع آلودگی و تهویه مناسب هوا با هوای تمیز
خارجی همراه گردد، مفید واقع شود.

مولدهای ازن که به عنوان تصفیه‌کننده‌های هوا برای محیط‌های داخلی شلوغ فروخته می‌شوند، ازن تولید می‌نمایند که خود باعث تحریک ریه می‌شود. تصفیه‌کننده‌های هوای الکترونیکی نظیر مولدهای یونی و رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیک، پتانسیل انتشار مقادیر خطرناکی از ازن را دارا می‌باشند. همچنین گزارش‌هایی وجود دارند که نشان می‌دهد تصفیه‌کننده‌های هوای الکترونیکی به دلیل واکنش ازن با سایر مواد شیمیایی منجر به تولید ذرات ریز می‌شوند [۱۲۳].

ذرات مایع دود سیگار که توسط فیلتر هوا به دام افتاده‌اند می‌توانند گازهای ارگانیکی بودار تولید نمایند [۱۲۴]. جاذب‌های اشباع‌شده ممکن است گازهای آلاینده به دام افتاده را دوباره به جریان هوا بازگردانند [۱۲۵]. اگر پارامترهای طراحی یک سیستم PCO با آلاینده هدف تطابق نداشته باشد، ممکن است پاک‌کننده PCO به دلیل اکسیداسیون ترکیبات آلی فرار مشخصی در هوای داخلی، محصولات جانبی آلاینده دیگری تولید نماید.

۴.۱۳ حداقل کارایی گزارش شده دستگاه‌های تصفیه هوا

«حداقل کارایی گزارش شده»^۱ که معمولاً با عنوان معیار MERV شناخته می‌شود یک مقیاس اندازه‌گیری است که در سال ۱۹۸۷ میلادی توسط انجمن مهندسين تهویه مطبوع آمریکا به منظور ارزیابی کارایی فیلترهای هوا طراحی گردید و امروزه تحت عنوان استاندارد ASHRAE 52.2 در دسترس است. این استاندارد سبب بهبود سلامت، کاهش هزینه و افزایش بازده انرژی در طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع شده است. به عنوان مثال یک فیلتر هپا

^۱ Minimum Efficiency Reporting Value (MERV)

اغلب برای سیستم‌های تهویه مطبوع مرکزی مناسب و عملی نیست زیرا افت فشار زیادی ایجاد می‌نماید. آزمایش‌ها نشان داده است که یک فیلتر با بازده متوسط و مسدودکنندگی کمتر در مسیر جریان که در معیار MERV بین ۷ تا ۱۳ قرار می‌گیرد تقریباً به اندازه یک فیلتر هپا در حذف آلرژن‌ها موثر بوده و هزینه‌های عملیاتی و سیستمی کمتری نیز به همراه دارد.



این مقیاس طراحی شده است تا بدترین عملکرد یک فیلتر را در مواجهه با ذرات در ابعاد 0.3 تا 10 میکرون نشان دهد. عملکرد یک فیلتر هوا از طریق اندازه‌گیری تعداد ذرات در بالادست و پایین‌دست فیلتر تعیین می‌گردد. بر این اساس بایستی مطابق استاندارد

ASHRAE 52.2 تعداد ذرات در محدوده 0.3 تا 10 میکرون شمارش شده و این ذرات از طریق جریان هوا وارد فیلتر شوند و سپس تعداد ذرات در خروجی فیلتر دوباره اندازه‌گیری شود. ذرات توسط یک مولد آئروسل آزمایشگاهی تولید می‌شوند. مطابق استاندارد بایستی این تست برای هر فیلتر شش بار انجام شود که در مرتبه اول فیلتر کاملاً تمیز بوده و در پنج دفعه بعدی بایستی از همان فیلتر دفعات قبل (بدون تمیزکاری آن) استفاده شود. سپس تعداد ذرات پایین‌دست به بالادست جریان برای هر یک از محدوده‌های اندازه ذرات که در جدول ۱۳-۲ مشخص شده، تعیین می‌گردد و بزرگترین نسبت که نشان دهنده کمترین بازده فیلتر است برای هر محدوده مشخص می‌شود. مطابق جدول ۱۳-۲ دوازده محدوده مشخص شده در سه دسته E1، E2 و E3 قرار می‌گیرند.

پس از تعیین کمترین بازده فیلتر برای هر یک از محدوده‌های اندازه ذرات، معیار MERV فیلتر با توجه به

جدول ۳-۱۳ تعیین می‌شود. به طور مثال اگر کمترین بازده فیلتری در جذب ذرات دسته E3 ۷۰ درصد و در جذب ذرات دسته E2 ۳۰ درصد باشد در این صورت معیار MERV این فیلتر مطابق

از ۱ تا ۱۶ متغیر است و عدد بزرگتر نشان دهنده کارایی بیشتر فیلتر در MERV، ۸ خواهد بود. معیار جدول ۳-۱۳ جذب محدوده وسیع‌تری از ذرات می‌باشد. همچنین در

جدول ۴-۱۳ آلاینده‌های قابل جذب، کاربردهای متداول و برخی انواع فیلترهای هوا بر اساس معیار MERV معرفی شده‌اند. لازم به ذکر است که مطابق استاندارد ASHRAE 62.2 برای کاربردهای خانگی بایستی از فیلتری با حداقل معیار MERV ۶ استفاده شود [۱۲۳].

جدول ۲-۱۳ محدوده اندازه ذرات مطابق استاندارد ASHRAE 52.2

شماره محدوده	اندازه ذرات (میکرون)	نام دسته
۱	۰/۳۰ – ۰/۴۰	E1
۲	۰/۴۰ – ۰/۵۵	
۳	۰/۵۵ – ۰/۷۰	
۴	۰/۷۰ – ۱/۰۰	
۵	۱/۰۰ – ۱/۳۰	E2
۶	۱/۳۰ – ۱/۶۰	
۷	۱/۶۰ – ۲/۲۰	
۸	۲/۲۰ – ۳/۰۰	
۹	۳/۰۰ – ۴/۰۰	E3
۱۰	۴/۰۰ – ۵/۵۰	
۱۱	۵/۵۰ – ۷/۰۰	
۱۲	۷/۰۰ – ۱۰/۰۰	

جدول ۱۳-۳ تعیین معیار MERV فیلترها بر اساس استاندارد ASHRAE 52.2 [۱۲۶]

درصد جذب ذرات در هر دسته				معیار MERV
بزرگتر از ۱۰ میکرون	E3	E2	E1	
$Avg < 65$	$E3 > 20$	n/a	n/a	۱
$65 \leq Avg < 70$	$E3 > 20$	n/a	n/a	۲
$70 \leq Avg < 75$	$E3 > 20$	n/a	n/a	۳
$75 \leq Avg$	$E3 > 20$	n/a	n/a	۴
n/a	$20 \leq E3 < 35$	n/a	n/a	۵
n/a	$35 \leq E3 < 50$	n/a	n/a	۶
n/a	$50 \leq E3 < 70$	n/a	n/a	۷
n/a	$70 \leq E3$	$20 \leq E2$	n/a	۸
n/a	$75 \leq E3$	$35 \leq E2$	n/a	۹
n/a	$80 \leq E3$	$50 \leq E2 < 65$	n/a	۱۰
n/a	$85 \leq E3$	$65 \leq E2 < 80$	$20 \leq E1$	۱۱
n/a	$90 \leq E3$	$80 \leq E2$	$35 \leq E1$	۱۲
n/a	$90 \leq E3$	$85 \leq E2$	$50 \leq E1$	۱۳
n/a	$95 \leq E3$	$90 \leq E2$	$75 \leq E1 < 85$	۱۴
n/a	$95 \leq E3$	$90 \leq E2$	$85 \leq E1 < 95$	۱۵
n/a	$95 \leq E3$	$95 \leq E2$	$95 \leq E1$	۱۶
راهنمای علائم: n/a تعیین نشده، Avg متوسط جذب ذرات.				

جدول ۱۳-۴ آلاینده‌های قابل جذب، کاربردهای متداول و برخی از انواع فیلترهای هوا بر اساس معیار MERV [123]

معیار MERV	آلاینده‌های قابل جذب	کاربردهای متداول	برخی انواع فیلترها
۱ تا ۴	گرده، مایت، تکه‌های بدن سوسک، گرد و غبار شن و ماسه، گرد و غبار اسپری رنگ، الیاف پارچه، الیاف فرش	کمترین تهویه مطبوع خانگی	پنل‌های فایبرگلس با ضخامت ۱ اینچ، پنل‌های لاستیکی قابل شست‌وشو، پنل‌های پلی کربنات الکترواستاتیک
۵ تا ۸	کپک، هاگ، تکه‌های بدن مایت، شوره سگ و گربه، اسپری مو، پودر شیر	تهویه خانگی بهتر، ساختمان‌های تجاری، مکان‌های صنعتی	فیلترهای پلیسه‌دار با ضخامت ۱ تا ۶ اینچ، فیلترهای کارتریجی
۹ تا ۱۲	لژیونلا، ذرات سرب، آرد، ذرات منتشر شده از خودروها، قطرات نیولایزر	بهترین تهویه‌های خانگی، ساختمان‌های تجاری بهتر، آزمایشگاه‌های بیمارستان‌ها	فیلترهای پلیسه‌دار با ضخامت ۱ تا ۶ اینچ، فیلترهای جعبه‌ای با ضخامت ۶ تا ۱۲ اینچ
۱۳ تا ۱۶	همه باکتری‌ها، روغن پخت‌وپز، دود، حشره‌کش، اغلب رنگ‌دانه‌ها	بهترین ساختمان‌های تجاری، اتاق عمل بیمارستان‌ها	فیلترهای کیسه‌ای با ضخامت ۱۲ تا ۳۶ اینچ، فیلترهای جعبه‌ای با ضخامت ۶ تا ۱۲ اینچ
۱۷ تا ۲۰	ویروس‌ها، غبار کربن، نمک دریا، همه دودهای حاصل از احتراق	تولید قطعات الکترونیکی، داروسازی، مواد سرطان‌زا	فیلترهای هپا
اعداد ۱۷ تا ۲۰ در معیار MERV بخشی از استاندارد رسمی ASHRAE نیستند ولی برای مقایسه توسط این استاندارد اضافه شده است.			

فصل چهاردهم

معرفی دستگاه‌های تصفیه هوا

۱۴ معرفی دستگاه‌های تصفیه هوا

در فصل ۱۳ انواع دستگاه‌های تصفیه هوا بر اساس نحوه عملکرد، فناوری و قابلیت‌های آن‌ها بررسی گردید. هدف از این فصل معرفی بهترین دستگاه‌های تصفیه هوای موجود در دنیا می‌باشد. بر این اساس ده دستگاه مختلف معرفی شده و توانایی‌ها، مزایا و معایب هر یک بررسی خواهد شد.

۱.۱۴ معرفی دستگاه‌ها

در این بخش ۱۰ مورد از بهترین دستگاه‌های تصفیه هوا که برای محیط‌های داخلی (خانگی و تجاری) مناسب می‌باشند، معرفی شده است.

۱.۱.۱۴ دستگاه تصفیه هوا Allen BreatheSmart



این دستگاه تصفیه هوا از فیلترهای هپا برای تصفیه هوا استفاده می‌کند. هوای آلوده ابتدا از پیش‌فیلترهای قابل شست‌وشویی عبور می‌کند تا ذرات بزرگ به دام بیفتند و طول عمر دستگاه افزایش یابد. در لایه دوم فیلترها، هوا از یک فیلتر هپای شارژ شده به صورت الکترواستاتیک، عبور کرده و تا ۹۹ درصد ذرات گرد و غبار،

گرده، شوره حیوانات، هاگ و سایر ذرات معلق موجود در آن گرفته

شکل ۱-۱۴ دستگاه Allen BreatheSmart

می‌شود. همچنین می‌توان فیلترهای چند منظوره که حاوی لایه‌های فیلتراسیون اضافی برای حذف باکتری، مواد شیمیایی، بوهای نامطلوب و دود هستند را نیز به صورت اختیاری به آن اضافه کرد. این دستگاه همچنین مجهز به



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

یک یونیزه کننده هوا است که با باردار کردن ذرات موجود در هوا سبب اتصال آن ها به هم و بزرگ تر شدن آن ها می شود و در نتیجه جذب این ذرات آسانتر می گردد.

این دستگاه می تواند تا دو بار در هر ساعت همه هوای موجود در محیطی به اندازه ۱۰۰ مترمربع را به گردش در آورد. برای بهبود عملکرد و افزایش طول عمر دستگاه بایستی فیلترهای هپای استفاده در آن به طور منظم تعویض شوند. بر این اساس در صورتی که دستگاه به طور مداوم روشن باشد بایستی تقریباً هر ۶ ماه یک بار و در صورتی که دستگاه فقط در مواقع لزوم روشن شود هر ۱۲ ماه یک بار فیلترها تعویض گردند. البته دستگاه Allen BreatheSmart مجهز به زمان سنجی است که بر اساس دور فن و مدت زمان استفاده از دستگاه زمان مناسب برای تعویض فیلتر را نشان می دهد. به طور کلی بر اساس شرایط محیطی زمان بهینه تعویض فیلتر نیز تغییر خواهد کرد. هنگام خرید این دستگاه می توان نوع فیلترهای آن را انتخاب نمود. بر این اساس ۴ نوع فیلتر وجود دارد که در ادامه معرفی شده اند. البته باید توجه داشت که قیمت دستگاه با توجه به نوع فیلتر انتخاب شده تغییر خواهد کرد.

۱- **فیلتر HEPA-Pure:** مناسب برای حذف آلرژن ها، گرد و غبار و مناسب برای افراد مبتلا به آسم.

۲- **فیلتر HEPA-Silver:** مناسب برای حذف آلرژن ها، گرد و غبار، کپک و مناسب برای افراد مبتلا به آسم.

۳- **فیلتر HEAP-FreshPlus:** مناسب برای حذف آلرژن ها، گرد و غبار و مناسب برای افراد مبتلا به آسم و

حساسیت های شیمیایی.

۴- **فیلتر HEPA-OdorCell:** مناسب برای حذف آلرژن ها، گرد و غبار، دود، شوره حیوانات و مناسب برای

افراد مبتلا به آسم.

مهم ترین ویژگی های دستگاه Allen BreatheSmart را می توان به صورت زیر برشمرد:

- استفاده از فیلتر هپا؛
- تنظیم اتوماتیک جریان هوا هنگام تشخیص وجود ذرات و آلرژن ها توسط فناوری SmartSensor؛



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- پوشش محیطی به وسعت ۱۰۰ مترمربع؛
- حذف ذرات بالای ۰/۳ میکرون با کارایی ۹۹ درصد؛
- قابلیت اضافه کردن فیلترهای چند منظوره برای کاهش باکتری، بو و دود؛
- طراحی شده برای برق ۱۲۰ ولت.

۲.۱.۱۴ دستگاه تصفیه هوا Allen BreatheSmart FIT50



این دستگاه در واقع تفاوت چندانی با مدل Allen BreatheSmart نداشته و تنها مقداری کوچکتر است. این مدل ۵۶ سانتی‌متر ارتفاع، ۴۲ سانتی‌متر عرض و ۲۵ سانتی‌متر عمق دارد در حالیکه مدل Allen BreatheSmart به ترتیب ۶۸، ۴۵ و ۲۵ سانتی‌متر ارتفاع، عرض و عمق دارد. این دستگاه تصفیه هوا می‌تواند محیطی به وسعت تقریبی ۷۵ مترمربع را پوشش دهد. سایر ویژگی‌ها و قابلیت‌های اضافی قابل نصب بر روی این مدل نیز نظیر مدل Allen BreatheSmart می‌باشد.

شکل ۱۴-۲ دستگاه Allen BreatheSmart FIT50



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۳.۱.۱۴ دستگاه تصفیه هوا AllerAir 5000 Exec



این دستگاه تصفیه هوا از جنس آلومینیوم و در رنگ های متنوع طراحی و ساخته شده است و دارای سه قدرت فن مختلف قابل تنظیم است که در حالت بیشینه می تواند دبی هوایی در حدود ۱۱ متر مکعب بر دقیقه را تامین نماید. این دستگاه شامل سه فیلتر زیر می باشد:

شکل ۱۴-۳ دستگاه AllerAir 5000 Exec

۱- فیلتر هپا؛

۲- پیش فیلتر؛ و

۳- حدود ۸ کیلوگرم کربن فعال.

فیلتر کربن فعال برای حذف بوها و مواد شیمیایی مناسب می باشد و توصیه می شود که این فیلتر هر ۲/۵ سال یکبار تعویض گردد. همچنین توصیه می گردد تا پیش فیلتر نیز هر ۲ ماه یکبار و فیلتر هپا هر ۵ سال یکبار تعویض شوند. البته این زمان ها می توانند بسته به محیطی که دستگاه در آن استفاده می شود تغییر کنند. خلاصه ای از ویژگی های این دستگاه ها در ادامه معرفی شده است:

- استفاده از فیلتر هپا؛
- مناسب برای محیطی با وسعتی در حدود ۱۴۰ مترمربع؛
- ارتفاع، عرض و عمق به ترتیب ۵۲، ۳۸ و ۳۸ سانتی متر؛
- وزنی در حدود ۲۲ کیلوگرم؛
- مصرف برق در حدود ۹۵ وات در حالت بیشینه؛ و
- دارای ۱۰ سال ضمانت پس از فروش.

۴.۱.۱۴ دستگاه تصفیه هوا Allen Paralda



شکل ۴-۱۴ دستگاه Allen Paralda

این دستگاه تصفیه هوا دارای طراحی منحصر به فردی است که زیبایی خاصی را با شکل برج مانند خود به همراه دارد. هوا از قسمت پشتی دستگاه وارد شده و پس از عبور کردن از فیلترهای هپای تعبیه شده در آن، هوای تمیز از دو سمت دستگاه خارج می گردد. هم چنین به منظور چسبیدن ذرات معلق در هوا به هم و در نتیجه جذب بهتر آن ها توسط فیلترها، یک یونیزه کننده نیز در این دستگاه استفاده شده است که با شارژ کردن ذرات معلق در هوا

سبب اتصال آن ها به هم و بزرگتر شدن آن ها می گردد. هم چنین رشته هایی از جنس نقره و آنتی میکروبیال در ساختار فیلترهای هپای استفاده در این دستگاه بافته شده اند که سبب محافظت از فیلتر در برابر باکتری و میکروب ها می شوند. دستگاه Paralda برای اتاقی به وسعت تقریبی ۴۵ مترمربع مناسب بوده و می تواند هوای چنین اتاقی را تا دو بار در هر ساعت به طور کامل تصفیه نماید.

پیشنهاد شده است که برای افزایش طول عمر دستگاه هر ۶ ماه یکبار در صورت استفاده مستمر و هر ۱۲ ماه یکبار در صورت استفاده کمتر، فیلترهای آن تعویض گردند. مهم ترین خصوصیات این دستگاه در ادامه آورده شده است:

- محافظت از فیلترهای هپا در برابر باکتری و میکروب ها توسط فناوری رشته های نقره؛
- پوشش محدوده ای به وسعت تقریبی ۴۵ متر مربع؛
- حذف ذرات بزرگتر از ۰/۳ میکرون با کارایی ۹۹ درصد؛ و
- مناسب برای برق ۱۲۰ ولت.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۵.۱.۱۴ دستگاه تصفیه هوا Austin Air Healthmate Plus



این دستگاه تصفیه هوا برای افراد مبتلا به آسم، آلرژی و حساسیت‌های شیمیایی مناسب می‌باشد. این دستگاه می‌تواند ترکیبات آلی فرار و گازهای فعال نظیر فرمالدهید و آمونیاک را جذب نماید. به منظور جذب محدوده وسیعی از ترکیبات آلی فرار، در این دستگاه از ترکیب پتاسیم یدید، کربن فعال و زئولیت استفاده شده است. علاوه بر این فیلتر هپا و پیش‌فیلتر نیز در

شکل ۵-۱۴ دستگاه Austin Air Healthmate Plus

این دستگاه نصب گردیده است. این دستگاه تصفیه هوا

می‌تواند برای حذف ترکیبات شیمیایی، بو، ذرات معلق و گرده‌ها در اتاق‌هایی به بزرگی حدود ۱۴۰ متر مربع استفاده گردد.

نحوه عملکرد دستگاه به این صورت است که پس از عبور هوای کثیف از سیستم فیلترهای هپای نصب شده در آن، ذرات معلق و سایر آلاینده‌ها از هوا حذف می‌گردند. سپس هوا از روی ترکیب شیمیایی کربن، زئولیت و پتاسیم یدید عبور کرده و در نتیجه بود و بخارات شیمیایی آن نیز رفع می‌گردد. پس از آن هوای تمیز از دستگاه خارج شده و به محیط اتاق وارد می‌گردد.

خلاصه‌ای از مهم‌ترین ویژگی‌های این دستگاه در ادامه آورده شده است:

- استفاده از فیلتر هپا؛
- پوشش محدوده‌ای به وسعت حدود ۱۴۰ متر مربع؛
- حذف ذرات بالای ۰/۳ میکرون با کارایی ۹۹/۹۷ درصد؛
- بیشینه دبی هوا برابر با ۱۱ متر مکعب بر دقیقه؛



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- مصرف برق در حدود ۱۱۵ وات در حالت بیشینه؛
- وزنی در حدود ۲۰ کیلوگرم؛
- ارتفاع، عرض و عمق به ترتیب ۵۸، ۳۷ و ۳۷ سانتی‌متر؛
- دارای ۵ سال ضمانت پس از فروش.

۶.۱.۱۴ دستگاه تصفیه هوا Austin Air Allergy Machine



این دستگاه تصفیه هوا به منظور حذف آلرژن‌هایی نظیر گرده‌ها، قارچ، مایت و گرد و غبار طراحی شده است. فیلتر اصلی استفاده شده در این دستگاه فیلتر هپا می‌باشد که یک «پوشش کربنی»^۱ نیز به آن اضافه شده است. ترکیب فیلتر هپا و پوشش کربنی را فیلتر هگا^۲ به معنای «جاذب گاز با کارایی بالا» می‌نامند. طول عمر فیلتر هگا حدود ۵ سال است. هم‌چنین

شکل ۶-۱۴ دستگاه Austin Air Allergy Machine

این دستگاه برای تصفیه هوای محیط‌هایی با مساحتی در

حدود ۱۴۰ متر مربع قابل استفاده است. این دستگاه برای افرادی که مبتلا به آسم می‌باشند نیز مناسب است.

خلاصه‌ای از مهم‌ترین ویژگی‌های این دستگاه به شرح زیر است:

- استفاده از فیلتر هگا؛
- پوشش محدوده‌ای به وسعت حدود ۱۴۰ متر مربع؛
- حذف ذرات بالای ۰/۳ میکرون با کارایی ۹۹/۹۷ درصد؛

^۱ Carbon cloth

^۲ HEGA (High Efficiency Gas Adsorption)

- بیشینه دبی هوا برابر با ۱۱ متر مکعب بر دقیقه؛
- مصرف برق در حدود ۱۱۵ وات در حالت بیشینه؛
- وزنی در حدود ۲۰ کیلوگرم؛
- ارتفاع، عرض و عمق به ترتیب ۵۸، ۳۷ و ۳۷ سانتی متر؛
- دارای ۵ سال ضمانت پس از فروش.

۷.۱.۱۴ دستگاه تصفیه هوا Alen T500 Tower



این دستگاه قادر است تا گرد و غبار، شوره حیوانات، هاگ، گرده ها و سایر ذرات معلق را جذب و از هوای اتاق حذف نماید. طراحی برج مانند آن سبب اشغال فضای کمتری روی زمین می گردد. این دستگاه برای محیطی به وسعت تقریبی ۴۵ متر مربع مناسب بوده و می تواند با کارایی ۹۴ درصد ذرات بزرگتر از 0.3 میکرون را جذب نماید. هم چنین یونیزه کردن هوا در این دستگاه سبب اتصال ذرات به هم و افزایش کارایی در جذب ذرات می گردد.

شکل ۷-۱۴ دستگاه Alen T500 Tower

نحوه عملکرد دستگاه به این صورت است که ابتدا هوا از یک پیش فیلتر عبور کرده و ذرات درشت از آن جدا می شوند. سپس هوا وارد یک فیلتر هپا شده و باقی ذرات از هوا حذف می شود. در انتها نیز هوای تمیز از روی کربن فعال عبور می کند تا بوها و بخارات شیمیایی نامطلوب نیز از آن جدا گردد. هم چنین دستگاه مجهز به سیستمی است که زمان مناسب برای تعویض فیلترها را نمایش می دهد.

خلاصه ای از مهم ترین ویژگی های این دستگاه به شرح زیر است:



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- استفاده از فیلتر هپا؛
- پوشش محدوده‌ای به وسعت حدود ۴۵ متر مربع؛
- حذف ذرات بالای ۰/۳ میکرون با کارایی ۹۴ درصد و ذرات بالای ۲/۵ میکرون با کارایی ۹۹ درصد؛
- بیشینه دبی هوا برابر با ۳/۷ متر مکعب بر دقیقه؛
- مصرف برق در حدود ۵۳ وات در حالت بیشینه؛
- وزنی در حدود ۵ کیلوگرم؛
- ارتفاع، عرض و عمق به ترتیب ۲۸، ۷۱ و ۲۳ سانتی‌متر؛
- مناسب برای برق ۱۲۰ ولت؛
- ضمانت مادام‌العمر.



۸.۱.۱۴ دستگاه تصفیه هوا Allen Fur Family Smart Bundle

این دستگاه می‌تواند علاوه بر حذف شوره حیوانات، گرد و خاک، قارچ و هاگ با استفاده از فناوری‌های پیشرفته به کار گرفته شده در آن، بوی حاصل از حیوانات خانگی را نیز از بین ببرد. فناوری اختصاصی استفاده شده در این دستگاه باعث به دام انداختن بو نمی‌شود بلکه مولکول‌های آن را شکسته و از بین می‌برد.

خلاصه‌ای از مهم‌ترین ویژگی‌های این دستگاه به شرح زیر
 شکل ۸-۱۴ دستگاه Allen Fur Family Smart Bundle
 است:

- نیاز به تعویض فیلتر هر ۴ ماه یکبار؛
- حذف ذرات بالای ۰/۳ میکرون با کارایی ۹۵ درصد؛



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- بیشینه دبی هوا برابر با $3/7$ متر مکعب بر دقیقه؛
- مصرف برق در حدود 53 وات در حالت بیشینه؛
- وزنی در حدود 4 کیلوگرم؛
- ارتفاع، عرض و عمق به ترتیب 56 ، 15 و 25 سانتی متر؛
- مناسب برای برق 120 ولت؛ و
- ضمانت مادام العمر.

۹.۱.۱۴ دستگاه تصفیه هوا AllerAir 5000 DS



این دستگاه تصفیه هوا به طور خاص برای حذف دود سیگار طراحی شده گرچه می تواند بوهای نامطبوع، ذرات و مواد شیمیایی مضر را نیز حذف نماید. در این دستگاه از فیلتر کربن فعال 11 کیلویی استفاده شده که همراه با فیلتر هپای تعبیه شده در آن، توانایی بالایی در حذف سموم خطرناک دارد.

شکل ۹-۱۴ دستگاه AllerAir 5000 DS

خلاصه ای از مهم ترین ویژگی های این دستگاه به شرح زیر است:

- مجهز به فیلتر هپا و پیش فیلتر؛
- حذف ذرات بالای $0/3$ میکرون با کارایی $99/97$ درصد؛ و
- دارای 10 سال ضمانت پس از فروش.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱۰.۱.۱۴ دستگاه تصفیه هوا Austin Air Pet Machine



این دستگاه به طور خاص برای حذف شوره حیوانات و بوهای حاصل از آن‌ها طراحی شده است و قابلیت پوشش محیطی به وسعت تقریبی ۱۴۰ متر مربع را دارد. این دستگاه با استفاده از فناوری هپا ذرات معلق موجود در هوا و شوره حیوانات را به دام انداخته و به وسیله ترکیب کربنی خاص استفاده شده در آن بوهای نامطبوع حاصل از حیوانات خانگی را نیز از بین می‌برد.

شکل ۱۰-۱۴ دستگاه Austin Air Pet Machine

خلاصه‌ای از مهم‌ترین ویژگی‌های این دستگاه به شرح زیر است:

- استفاده از فیلتر هپا؛
- پوشش محدوده‌ای به وسعت حدود ۱۴۰ متر مربع؛
- حذف ذرات بالای ۰/۳ میکرون با کارایی ۹۹/۹۷ درصد؛
- بیشینه دبی هوا برابر با ۱۱/۳ متر مکعب بر دقیقه؛
- مصرف برق در حدود ۸۰ وات در حالت بیشینه؛
- وزنی در حدود ۲۳ کیلوگرم؛
- ارتفاع، عرض و عمق به ترتیب ۵۸، ۳۷ و ۳۷ سانتی‌متر؛ و
- دارای ۵ سال ضمانت پس از فروش.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۱۴ مقایسه دستگاه های تصفیه هوا

دستگاه های تصفیه هوا که در بخش قبل معرفی گردیدند از بین تعداد بسیار زیادی از انواع دستگاه های تصفیه هوای موجود در جهان انتخاب شده اند. این دستگاه ها بهترین عملکرد را با توجه به قیمت، محدوده پوشش و توانایی در حذف انواع مختلف آلاینده ها دارا می باشند. به منظور مقایسه این دستگاه ها با یکدیگر، خلاصه ای از مهم ترین ویژگی های هر یک از این دستگاه های تصفیه هوا در جدول ۱-۱۴ معرفی شده است. باید توجه داشت که انتخاب یک دستگاه تصفیه مناسب به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که بایستی حتما قبل از خرید دستگاه مد نظر قرار گرفته و بررسی شوند.

جدول ۱-۱۴ مقایسه دستگاه های تصفیه هوا

حدود قیمت (دلار)	محدوده پوشش (متر مربع)	توانایی در تصفیه آلاینده ها از هوا						نام دستگاه
		دود	شوره حیوانات	قارچ	گرد و غبار	آسم	آلرژی	
۶۰۰	۱۰۰	o	o	o	++	++	++	Allen BreatheSmart
۵۰۰	۷۵	+	o	++	++	++	++	Allen BreatheSmart FIT50
۷۰۰	۱۴۰	++	o	o	o	+	+	AllerAir 5000 Exec
۴۰۰	۴۵	o	o	++	+	o	+	Allen Paralda
۶۵۰	۱۴۰	o	++	o	o	+	o	Austin Air Healthmate Plus
۵۷۵	۱۴۰	++	o	o	+	o	o	Austin Air Allergy Machine
۲۶۵	۴۵	o	o	+	o	o	o	Alen T500 Tower
۳۲۳	۴۵	o	++	o	o	o	o	Alen Fur Family Smart Bundle
۹۰۰	۱۴۰	++	o	o	o	o	o	AllerAir 5000 DS
۶۰۰	۱۴۰	o	+	o	o	o	o	Austin Air Pet Machine
راهنمای علائم: ++ عالی، + خوب، o معمولی								

فصل پانزدهم

راه‌حل‌ها و اقدامات پیشگیرانه برای بهبود کیفیت هوای داخلی



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱۵ راه‌حل‌ها و اقدامات پیشگیرانه برای بهبود کیفیت هوای داخلی

۱.۱۵ مقدمه

بسیاری از مردم در شهرهای صنعتی و بزرگ با هوای آلوده در ارتباط هستند و می‌دانند که این هوا برای سلامتی خطرناک است. اما معمولاً افراد نمی‌دانند که اغلب اوقات هوای داخل خانه آلوده‌تر از هوای بیرون است. به دلیل پیشرفت تکنولوژی، تغییرات در الگوی کاری و بسیاری از عوامل دیگر، اکثر مردم حدود ۹۰ درصد از زمان زندگی خود را در محیط‌های داخلی به سر می‌برند. علاوه بر این کودکان، سالمندان و بیماران (که بیشترین آسیب‌پذیری را از هوای داخلی دارند) معمولاً زمان زیادی را در محیط‌های داخلی می‌گذرانند؛ بنابراین آگاهی از شرایط هوای داخلی و تلاش برای بهبود آن از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود.

برخی از علائمی که نشان می‌دهند هوای محیط‌های داخلی نیاز به بهبود دارد به قرار زیر هستند:

۱. هوای گرفته با بوی متمایز؛
۲. باقی ماندن بوی پخت و پز؛
۳. رطوبت بیش از حد؛
۴. سیستم‌های گرمایش و تهویه کثیف؛ و
۵. واکنش بدن افراد به اثاثیه جدید و بازسازی ساختمان یا محصولات خانگی.

اگر یک یا چندین اثر فوق مشاهده گردد، بایستی اقدامات لازم برای بهبود هوای داخلی صورت گیرد. برخی از اصلی‌ترین موادی که باعث آلودگی هوای داخلی می‌شوند عبارتند از:

۱. آلاینده‌های بیولوژیکی نظیر باکتری، قارچ و مایت؛



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲. منوکسید کربن و سایر محصولات جانبی احتراق؛

۳. فرمالدهید؛

۴. ترکیبات آلی فرار؛

۵. ذرات معلق؛

۶. ازن؛ و

۷. رادون.

در این بخش برخی از مشکلات بالقوه مربوط به هر یک از اتاق های خانه مورد بررسی قرار می گیرد و روش هایی برای بهبود کیفیت هوا نیز ارائه می شود. همچنین در بخشی جداگانه رابطه میان آسم و کیفیت هوای داخلی نیز بررسی می گردد.

۲.۱۵ آلاینده های بیولوژیکی

آلاینده های بیولوژیکی شامل گستره وسیعی از ارگانیسم های زنده است که می توانند هوا را آلوده نمایند. برخی از رایج ترین آن ها عبارتند از:



- کپک ها و قارچ ها؛
- مو، شوره و بزاق حیوانات؛
- ارگانیسم های میکروسکوپی نظیر مایت، باکتری و ویروس ها؛
- حشرات و اجزای آن ها؛ و
- گرده ها.

برخی از این آلاینده ها نظیر کپک ها می توانند سطوح داخل خانه ها را نیز خراب کنند. این آلاینده ها یک علت شایع بروز بیماری هستند. کیفیت هوای هر خانه تا اندازه ای از آلاینده های بیولوژیکی رنج می برد. با این وجود اگرچه این ارگانیسم ها را نمی توان به طور کامل حذف نمود ولی می توان با اقدامات پیشگیرانه مناسب تا حدود خوبی آن ها را کنترل کرد.

۱.۲.۱۵ منابع آلاینده های بیولوژیکی در خانه ها

۱. کپک ها

کپک می تواند در هر اقلیم و شرایطی رشد نماید. با این وجود محیط های گرم و مرطوب در آشپزخانه ها، حمام، خشک شویی ها و زیرزمین مکان هایی مناسب برای رشد کپک ها هستند. با رشد کپک ها، هاگ ها در هوا پخش می شوند. این هاگ ها در هوا حرکت کرده و با نشست روی سایر سطوح، کلنی های جدیدی را تشکیل می دهند. کپک بر روی سطوح ارگانیک نظیر کاغذ، چوب، پارچه، گریس و صابون رشد می نماید. کپک ها گاهی قابل دیدن



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

نیستند زیرا داخل دیوارها و عایق ها یا پشت اثاثیه رشد می نمایند. اما معمولا کپک با بوی نم آن قابل تشخیص است.

۲. محصولات حیوانات

حیوانات خانگی منبع برخی آلاینده ها نظیر مو، شوره، بزاق و ادرار هستند. این مواد به راحتی در هوا معلق شده و در سراسر خانه گسترش می یابند. علاوه بر این حشرات و تکه های بدنشان می تواند هوا را آلوده نماید.

۳. ارگانیسم های میکروسکوپی

مایت ها موجوداتی ریز هستند که از سلول های مرده پوست انسان تغذیه می کنند. این موجودات در تخت خواب، لباس ها و سایر پارچه ها یافت می شوند و هنگام فعالیت های نظیر جارو کشی و پهن کردن تخت خواب در هوا معلق می شوند. باکتری ها و ویروس ها نیز در این دسته جای می گیرند و سبب بروز بیماری های عفونی می شوند. این موجودات معمولا از طریق تماس فرد با فرد گسترش می یابند ولی می توانند از طریق سیستم تهویه منزل نیز منتشر شوند.

۴. گرده ها

گرده ها حاصل گیاهان هستند و می توانند از طریق پنجره های باز یا حیوانات خانگی وارد ساختمان شوند. برخی گیاهان آپارتمانی نیز ممکن است در سطح گروه ها در منازل نقش داشته باشند.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۲.۱۵ راه‌حل‌ها و اقدامات پیشگیرانه

۱. کنترل رطوبت

به منظور جلوگیری از بروز مشکلات مرتبط با رطوبت اضافی، بایستی رطوبت نسبی خانه‌ها و محیط‌های داخلی بین ۳۰ تا ۵۰ درصد نگه داشته شوند. برخی از راه‌های موجود برای کنترل سطح رطوبت در محیط‌های داخلی عبارتند از:

۱. استفاده از رطوبت‌گیرها و تهویه مطبوع برای کاهش سطح رطوبت به خصوص در تابستان؛
۲. استفاده از فن‌های تصفیه برای خارج کردن هوای آشپزخانه و حمام و کاهش سطح رطوبت آن‌ها؛
۳. رسیدگی فوری به مشکلات سیستم آب‌رسانی؛
۴. حصول اطمینان از تخلیه آب باران از پی ساختمان به منظور جلوگیری از تشکیل کپک و بروز مشکلات مربوط به رطوبت در زیرزمین؛
۵. عدم استفاده از زیرزمین به عنوان محل زندگی مگر آنکه به خوبی تهویه شده و خشک باشد؛
۶. اطمینان از تهویه مناسب در مکان‌های مستعد تجمع رطوبت نظیر اتاق زیرشیروانی؛ و
۷. محدود کردن استفاده از رطوبت‌سازها و تعداد گیاهان داخل ساختمان.

۲. تمیزکاری و شست‌وشو

شست‌وشو به دلیل آسیب‌پذیری بالای سطوح پوشیده شده با مواد ارگانیک به رشد کپک‌ها بسیار مهم است. همچنین شست‌وشو از تجمع محصولات حیوانات و ارگانیسم‌های میکروسکوپی نیز جلوگیری می‌کند.

۱. لوازمی که با آب در تماس هستند نظیر رطوبت‌گیرها و واحدهای تهویه به طور مرتب شست‌وشو شوند.
۲. از جاروبرقی با فیلترهای با بازده بالا استفاده شود. این کار سبب کاهش مو و شوره حیوانات و موجودات کوچک نظیر مایت‌ها می‌شود؛



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۳. اگر افراد ساکن محیط داخلی به آلاینده های بیولوژیکی حساس هستند، فرش ها جمع آوری شده و از کفپوش استفاده شود؛
۴. به منظور حذف کامل آلاینده های مضر هوا بایستی کپک ها به طور کامل از بین بروند زیرا برخی افراد حتی به هاگ های مرده کپک ها نیز حساس هستند. با استفاده از آب و صابون یا سایر شوینده ها باید رسوبات کپک ها را از سطح دیوارها، حمام و سایر مناطق آلوده پاک نمود؛
۵. به منظور از بین بردن کپک ها از سطوح ساختمان نظیر کاشی های سقف یا گچ های دیوار از محلول مواد شوینده و آب استفاده شده و سپس این مکان ها به طور کامل خشک شوند. برای مکان هایی که به سختی از کپک ها تمیز می شوند و مواد شوینده کارایی ندارند بایستی از زیست کش ها استفاده کرده و بلافاصله با آب محل را شست و شو داده و خشک کرد؛ و
۶. توصیه می شود که هنگام از بین بردن کپک ها از سطوح ساختمان، افراد از ماسک صورت و چشم و همچنین دست کش استفاده نمایند تا در معرض آلاینده های بیولوژیکی قرار نگیرند.

۳.۱۵ منوکسید کربن و سایر محصولات احتراقی



محصولات احتراق، گازها یا آلاینده هایی هستند که از سوزاندن سوخت ها منتشر می شوند. این محصولات شامل منوکسید کربن، دود سیگار، دی اکسید نیتروژن و دی اکسید سولفور است. منوکسید کربن که گازی بی رنگ و بی بو است خطرناک ترین محصول احتراقی به شمار می رود. این گاز از رسیدن اکسیژن توسط خون به بافت ها جلوگیری می کند و در غلظت های زیاد می تواند در عرض چند دقیقه فرد را از پای در آورد.

۱.۳.۱۵ منابع منوکسید کربن در خانه ها

منوکسید کربن و سایر محصولات احتراقی هنگام سوزاندن سوخت هایی نظیر چوب، زغال، زغال سنگ، گاز طبیعی، نفت و پروپان تولید می گردد. هم چنین این گاز از بخاری های تهویه نشده، کوره ها، اجاق گاز، شومینه، آب گرم کن، خشک کن ها و خروجی اگزوز خودروها در گاراژهای متصل به ساختمان تولید می گردد.

۲.۳.۱۵ راه حل ها و اقدامات پیشگیرانه

راه های زیادی برای جلوگیری از تجمع گازهای حاصل از احتراق در محیط های داخلی وجود دارد که به برخی از آن ها اشاره می شود:

۱. نصب تجهیزات و لوازم احتراقی به شیوه مناسب و بازدید آن ها به صورت منظم؛
۲. شست و شو و بازدید منظم دودکش ها؛
۳. تخلیه گازهای خروجی از بخاری به محیط بیرون؛
۴. در صورت امکان نصب لوازم احتراقی در محیط های دور از مکان های اصلی خانه مثلا نصب در زیرزمین؛



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۵. هیچ وقت از اجاق گاز و فر برای گرمایش استفاده نشده و همچنین زغال نیز در محیط‌های داخلی سوزانده نشود؛
۶. ماشین چمن‌زنی و اتومبیل در گاراژ روشن گذاشته نشود؛
۷. نصب آشکارگرهای منوکسید کربن در محیط‌های خواب زیرا معمولا مسمومیت با منوکسید کربن هنگام خواب رخ می‌دهد؛ و
۸. هنگام شناسایی غلظت‌های بالای منوکسید کربن در محیط‌های داخلی، به سرعت جریان هوای تازه به داخل محیط برقرار شده و در صورت لزوم افراد محیط آلوده را ترک نمایند.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۴.۱۵ دود ثانویه^۱



منظور از دود ثانویه، دود حاصل از سیگار یا پیپ سایر افراد است. دود ثانویه از طریق دهان فرد سیگاری یا از طریق سوختن توتون سیگار به هوا منتشر می‌شود. دود حاصل از سوختن توتون سیگار به نام «دود جانبی»^۲ شناخته می‌شود.

۱.۴.۱۵ راه‌حل‌ها و اقدامات پیشگیرانه

برای حذف دود ثانویه در محیط‌های داخلی، بایستی منبع دود را حذف نمود. یک محیط داخلی مجزا برای سیگار کشیدن، تهویه مناسب و تمیزکننده‌های هوا می‌توانند مقدار دود را در هوا کاهش دهند. با این وجود این اقدامات دود را به طور کامل حذف نکرده و هنوز خطرات باقی خواهند بود. بهترین راه برای کاهش اثرات مخرب دود ثانویه، نکشیدن سیگار و منع کردن بقیه افراد از سیگار کشیدن در محیط‌های داخلی است. اگر فردی می‌خواهد سیگار بکشد باید این کار را در محیط بیرون انجام دهد.

^۱ Secondhand smoke

^۲ Sidestream smoke

۵.۱۵ فرمالدهید و ترکیبات آلی فرار



ترکیبات آلی فرار مواد شیمیایی مایع و جامدی هستند که به راحتی به هوا تبخیر می شوند. فرمالدهید نیز نوعی ترکیب آلی فرار مضر است که بوی ویژه ای دارد و در محصولات شیمیایی زیادی یافت می شود.

۱.۵.۱۵ منابع فرمالدهید و ترکیبات آلی فرار در خانه ها

محصولات خانگی بسیاری وجود دارند که شامل مواد شیمیایی خطرناک هستند نظیر:



- رنگ؛
- پاک کننده ها؛
- اسپری ها و خوشبوکننده ها؛
- آفت کش ها؛ و
- قرص های نفتالن.

یک منبع اساسی گاز فرمالدهید، نئوپان است. چسبی که لایه های چوب را در کنار هم نگه می دارد می تواند تجزیه شده و گاز فرمالدهید آزاد کند. سایر منابع فرمالدهید عبارتند از:



- تخته چندلا؛
- رنگ ها، چسب ها و جلادهنده ها؛
- کاغذ دیواری، مقوا و محصولات کاغذی؛
- دود حاصل از شومینه، اجاق های چوبی و دود سیگار؛
- گازهای خروجی از خودروها در گاراژ؛ و
- عایق های فومی.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

معمولا با گذشت زمان میزان انتشار فرمالدهید از مواد کاهش می یابد و به همین دلیل غلظت فرمالدهید در خانه های نوساز بیشتر است.

۲.۵.۱۵ راه حل ها و اقدامات پیشگیرانه

بهترین راه حل برای جلوگیری از مجاورت با ترکیبات آلی فرار عدم استفاده از محصولات حاوی آن ها و در عوض استفاده از محصولات جایگزین با درصد کمتر از ترکیبات آلی فرار یا بدون این ترکیبات است. سایر اقدامات نیز به قرار زیر می باشند:

۱. خرید محصولات حاوی مواد شیمیایی مضر به میزان کم یا در صورت امکان عدم خرید آن ها؛
 ۲. استفاده از ترکیبات آلی فرار در محیط های بیرونی یا محیط های داخلی با تهویه مناسب؛
 ۳. پیروی کامل از دستورات سازنده محصول و عدم ترکیب محصولات شیمیایی متفاوت با هم مگر اینکه برچسب روی این محصول اجازه چنین کاری را داده باشد؛ و
 ۴. پس از استفاده، درب محصول به خوبی بسته شده و در مکانی دور از دسترس کودکان نگهداری شود.
- به منظور جلوگیری از انتشار فرمالدهید نیز می توان اقدامات زیر را انجام داد:
۱. با استفاده از لعاب و درزگیرها بر روی محصولات چوبی حاوی فرمالدهید، گاز فرمالدهید داخل محصول به دام افتاده و نمی تواند منتشر گردد؛
 ۲. پس از خرید وسایلی که فرمالدهید منتشر می کنند نظیر مبلمان، فرش و پرده بایستی میزان تهویه در محیط نصب وسایل افزایش یابد تا از تجمع فرمالدهید خودداری شود؛
 ۳. در صورت امکان وسایلی که میزان فرمالدهید کمتری دارند خریداری شوند.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۶.۱۵ آزیست



آزیست یک ماده معدنی است که به راحتی به الیاف های ریز تبدیل می شود. زمانی از آزیست در محصولات زیادی به دلیل خاصیت نسوز بودن، عایق خوب و حرارت و شکل پذیری ساده استفاده می شد. با این وجود استفاده از آزیست در بسیاری از مواد در سال ۱۹۷۰ میلادی منع گردید زیرا دانشمندان به این نتیجه رسیدند که الیاف آزیست به شدت منجر به سرطان ریه می شود.

۱.۶.۱۵ منابع آزیست در خانه ها

به دلیل قوی بودن الیاف آزیست، از این ماده برای تقویت بسیاری از محصولات نظیر کاشی های کف، دیوار و سقف، لوله ها و عایق های دیوار، بام و پوشش بیرونی خانه ها استفاده می شود. اگرچه استفاده از آزیست سال ها ممنوع شده است اما هنوز یکی از مشکلات خانه های قدیمی محسوب می گردد. این طور تخمین زده شده است که حدود ۲۰ درصد خانه ها شامل مواد حاوی آزیست هستند.

۲.۶.۱۵ اثرات بر روی سلامتی

آزیست به مرور زمان به الیاف میکروسکوپی تجزیه شده و این الیاف وارد هوا می گردند. این الیاف برای مدت زمان طولانی در هوا معلق می مانند و مردم نیز آن ها را تنفس خواهند نمود. پس از تنفس، این الیاف معمولاً تا زمان مرگ در ریه افراد باقی می مانند.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

تنفس غلظت های بالای الیاف آزبست در طول زمان می تواند منجر به سرطان ریه گردد. آزبستوز یک بیماری است که در آن ریه زخم شده، تنفس دشوار گشته و سرانجام منجر به مرگ می شود. علائم این بیماری تنگی نفس و سرفه است. تنفس الیاف آزبست خطر ابتلا به سرطان ریه از نوع مزوتلیوما را افزایش می دهد که این خطر در افراد سیگاری بیشتر نیز هست. هم چنین مجاورت با آزبست می تواند باعث بروز سایر سرطان ها نظیر معده، مقعد و روده بزرگ نیز گردد. بیماری هایی که توسط آزبست ایجاد می شوند سال ها طول خواهد کشید تا گسترش یابند (حدود ۲۰ تا ۴۰ سال) اما چون تجمع الیاف آزبست در ریه ها تدریجی است، ممکن است فردی که در معرض خطر است از این موضوع بی اطلاع باشد. در حال حاضر هیچ حد مجازی برای مجاورت با آزبست وجود ندارد.

۳.۶.۱۵ راه حل ها و اقدامات پیشگیرانه



معمولا آزبست مشکلی برای خانه ها محسوب نمی شود مخصوصا اگر در شرایط مناسبی باشد. اگر آزبست در شرایط خوبی باشد و توزیع نگردد، مشکلی برای افراد ایجاد نخواهد کرد. با این وجود، تخریب آزبست یک مشکل است و می تواند به راه های مختلفی درمان شود که بستگی به محل و میزان مشکل خواهد داشت. چهار روش اصلی برای درمان مشکلات ایجاد شده به دلیل تخریب آزبست وجود دارد:

۱. بسته بندی محصول حاوی آزبست در یک محفظه صلب و کاملاً عایق بندی شده از نظر ورود و خروج هوا؛
۲. روکش کردن مواد حاوی آزبست با درزگیرها و مواد مخصوص؛
۳. جایگزین کردن مواد آسیب دیده توسط محصولات که آزبست ندارند؛ و
۴. از بین بردن محصولات حاوی میزان بالای آزبست تخریب شده.

این اقدامات معمولاً گران قیمت هستند و بهتر است توسط افراد خبره انجام گردد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۷.۱۵ رادون



رادون یک گاز رادیواکتیو است که به صورت طبیعی و بر اثر تجزیه اورانیوم و رادیوم در سنگ و خاک تولید می‌گردد. رادون گازی بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌مزه است. رادون یک آلاینده هوای خطرناک است که به عنوان دومین عامل ایجاد سرطان ریه

در آمریکا شناخته شده است. به دلیل امکان تفاوت فراوان در سطح غلظت رادون در محیط‌های داخلی یک منطقه جغرافیایی کوچک، تمامی خانه‌ها بایستی از نظر میزان غلظت رادون مورد بررسی قرار گیرند.

۱.۷.۱۵ منابع رادون در خانه‌ها

رادون در همه جا و در سطح غلظت‌های متفاوت یافت می‌شود. رایج‌ترین منبع رادون در محیط‌های داخلی از صخره‌ها و خاک موجود در پی ساختمان است. گاز رادون از خاک نشات گرفته و سپس به تدریج وارد هوا می‌شود. رادون سپس از طریق درزها و شیارهای موجود در کف ساختمان به مرور زمان وارد هوای محیط داخلی می‌گردد و لذا معمولاً غلظت رادون در طبقات پایین ساختمان و زیرزمین‌ها بیشتر است. همچنین رادون می‌تواند از سنگ‌ها به آب‌های زیرزمینی نیز سرایت کند. این موضوع در صورتی که آب آشامیدنی از طریق منابع زیرزمینی نظیر چاه تامین می‌گردد، مشکل‌ساز خواهد شد. آلودگی رادون بیشتر در خاک است اگرچه غلظت‌های بالای رادون در آب آشامیدنی نیز می‌تواند اثرات مخربی بر روی سلامتی داشته باشد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۷.۱۵ راه حل ها و اقدامات پیشگیرانه

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) توصیه می کند که همه خانه ها، صرف نظر از موقعیت جغرافیایی، بایستی از نظر رادون مورد بررسی قرار گیرند. غلظت رادون به عوامل متعددی بستگی دارد و حتی دو خانه کنار هم نیز ممکن است غلظت های بسیار متفاوتی از رادون داشته باشند. رادون می تواند به آسانی توسط یک آشکارگر رادون بررسی شود. این آشکارگرها می توانند مقادیر غلظت کوتاه مدت و بلند مدت را محاسبه کنند. در صورت زیاده تر بودن غلظت رادون از حد مجاز آن، می توان با روش هایی به راحتی غلظت آن را کاهش داد. راه های مختلفی وجود دارد که بستگی به نوع ساخت و محل خانه خواهد داشت. روش هایی برای مقاوم سازی خانه ها در برابر ورود رادون از کف ساختمان وجود دارد. شماتیکی از این روش ها که نام عمومی «سازه جدید مقاوم در برابر رادون»^۱ یا همان RRNC را دارند در شکل ۱-۱۵ نشان داده شده است.

¹ Radon-resistant new construction (RRNC)



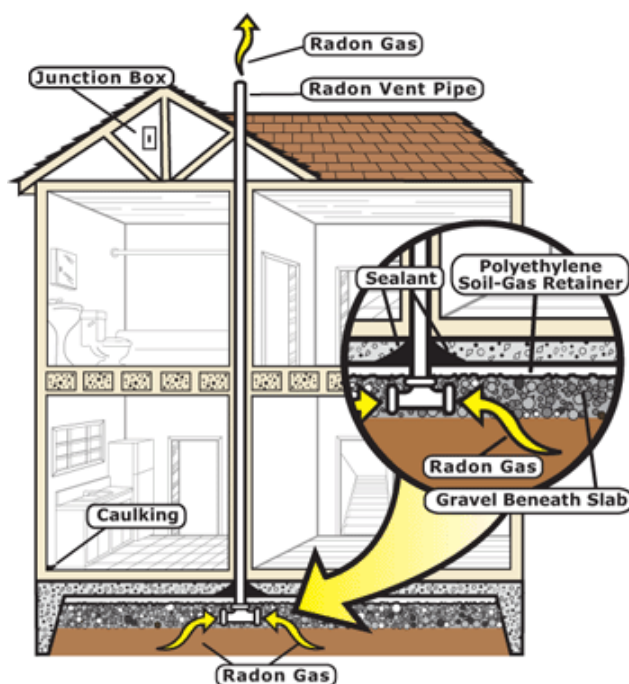
معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۱۵-۱ شماتیکی از سیستم RRNC

پنج ویژگی اصلی این سیستم ها در ادامه توضیح داده شده است.

شن یا سنگ ریزه^۱: یک لایه به ضخامت ۴ اینچ از شن و سنگ ریزه های تمیز و درشت بایستی زیر پی ساختمان قرار داده شود. این لایه شن به گازهای خاک نظیر رادون اجازه می دهد تا آزادانه زیر ساختمان جابه جا شوند. سازنده های ساختمان (پیمانکاران) به این لایه «لایه جریان هوا» یا «لایه نفوذپذیر گاز» می گویند زیرا شن ها اجازه چرخش گازها را می دهند. البته می توان به جای این لایه شنی از مجموعه ای حصیری نیز استفاده نمود.

روکش های پلاستیکی: یک لایه از روکش های پلاستیکی مقاوم (پلی اتیلن ۶ میلی متری) بایستی بر روی لایه شنی قرار داده شود تا از ورود گازهای خاک به داخل خانه جلوگیری کند. همچنین این لایه از لخته شدن لایه شنی بعد از ریختن سیمان پی ساختمان جلوگیری می کند.

¹ Gravel



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

لوله تهویه: یک لوله PVC، ۳ یا ۴ اینچ با اسکچول ۴۰ نظیر لوله هایی که در لوله کشی ساختمان استفاده می شود، باید به صورت عمودی و از لایه شنی به سمت سقف خانه کشیده شود. این لوله وظیفه مکش رادون از لایه شنی و خروج آن از زیر ساختمان را دارد.

عایق بندی و درزگیری: بایستی تمامی درزها، شکاف ها و راه های ورودی رادون از کف ساختمان توسط درزگیر پلی اورتان درزگیری گردد.

جعبه تقسیم: یک جعبه تقسیم الکتریکی بایستی در شیروانی برای استفاده همراه با فن تهویه نصب گردد.

فصل شانزدهم

بهبود کیفیت هوا با استفاده از گیاهان



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱۶ بهبود کیفیت هوا با استفاده از گیاهان

۱.۱۶ مقدمه

در طول دهه ۱۹۸۰ میلادی، «سازمان ملی هوانوردی و فضایی»^۱ که به اختصار «ناسا» نامیده می‌شود، مطالعه گیاهان خانگی به عنوان راه‌حلی برای تامین هوای پاک‌تر برای ایستگاه‌های فضایی را شروع نمود. آنچه که از این تحقیقات حاصل گردید این بود که گیاهان خانگی متفاوتی وجود دارند که می‌توانند به تصفیه کردن هوا کمک نمایند. گیاهان خانگی برخی از ترکیبات شیمیایی مضر موجود در هوا تصفیه کرده و هوایی سالم‌تر برای تنفس ایجاد می‌نمایند. نکته مثبت این است که اکثر این گیاهان به راحتی در دسترس هستند و می‌توان از آن‌ها در خانه‌ها و سایر محیط‌های داخلی به منظور بهبود کیفیت هوا استفاده نمود.

۲.۱۶ نحوه بهبود کیفیت هوا توسط گیاهان

پس از آنکه ناسا به این نکته پی برد که گیاهان می‌توانند به کاهش آلاینده‌ها به خصوص ترکیبات شیمیایی نظیر ترکیبات آلی فرار کمک نمایند، مطالعات زیادی در این زمینه صورت پذیرفت. گیاهان ترکیبات آلی فرار هوا را از طریق برگ‌های خود جذب کرده و به سمت ریشه خود منتقل می‌نمایند. در آنجا میکروب‌ها و باکتری‌های موجود اطراف ریشه گیاه، ترکیبات شیمیایی را تجزیه کرده و به عنوان ماده غذایی مصرف می‌نمایند.

برخی از ترکیبات ارگانیک هوا که توسط گیاهان جذب می‌شوند، از طریق فرآیندهای بیولوژیکی گیاه از بین می‌روند. گیاهان هم‌چنین باعث زیبایی و آسایش بیولوژیکی در محیط‌های داخلی می‌شوند. زمانی که گیاهان به

¹ National Aeronautics and Space Administration (NASA)



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

فضای اتاق اضافه می شوند، رطوبت نسبی افزایش یافته و میزان تجمع ذرات معلق (گرد و غبار) نیز کاهش خواهد یافت. افزایش رطوبت نسبی اثر آرامش بخش بر روی افراد دارد و حذف ذرات معلق نیز باعث کاهش ذرات آلرژی زا خواهد شد. کاهش ذرات معلق در یک اتاق برای کامپیوترها و سایر تجهیزات الکترونیکی مفید است زیرا از تجمع ذرات گرد و غبار بر روی مدارات الکتریکی و هم بسته شدن مسیر هوای آنها نیز جلوگیری می کند.

در طول مدت زمان فتوسنتز گیاه، دی اکسید کربن از طریق برگ گیاهان جذب شده و در عوض اکسیژن توسط گیاه تولید شده و به هوا پس داده می شود. در طول شب یا مدت زمانی که فتوسنتز انجام نمی گردد، گیاهان همانند انسان تنفس کرده و گاز دی اکسید کربن تولید می نمایند.

گیاهان می توانند ترکیبات آلی فرار نظیر
فرمالدهید، بنزن، ژیلن و گازهایی نظیر
منوکسید کربن را از طریق برگ های خود جذب
کرده و با انتقال آنها به سمت ریشه خود،
توسط میکروبها تجزیه نمایند.

فتوکمیکال های فرار^۱ یا مواد شیمیایی گیاهی فرار که از طریق برگ گیاهان به هوا منتشر می گردند در کنترل هاگ های قارچ و میکروب های معلق در هوا اهمیت بالایی دارند. گیاهان از طریق تعرق برگ های خود، بخار آب در هوا آزاد می کنند که سبب افزایش رطوبت می گردد. نرخ تعرق بالا باعث ایجاد جریان های جابه جایی اطراف گیاه می شود که این امر منجر به کشیده شدن هوای سنگین آلوده به سمت خاک اطراف ریشه گیاه می گردد و در آنجا

^۱ Volatile phytochemicals



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

میکروب‌ها گازهای آلاینده را تجزیه کرده و به عنوان منبع غذا و انرژی از آن‌ها استفاده می‌کنند. البته باید توجه داشت که رطوبت بالا می‌تواند مشکلات مربوط به قارچ‌ها را ایجاد نماید.

۳.۱۶ برخی از گیاهان مناسب برای محیط‌های داخلی

در این بخش ده مورد از بهترین و مناسب‌ترین گیاهانی که به بهبود کیفیت هوا کمک می‌نمایند معرفی خواهند شد. بیشتر این گیاهان حتی از طریق گل‌فروشی‌های معمولی نیز در دسترس می‌باشند. این گیاهان می‌توانند آلاینده‌هایی نظیر ذرات معلق، بنزن، فرمالدهید و برخی دیگر از ترکیبات آلی فرار را از هوا گرفته و در نتیجه به تصفیه هوا کمک نمایند.

۱.۳.۱۶ آلوه‌ورا^۱



بسیاری از مردم امروزه گیاه آلوه‌ورا را به دلیل توانایی التیام بخشی آن در خانه نگهداری می‌کنند. ژلی که درون برگ‌های این گیاه وجود دارد برای التیام سوختگی و بریدگی‌ها عالی است. از طرفی آلوه‌ورا یک گیاه فوق‌العاده برای بهبود کیفیت هوای داخلی نیز به شمار می‌رود.

این گیاه به سادگی رشد می‌نماید و برای افرادی که استعدادی در پرورش گیاهان ندارند بسیار مناسب است. آلوه‌ورا گاز آلاینده بنزن موجود در هوا را که گازی سرطان‌زا و خطرناک است، تصفیه می‌نماید.

^۱ Aloe Vera



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۳.۱۶ برگ قاشقی^۱



گیاه برگ قاشقی بسیار زیبا بوده و می تواند در بهبود کیفیت هوای داخلی تا میزان ۶۰ درصد یاری نماید. این گیاه هاگ های قارچ موجود در هوا را از طریق برگ های خود جذب کرده و سپس آن ها را به سمت ریشه های خود منتقل می نماید. هاگ ها سپس در ریشه این گیاه توسط باکتری ها به عنوان ماده غذایی مصرف می شوند. برگ قاشقی در حمام

می تواند از بروز کپک جلوگیری نموده و همچنین بخارات مضر حاصل از الکل و استون را نیز جذب نماید.

۳.۳.۱۶ گیاه عنکبوتی^۲



گیاه عنکبوتی یک گیاه خانگی رایج است که به سادگی رشد می نماید. در طول حدود دو روز، این گیاه می تواند چیزی در حدود ۹۰ درصد از مواد سمی موجود در هوای داخلی را تصفیه نماید. برگ های این گیاه که به سرعت رشد می نمایند به جذب مواد مضر نظیر قارچ و سایر آلرژن ها کمک می کنند و در نتیجه این گیاه برای آن دسته

از افراد که به گرد و خاک حساسیت دارند مناسب است. گیاه عنکبوتی به جذب و تصفیه آلاینده هایی نظیر فرمالدهید و منوکسید کربن نیز کمک می نماید.

^۱ Peace Lily

^۲ Spider plant



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۴.۳.۱۶ پیچک انگلیسی^۱



پیچک انگلیسی گیاهی عالی برای کسانی است که از حیوانات خانگی نگهداری می نمایند زیرا می تواند مقداری از مواد مدفوعی معلق در هوای حاصل از این حیوانات را تصفیه نماید. همچنین این گیاه توانایی جذب فرمالدهید را نیز دارا می باشد. تحقیقات نشان داده است که قرار دادن پیچک انگلیسی بر روی میز کار می تواند سبب

تمرکز بهتر شود زیرا این گیاه می تواند برخی گازهای آلاینده دیگر نظیر بنزن را نیز جذب و تصفیه نماید.

۵.۳.۱۶ سرخس بوستون^۲



سرخس بوستون که به سرخس برگ شمشیری نیز معروف است علاوه بر زیبایی باعث بهبود کیفیت هوا نیز می گردد. این گیاه به عنوان یک رطوبت ساز عمل کرده به مرطوب نگه داشتن هوا کمک می نماید؛ بنابراین این گیاه برای کسانی که دچار مشکلات خشکی پوست و سایر مشکلات مربوط به هوای سرد هستند، مناسب

می باشد. همچنین این گیاه می تواند فرمالدهید موجود در هوا را نیز تصفیه نماید. گیاه سرخس بوستون به نور مستقیم خورشید نیاز داشته و بایستی برگ های آن به طور منظم با آب خیس شوند.

^۱ English Ivy

^۲ Boston Fern



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۶.۳.۱۶ گل شیپوری برگ قلبی^۱



گل شیپوری برگ قلبی گیاهی بالارونده است که برای خانه هایی که حیوانات خانگی کوچک و یا کودک ندارند، مناسبتر است زیرا این گیاه در صورت خورده شدن سمی است. با این وجود این گیاه برای تصفیه فرمالدهید مناسب است. نگهداری از این گیاه آسان است اما بایستی به اندازه کافی در جای مرتفع

قرار داده شود تا دست کودکان و یا حیوانات خانگی به این گیاه نرسد.

۷.۳.۱۶ بنفشه آفریقایی^۲



رنگ این گیاه بنفش است که همین موضوع در سلامتی افراد نقش مثبت دارد. زل زدن به بنفشه آفریقایی سبب ترشح آدرنالین شده که منجر به افزایش جریان اکسیژن به مغز می شود و در نتیجه احساس آرامش بیشتری به فرد دست می دهد. این گیاه کوچک بوده و نگهداری آن آسان است و نور

غیر مستقیم خورشید را ترجیح می دهد. این گیاه در نور مصنوعی به خوبی رشد می کند و در نتیجه برای مکان هایی که دسترسی به نور خورشید وجود ندارد نیز مناسب است.

^۱ Heart Leaf Philodendron

^۲ African Violets



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۸.۳.۱۶ اکالیپتوس^۱



گیاه اکالیپتوس قرن هاست که برای انواع بیماری ها مورد استفاده قرار می گیرد. برگ های گیاه اکالیپتوس پر از تانن هستند که می تواند به بهبود کیفیت هوا کمک نماید. تانن ماده ای است که در عصاره بسیاری از گیاهان وجود دارد و معمولاً آن را از پوست بلوط می گیرند. تنفس در عطر و بوی

حاصل از این گیاه می تواند مشکلات مربوط به سرماخوردگی را کاهش دهد.

۹.۳.۱۶ همیشه سبز چینی^۲



این گیاه نگهداری بسیار ساده ای دارد و می تواند تعداد زیادی از آلاینده های هوا را تصفیه نماید. با گذشت زمان و مجاورت بیشتر این گیاه مواد سمی بیشتری را از هوا تصفیه می نماید و می تواند حتی در نور کم هم شکوفه ها و توت های قرمز رنگ زیبایی را به وجود آورد.

¹ Eucalyptus

² Chinese evergreen

۱۰.۳.۱۶ گل داوودی^۱



گل داوودی گیاهی بسیار زیبا با رنگ های متنوع است. علاوه بر زیبایی منحصر به فرد، این گیاه می تواند به بهبود کیفیت هوای داخلی نیز کمک نماید. گل داوودی می تواند به تصفیه بنزن که یک ماده شیمیایی خطرناک در محیط های داخلی است و در بسیاری از شوینده های خانگی، رنگ ها، پلاستیک ها و برخی محصولات چسبی یافت

می شود، کمک نماید. این گیاه به نور مستقیم خورشید نیاز دارد و بهتر است کنار پنجره ها قرار داده شود.

۴.۱۶ انتخاب گیاهان مناسب و تعداد آن ها

گیاهان داخلی رایج که اثر مثبت آن ها در تصفیه هوای داخلی اثبات شده است، در جدول ۱۶-۱ معرفی شده اند. در این جدول نام گیاه به همراه یک عکس از آن آورده شده است. در ستون سوم این جدول به هر گیاه از یک تا ده یک عدد اختصاص داده شده است که هر چه این عدد بزرگتر باشد نشان دهنده توانایی بیشتر گیاه برای بهبود کیفیت هوا است. به طور مثال گل داوودی عدد ۹ و پوتوس طلایی عدد ۵ را به خود اختصاص داده اند که نشان می دهد توانایی گل داوودی در بهبود کیفیت هوا بیش از پوتوس طلایی است. در ستون چهارم این جدول نیز میزان نیاز هر گیاه به نور مشخص گردیده است.

¹ Chrysanthemum



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۱-۱۶ گیاهان دارای قابلیت بهبود کیفیت هوا [۱۲۷]

نام گیاه	عکس	توانایی حذف آلاینده ها	نیاز به نور
نخل آرکا		۸/۱۰	آفتابی تا نیمه آفتابی
(Areca palm)			
نخل بامبو		۹/۱۰	نیمه آفتابی
(Bamboo Palm)			
سرخس بوستون		۹/۱۰	نیمه آفتابی
(Boston Fern)			
گیاه ذرت		۸/۱۰	نیمه سایه
(Corn Plant)			



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۱۶- گیاهان دارای قابلیت بهبود کیفیت هوا (ادامه)

نام گیاه	عکس	توانایی حذف آلاینده ها	نیاز به نور
دراسینا درمنسیس از نوع جانت کریگ (Dracaena deremensis- Janet Craig)		۸/۱۰	نیمه سایه
دراسینا درمنسیس از نوع وارنکی (Dracaena deremensis- Warneckeii)		۶/۱۰	نیمه سایه
درخت اژدها (Dragon tree)		۶/۱۰	نیمه آفتابی تا نیمه سایه
دیفن باخیا (Dieffenbachia)		۷/۱۰	نیمه آفتابی تا نیمه سایه



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۱۶-۱ گیاهان دارای قابلیت بهبود کیفیت هوا (ادامه)

نام گیاه	عکس	توانایی حذف آلاینده ها	نیاز به نور
پیچک انگلیسی		۹/۱۰	نیمه آفتابی تا نیمه سایه
(English Ivy)			
گل داوودی		۹/۱۰	آفتابی تا نیمه آفتابی
(Chrysanthemum)			
گل ژربرا		۹/۱۰	آفتابی تا نیمه آفتابی
(Gerbera daisy)			
پوتوس طلایی		۵/۱۰	نیمه سایه تا سایه
(Golden Pothos)			



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۱۶-۱ گیاهان دارای قابلیت بهبود کیفیت هوا (ادامه)

نام گیاه	عکس	توانایی حذف آلاینده ها	نیاز به نور
نخل راپیس		۷/۱۰	نیمه آفتابی
(Rhipis excelsa)			
برگ قاشقی		۸/۱۰	نیمه سایه تا سایه
(Peace lily)			
فیلودندرون بالارونده		۶/۱۰	نیمه سایه تا سایه
(Philodendron erubescens)			
شفلرا		۸/۱۰	نیمه سایه
(Schefflera)			



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران

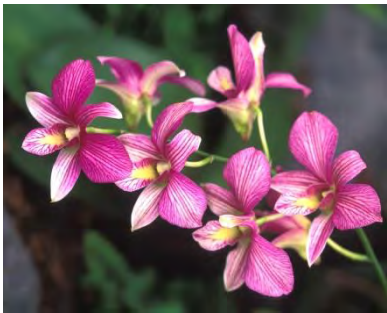


شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۱۶-۱ گیاهان دارای قابلیت بهبود کیفیت هوا (ادامه)

نام گیاه	عکس	توانایی حذف آلاینده ها	نیاز به نور
ارکیده دندروبیوم		۷/۱۰	نیمه آفتابی
(Dendrobium Orchid)			
نخل ققنوس		۹/۱۰	نیمه آفتابی
(Phoenix roebelenii)			
سرخس ملکه کیمبرلی		۹/۱۰	نیمه آفتابی تا نیمه سایه
(Kimberley queen fern)			
گیاه عنکبوتی		۶/۱۰	نیمه آفتابی تا سایه
(Spider plant)			



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

انتخاب گیاهان مناسب برای کاهش میزان آلاینده‌های هوا در خانه‌ها و سایر محیط‌های داخلی نه تنها به میزان توانایی آن‌ها در تمیز کردن هوا بلکه به پارامترهای دیگری نظیر نحوه رشد آن‌ها، راحتی پرورش و نگهداری آن‌ها، میزان نیاز به نور و البته سلیقه شخصی بستگی دارد.

در یک دفتر یا خانه، گیاهان می‌توانند اثر عمیقی بر روی سلامت و آرامش روانی افراد داشته باشند. این موضوع که گیاهان در محیط‌های کاری و زندگی اثرات مفیدی بر روی افراد دارند، اثبات شده است. برخی از این اثرات مثبت که مستند نیز شده‌اند عبارتند از بهبود روحیه کارکنان، افزایش بهره‌وری و کاهش غیبت‌های غیر موجه آنان. علایم ناراحتی و بیماری نیز در محیط‌های داخلی دارای گیاه کمتر مشاهده می‌گردد. این اثرات مثبت بایستی در انتخاب گیاهان خانگی مناسب در نظر گرفته شوند.

همه گیاهان برای تعیین اثرگذاری آن‌ها بر روی کیفیت هوای داخلی آزمایش نشده‌اند. هم‌چنین گیاهانی که مورد آزمایش قرار گرفته‌اند نیز میزان تاثیرگذاری یکسانی نداشته‌اند. نمی‌توان این گونه تصور نمود که همه آلاینده‌های مضر توسط گیاهان قابل حذف هستند اما تاثیر آن‌ها در بهبود کیفیت هوا نیز غیر قابل چشم‌پوشی است.

عدد کاملاً دقیقی برای تعداد مورد نیاز گیاهان در محیط‌های داخلی برای بهبود کامل کیفیت هوا داده نشده است. اما معمولاً این طور بیان می‌گردد که برای تصفیه مناسب هوای یک اتاق به ازای تقریباً هر ۵ مترمربع بایستی یک گلدان حاوی گیاهی با اندازه در حدود ۱۲ اینچ قرار داده شود. بنابراین به طور مثال یک اتاق با ابعاد ۶ متر در ۴ متر (۲۴ متر مربع) حدوداً به ۴ تا ۵ گلدان نیاز خواهد داشت.

فصل هفدهم

جمع‌بندی و پیشنهادات



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف



۱۷ جمع‌بندی و پیشنهادات

۱.۱۷ جمع‌بندی

در این سند به بررسی راه‌های موجود برای کاهش میزان آلاینده‌های هوای محیط‌های داخلی پرداخته شد. به طور کلی سه روش اساسی برای بهبود کیفیت هوای داخلی یعنی:

۴- کنترل منبع آلودگی؛

۵- تهویه؛ و

۶- تصفیه‌کننده‌های هوا

پیشنهاد شده‌اند. در این سند علاوه بر سه روش فوق یک روش طبیعی که استفاده از گیاهان برای بهبود کیفیت هوا می‌باشد نیز مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج مطالعات گسترده‌ای که در زمینه بهبود کیفیت هوای داخلی صورت گرفته، نشان داده است که بهترین روش، کنترل منبع آلودگی داخلی است. کنترل منبع آلودگی علاوه بر کارایی بسیار بالایی که به همراه دارد نسبت به سایر روش‌ها نظیر استفاده از تهویه، مصرف انرژی کمتر و در نتیجه هزینه کمتری خواهد داشت. به طور مثال افراد سیگاری می‌توانند داخل محیط‌های بسته سیگار نکشند و یا لوازم احتراقی نظیر اجاق گاز به خوبی تنظیم شوند.

استفاده از تهویه برای خروج هوای آلوده و جایگزین کردن آن با هوای تازه و پاک نیز برای بهبود کیفیت هوای داخل قابل توجه است. ورود و خروج هوا به ساختمان می‌تواند از طریق سه مکانیزم نفوذ، تهویه طبیعی و یا تهویه مکانیکی صورت پذیرد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

سومین روش بهبود کیفیت هوای داخلی استفاده از دستگاه های تصفیه هوا می باشد. دستگاه های تصفیه هوا به تنهایی قادر به حل مشکلات کیفیت هوای داخل نمی باشند و بایستی به طور همزمان با دو روش اصلی یعنی کنترل منبع آلودگی و تهویه استفاده گردند. به طور کلی می توان گفت دستگاه های تصفیه هوایی که در حال حاضر در دسترس هستند، توانایی لازم برای حذف آلاینده های گازی را ندارند و بیشتر کاربرد آن ها در حذف ذرات معلق کوچک و برخی از آلاینده های بیولوژیکی می باشد. دستگاه های تصفیه هوا در دو نوع کلی شامل دستگاه های تصفیه هوای تمام خانه و دستگاه های تصفیه قابل حمل عرضه می گردند.

رادون یکی از گازهای رادیواکتیو است که به دلیل واکنش هایی که در خاک اتفاق می افتد حاصل می گردد. این گاز می تواند از طریق پی ساختمان وارد خانه شده و بر روی سلامتی افراد ساکن تاثیر منفی بر جای گذارد. برای جلوگیری از ورود گاز رادون به ساختمان ها، روشی به نام «سازه جدید مقاوم در برابر رادون» یا روش RRNC وجود دارد که در فصل چهارم توضیح داده شده است. در این روش گاز رادون تولید شده در زیر ساختمان با استفاده از تجهیزات خاصی به بیرون ساختمان هدایت می شود. اخیرا رادون به عنوان دومین عامل سرطان ریه در آمریکا به شدت مورد توجه قرار گرفته و یک نقشه ملی رادون برای کاهش این گاز رادیواکتیو در آمریکا و جلوگیری از مرگ و میر ناشی از سرطان ریه تدوین شده است. هدف کوتاه مدت این نقشه تا سال ۲۰۲۰ کاهش ۳۲۰۰ مرگ ناشی از رادون در ایالات متحده آمریکا می باشد.

در طول دهه ۱۹۸۰ میلادی ناسا به مطالعه گیاهان جهت استفاده از آن ها برای بهبود کیفیت هوا پرداخت. نتایج تحقیقات در این زمینه ثابت کرده است که برخی از گیاهان خانگی نظیر آلوهورا، برگ قاشقی، عنکبوتی و پیچک انگلیسی می توانند در حذف ترکیبات آلی فرار نظیر فرمالدهید و بنزن کارایی بالایی داشته باشند. همچنین برخی از گیاهان توانایی حذف منوکسید کربن و افزایش رطوبت نسبی اتاق را نیز دارا هستند. در مجموع این طور به نظر می رسد که استفاده از گیاهان برای افزایش سلامتی و آرامش اعضای یک محیط داخلی می تواند مفید واقع شود.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۲.۱۷ پیشنهادات برای ایران



همانطور که در این گزارش بیان گردید، بهترین روش بهبود کیفیت هوای داخلی، کنترل و حذف منابع تولید آلاینده‌ها می‌باشد. به طور مثال بایستی از سیگار کشیدن در محیط‌های داخلی و استفاده از مواد شیمیایی نظیر خوشبوکننده‌ها، رنگ‌ها، آفت‌کش‌ها و موارد دیگری از این دست تا حد امکان جلوگیری به عمل آورد.

دومین روش موثر بهبود کیفیت هوای داخل، استفاده از تهویه به شکل مناسب و به میزان کافی است. نرخ مشخص شده برای تامین هوای خارج برای هر اتاق در حدود ۱۵ تا ۶۰ فوت مکعب بر دقیقه به ازای هر شخص ساکن اتاق (با واحد $\frac{cfm}{person}$) تعیین شده است که به میزان فعالیت‌هایی که در آن اتاق انجام می‌شود بستگی دارد. این میزان معادل تقریباً ۰/۴ تا ۱/۵ مترمکعب بر دقیقه به ازای هر شخص ساکن در اتاق می‌باشد.

۱.۲.۱۷ راه‌حل‌ها و پیشنهادات با توجه به نوع اتاق

اگرچه مشکلات مربوط به کیفیت هوای داخلی می‌تواند در سراسر یک ساختمان وجود داشته باشد، اما برخی از اتاق‌ها آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به بقیه دارند. در ادامه جداولی آورده شده‌اند که در هر کدام یک ناحیه از خانه نظیر حمام یا آشپزخانه مشخص شده و مشکلات بالقوه هوای داخلی آن به همراه راه‌حل‌های قابل استفاده آورده شده است. استفاده از این راه‌حل‌ها برای بهبود کیفیت هوای داخلی خانه‌ها و سایر امکان داخلی توصیه می‌گردد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۱-۱۷ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای آشپزخانه

نوع مکان	مشکل بالقوه	راه حل
آشپزخانه	۱. اجاق گاز بدون تهویه	نصب و استفاده از فن و هود هنگام آشپزی؛ عدم استفاده از اجاق گاز برای گرمایش.
	۲. پاک کننده های خانگی	باز کردن پنجره ها و روشن کردن فن؛ استفاده بر مبنای دستورات تولید کننده.
	۳. رطوبت حاصل از پخت و پز و ظرفشویی	نصب و استفاده از فن و هود.
	۴. کابینت های ساخته شده از چوب فشرده	باز کردن پنجره ها و تهویه هوا پس از نصب کابینت ها؛ روکش کردن با پلی اورتان برای جلوگیری از انتشار فرمالدهید؛ حفظ دما و رطوبت در سطح مناسب.

جدول ۲-۱۷ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای حمام

نوع مکان	مشکل بالقوه	راه حل
حمام	۱. وسایل تمیزکاری	انتخاب محصولات با میزان سمیت کمتر در صورت امکان؛ باز کردن پنجره یا روشن کردن فن؛ استفاده مطابق با دستورات سازنده محصول.
	۲. رطوبت، قارچ و کپک	شست و شوی منظم سینک، دوش و وان؛ استفاده از فن؛ رفع سریع نشتی لوله کشی؛ در یا پرده حمام باز نگه داشته شود؛ خشک کردن دیوارهای حمام پس از استفاده؛ استفاده از کاشی یا وینیل به عنوان کفپوش حمام.
	۳. محصولات بهداشتی فردی	باز کردن پنجره یا روشن کردن فن هنگام استفاده از محصول.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۳-۱۷ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای اتاق خواب

نوع مکان	مشکل بالقوه	راه حل
اتاق خواب	۱. رطوبت سازها (دستگاه بخور)	استفاده تنها در صورت نیاز؛ دوباره پر کردن با آب تمیز به صورت روزانه؛ شست و شوی منظم برای پیش گیری از تجمع میکروب ها.
	۲. مواد دافع بید	خودداری از استنشاق بخارات این محصولات؛ نگهداری آن ها در صندوق و دور نگه داشتن از محیط زندگی.
	۳. مایت (هیره)	استفاده از روکش نفوذناپذیر در برابر آلرژن بر روی بالش و تشک؛ شست و شوی هفتگی رختخواب ها در آب داغ؛ استفاده از مبلمان قابل شست و شو.

جدول ۴-۱۷ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای زیرزمین

نوع مکان	مشکل بالقوه	راه حل
زیرزمین	۱. عایق آزیستی لوله ها	لوله ها برای یافتن خرابی های احتمالی بررسی شوند؛ مشورت با افراد ماهر برای تعمیر یا حذف محصولات آزیستی.
	۲. رطوبت	تمیز و ضد عفونی کردن سیستم تخلیه؛ استفاده از رطوبت گیر خصوصا در فصل تابستان؛ از بین بردن فوری قارچ و کپک.
	۳. رادون	تعیین سطح رادون با استفاده از دستگاه مخصوص اندازه گیری؛ مشورت با افراد ماهر در صورت بالا بودن غلظت.
	۴. لباس خشک کن تهویه نشده	تهویه به محیط بیرون.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۵-۱۷ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای گاراژ

نوع مکان	مشکل بالقوه	راه حل
گاراژ	۱. آگزوز خودرو	خودرو به صورت درجا روشن گذاشته نشود.
	۲. محصولات رنگی	استفاده فقط در محیط های تهویه دار ی محیط بیرونی؛ پیروی از دستورات سازنده محصول؛ خرید به میزان محدود؛ بستن دوباره درب با دقت.
	۳. آفت کش ها	نگهداری دور از دسترس کودکان و خارج از محیط زندگی؛ باز کردن پنجره ها هنگام استفاده در محیط داخلی؛ پیروی از دستورات سازنده محصول.
	۴. سوخت ذخیره شده (مانند بنزین یا نفت)	خرید به میزان محدود؛ استفاده از مخازن به خوبی عایق شده؛ عدم ذخیره سازی در داخل خانه.

جدول ۶-۱۷ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای تمامی اتاق ها

نوع مکان	مشکل بالقوه	راه حل
تمامی اتاق ها	۱. پوست، مو و شوره حیوانات	شست و شوی حیوانات خانگی؛ تمیزکاری منظم منزل.
	۲. فرش ها	فرش های خیس فوراً تمیز و خشک شوند؛ از فروشنده فرش تقاضا شود تا فرش قبل از نصب با هوا تمیز شود؛ اتاق ها هنگام نصب فرش به خوبی تهویه شوند؛ فرش ها به طور منظم جارو کشی شوند.
	۳. پرده ها	تهویه اتاق هنگام نصب به علت احتمال انتشار فرمالدهید؛ سطح رطوبت و دما در حد مناسب نگه داشته شود.
	۴. دود ثانویه سیگار	به هیچ وجه داخل خانه سیگار کشیده نشود.
	۵. مایت (هیره)	خانه به طور مرتب تمیز شده و جارو کشی شود.
	۶. رطوبت	استفاده از رطوبت گیر و فن در صورت نیاز.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۱۷-۷ مشکلات بالقوه هوای داخلی و راه حل هر کدام برای سیستم های سرمایش و گرمایش

نوع مکان	مشکل بالقوه	راه حل
سیستم های سرمایش و گرمایش	۱. تهویه مطبوع هوا	تعویض فیلترها در زمان مناسب؛ تخلیه و شست و شوی سینی آب به صورت منظم؛ پیروی از روش های تعمیرات و نگهداری مناسب.
	۲. کوره	بررسی و سرویس سالیانه؛ پیروی از روش های تعمیرات و نگهداری مناسب و تعویض فیلترها.
	۳. شومینه	باز کردن دودکش هنگام استفاده از شومینه؛ بررسی سالیانه دودکش برای خرابی یا مسدود شدن های احتمالی؛ خاموش کردن آتش قبل از خواب.
	۴. بخاری نفتی	تهویه به بیرون؛ تنها استفاده از سوخت توصیه شده توسط سازنده؛ باز کردن پنجره و درها، در صورت عدم تهویه.
	۵. اجاق هیزمی	تهویه به بیرون؛ انتخاب اجاق با طراحی مناسب متناسب با استاندارد آلاینده ها.

۲.۲.۱۷ استفاده از دستگاه های تصفیه هوا

امروزه انواع مختلفی از دستگاه های تصفیه هوا ابداع شده است. این دستگاه ها قادر به حذف ذرات معلق، برخی از گازها و همچنین برخی میکروارگانیسم ها می باشند که انواع مختلف هر یک به تفصیل در فصل سوم این گزارش بررسی شده است. آنچه مشخص است استفاده از دستگاه های تصفیه هوا بدون کنترل منبع آلودگی داخلی و تهویه مناسب هوا، نمی توانند کارایی چندانی در بهبود کیفیت هوای داخلی داشته باشند.

مجموع مطالبی که در فصل سوم در مورد تصفیه کننده های هوا بیان گردید حاکی از آن است که دستگاه های تصفیه گازها و آلاینده های بیولوژیکی که در حال حاضر در دسترس هستند توانایی و کارایی لازم را برای بهبود



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

کیفیت هوای داخل دارا نمی باشند. به عنوان مثال مولدهای ازن نه تنها کارایی بالایی در حذف آلاینده ها ندارند بلکه خود عامل تولید گاز ازن خواهند بود که نوعی آلاینده داخلی محرک محسوب می شود یا روش اکسیداسیون فوتوکاتالیستی که علاوه بر مصرف انرژی بالا بعضا خود باعث تولید آلاینده های جدیدی می گردد.

اینطور به نظر می آید که موثرترین
دستگاه های تصفیه هوا که در حال
حاضر در دسترس هستند، **فیلترهای ذرات**
می باشند.

در حال حاضر به نظر می رسد کارآمدترین دستگاه های تصفیه هوا، فیلترهای ذرات می باشند که در دو نوع مکانیکی و الکترونیکی ساخته می شوند. البته این فیلترها نیز توانایی حذف ذرات بزرگ را ندارند زیرا این ذرات معمولا به سرعت ته نشین می گردند.

۳.۲.۱۷ استفاده از گیاهان

نتایج تحقیقات در زمینه تاثیر گیاهان در بهبود کیفیت هوا که ابتدا توسط ناسا در دهه ۱۹۸۰ میلادی آغاز گردید نشان از تاثیر مثبت گیاهان در تصفیه هوا دارد. بیشترین تاثیر گیاهان در حذف ترکیبات آلی فرار نظیر بنزن و فرمالدهید می باشد اما گیاهان در کاهش دی اکسید کربن، منوکسید کربن و برخی ذرات معلق نیز می توانند مفید واقع گردند. به طور نسبی به ازای هر ۵ مترمربع بایستی یک گلدان قرار داده شود تا بتوان هوای اتاق را به خوبی تصفیه نمود.

لیستی از گیاهان مناسب برای بهبود کیفیت هوای داخلی در فصل پنجم مورد بررسی قرار گرفته و به هر گیاه نمره‌ای از ۱۰ داده شده است. نمره بالاتر نشان از تاثیرگذاری بیشتر گیاه در بهبود و تصفیه هوا دارد. می‌توان در محیط‌هایی که در معرض ترکیبات آلی فرار هستند به عنوان یکی از راه‌حل‌های کاهش آلودگی از این گیاهان استفاده نمود.

۴.۲.۱۷ کاهش خطر رادون

گاز رادون پس از سیگار کشیدن به عنوان دومین عامل بروز سرطان ریه شناسایی شده است. از آنجا که رادون به دلیل واکنش‌های رادیواکتیو داخل خاک تولید می‌گردد، لذا در مورد این آلاینده روش کنترل منبع چاره‌ساز نخواهد بود. امروزه برای حذف خطرات رادون، ساختمان‌ها را به صورت مقاوم در برابر رادون طراحی کرده و می‌سازند که نحوه این امر در فصل چهارم این گزارش توضیح داده شده است.

از طرفی کاهش خطرات رادون نیازمند یک برنامه جامع و هدفمند بلند مدت است. به طور نمونه دولت آمریکا برای حذف رادون «نقشه عملی ملی رادون» را در سال ۲۰۱۳ منتشر کرد که جزئیات این نقشه در فصل ششم این گزارش مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین اینگونه به نظر می‌رسد که حذف رادون از خانه‌های ایران نیز نیازمند یک برنامه‌ریزی جامع، دقیق و با اهداف کوتاه مدت و بلند مدت مشخص می‌باشد.

حذف خطرات ناشی از رادون نیازمند یک
برنامه‌ریزی جامع، دقیق و با اهداف
کوتاه مدت و بلند مدت مشخص می‌باشد.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۱۸ منابع و مراجع

- [1] J. Wesolowski, "An overview of the indoor air quality problem: The California approach," *Clean Air*, vol. 21, pp. 134–142, 1987.
- [2] S. K. Brown, "Pollutant emission properties of photocopiers and laser printers," in *Proc. Int. l Conf. Indoor Air Qual. Clim*, 1999, vol. 5, pp. 123–128.
- [3] M. Black, T. Worthan, and E. Horner, "Effectiveness of carpet cleaning in biocontaminant removal," in *Indoor Air Quality and climate*, 1999, pp. 8–43.
- [4] D. Jarvis, S. Chinn, C. Luczynska, and P. Burney, "Association of respiratory symptoms and lung function in young adults with use of domestic gas appliances," *Lancet*, vol. 347, no. 8999, pp. 426–431, 1996.
- [5] D. Jarvis, S. Chinn, J. Sterne, C. Luczynska, and P. Burney, "The association of respiratory symptoms and lung function with the use of gas for cooking. European Community Respiratory Health Survey," *Eur. Respir. J.*, vol. 11, no. 3, pp. 651–658, 1998.
- [6] W. Nicole, "Cooking up indoor air pollution: emissions from natural gas stoves," *Env. Heal. Perspect*, vol. 122, no. 1, p. A27, 2014.
- [7] G. W. Ware, "The pesticide book. Fresno," *Thomson Publ*, 1994.
- [8] "Health Risks of Secondhand Smoke." [Online]. Available: www.cancer.org. [Accessed: 07-Aug-2016].
- [9] L. E. Sparks, Z. Guo, J. C. Chang, and B. A. Tichenor, "Volatile organic compound emissions from latex paint–Part 1. Chamber experiments and source model development," *Indoor Air*, vol. 9, no. 1, pp. 10–17, 1999.
- [10] H. Davies and H. Lee, "A review of the scope of scientific studies relating indoor environment and student performance," in *ANZAScA: Towards Solutions for a Liveable Future: progress, practice, performance, people. Proceedings of the 41st Annual Conference of the Architectural Science Association ANZAScA*, 2007, pp. 70–75.
- [11] P. Ole Fanger, "What is IAQ?," *Indoor Air*, vol. 16, no. 5, pp. 328–334, 2006.
- [12] M. Schneider, "Do School Facilities Affect Academic Outcomes?..," 2002.
- [13] E. M. Kahn, "Does Pollution affect School Absenteeism?" Amherst College, 2004.
- [14] G. A. Heath and M. J. Mendell, "Do indoor environments in schools influence student performance? A review of the literature," in *A Compilation of Papers for the Indoor Air 2002 Conference In Memory of Joan M. Daisey*, 2002, vol. 20.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- [15] D. J. Clements-Croome, H. B. Awbi, Z. Bakó-Biró, N. Kochhar, and M. Williams, "Ventilation rates in schools," *Build. Environ.*, vol. 43, no. 3, pp. 362–367, 2008.
- [16] G. Smedje, D. Norbäck, and C. Edling, "Asthma among secondary schoolchildren in relation to the school environment," *Clin. Exp. Allergy*, vol. 27, no. 11, pp. 1270–1278, 1997.
- [17] J. M. Daisey, W. J. Angell, and M. G. Apte, "Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information," *Indoor Air*, vol. 13, no. 1, pp. 53–64, 2003.
- [18] M. J. Mendell and G. A. Heath, "How Does Indoor Air Quality Affect a Child's Ability to learn?," *United States Environ. Prot. Agency*, 2003.
- [19] D. G. Shendell, M. G. Apte, J. Kim, and S. Smorodinsky, "School Indoor Environmental Quality Assessments and Interventions: Benefits of Effective Partnerships in California," *Lawrence Berkeley Natl. Lab.*, 2002.
- [20] M. J. Mendell and G. A. Heath, "Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature," *Indoor Air*, vol. 15, no. 1, pp. 27–52, 2005.
- [21] L. Heschong, "Daylighting in Schools: An Investigation into the Relationship between Daylighting and Human Performance. Detailed Report.," 1999.
- [22] R. de Daer, G. Brager, and D. Cooper, "Developing an adaptive model of thermal comfort and preference-Final Report (ASHRAE RP-884)," *Atlanta, GA ASHRAE*, 1997.
- [23] K. Fisher, "Building Better Outcomes: The Impact of School Infrastructure on Student Outcomes and Behaviour. Schooling Issues Digest.," 2001.
- [24] S. Higgins, E. Hall, K. Wall, P. Woolner, and C. McCaughey, "The impact of school environments: A literature review," *London Des. Counc.*, 2005.
- [25] J. E and T. C. K, "Influence of School Facility on Student Achievement," *Univ. Georg.*, 1999.
- [26] L. Fang, D. Wyon, and P. O. Fanger, "Sick building syndrome symptoms caused by low humidity," in *Proceedings of Healthy Buildings 2003*, 2003.
- [27] D. J. Clements-Croome, "Work performance, productivity and indoor air," *SJWEH Suppl.*, no. 4, pp. 69–78, 2008.
- [28] P. Plympton, S. Conway, and K. Epstein, "Daylighting in Schools: Improving Student Performance and Health at a Price Schools Can Afford.," 2000.
- [29] J. A. Lackney, "The Relationship between environmental quality of school facilities and student performance: A congressional briefing to the US House of Representatives Committee on Science," 1999.
- [30] M. H. Nicklas and G. B. Bailey, "Analysis of the Performance of Students in Daylit Schools.," 1996.
- [31] M. A. Berry, "Healthy School Environment and Enhanced Educational Performance: The



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

Case of Charles Young Elementary School, Washington, DC.,” 2002.

- [32] A. D. Stolz, A. Knickelbein, and S. Coburn, “Linking coordinated school health to student success,” in *Presentation at the Annual Conference of the National Association of School Nurses*, 2008.
- [33] F. Vinciullo, “The Relationship Between Multi-Component School Health Programs and School Achievement,” in *Presentation at the Annual Conf. of the Nat. Assoc. of School Nurses, Albuquerque, NM*, 2008.
- [34] M. D. Silverstein, J. E. Mair, S. K. Katusic, P. C. Wollan, E. J. O’Connell, and J. W. Yunginger, “School attendance and school performance: a population-based study of children with asthma,” *J. Pediatr.*, vol. 139, no. 2, pp. 278–283, 2001.
- [35] S. Moonie, D. A. Sterling, L. W. Figgs, and M. Castro, “The relationship between school absence, academic performance, and asthma status,” *J. Sch. Health*, vol. 78, no. 3, pp. 140–148, 2008.
- [36] M. Schneider, “Public School Facilities and Teaching: Washington, DC and Chicago,” 2002.
- [37] G. I. Earthman, “A Statewide Study of Student Achievement and Behavior and School Building Condition,” 1995.
- [38] D. Branham, “The wise man builds his house upon the rock: The effects of inadequate school building infrastructure on student attendance,” *Soc. Sci. Q.*, vol. 85, no. 5, pp. 1112–1128, 2004.
- [39] W. W. Nazaroff, “Norovirus, gastroenteritis, and indoor environmental quality,” *Indoor Air*, vol. 21, no. 5, pp. 353–356, 2011.
- [40] A. N. Myhrvold, E. Olsen, and O. Lauridsen, “Indoor environment in schools—pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations,” *Indoor Air*, vol. 96, no. 4, pp. 369–371, 1996.
- [41] M. J. Mendell, “Non-Specific Symptoms In Office Workers: A Review And Summary Of The Epidemiologic Literature,” *Indoor Air*, vol. 3, no. 4, pp. 227–236, 1993.
- [42] O. A. Seppänen, W. J. Fisk, and M. J. Mendell, “Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings,” *Indoor Air*, vol. 9, no. 4, pp. 226–252, 1999.
- [43] R. J. Shaughnessy, U. Haverinen-Shaughnessy, A. Nevalainen, and D. Moschandreas, “A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms and student performance,” *Indoor Air*, vol. 16, no. 6, pp. 465–468, 2006.
- [44] P. N. Breyse, G. B. Diette, E. C. Matsui, A. M. Butz, N. N. Hansel, and M. C. McCormack, “Indoor air pollution and asthma in children,” *Proc. Am. Thorac. Soc.*, vol. 7, no. 2, pp. 102–106, 2010.
- [45] J. Q. Koenig, T. F. Mar, R. W. Allen, K. Jansen, T. Lumley, J. H. Sullivan, C. A. Trenga, T. V Larson, and L.-J. S. Liu, “Pulmonary effects of indoor-and outdoor-generated particles in children with asthma,” *Environ. Health Perspect.*, pp. 499–503, 2005.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- [46] M. H. Garrett, M. A. Hooper, B. M. Hooper, and M. J. Abramson, "Respiratory symptoms in children and indoor exposure to nitrogen dioxide and gas stoves," *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, vol. 158, no. 3, pp. 891–895, 1998.
- [47] G. Hoek, B. Brunekreef, R. Meijer, A. Scholten, and J. Boleij, "Indoor nitrogen dioxide pollution and respiratory symptoms of schoolchildren," *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, vol. 55, no. 1, pp. 79–86, 1984.
- [48] E. C. Matsui, N. N. Hansel, M. C. McCormack, R. Rusher, P. N. Breyse, and G. B. Diette, "Asthma in the inner city and the indoor environment," *Immunol. Allergy Clin. North Am.*, vol. 28, no. 3, pp. 665–686, 2008.
- [49] C.-G. Bornehag, J. Sundell, C. J. Weschler, T. Sigsgaard, B. Lundgren, M. Hasselgren, and L. Hägerhed-Engman, "The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust: a nested case-control study," *Environ. Health Perspect.*, pp. 1393–1397, 2004.
- [50] C.-G. Bornehag, J. Sundell, L. Hägerhed-Engman, and T. Sigsgaard, "Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergic symptoms in children," *Indoor Air*, vol. 15, no. 4, pp. 275–280, 2005.
- [51] P. O. Fanger, "Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors," *Energy Build.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–6, 1988.
- [52] C. CEN, "Ventilation for buildings: Design criteria for the indoor environment," *Brussels, Eur. Comm. Stand.*, 1998.
- [53] D. J. Moschandreas, J. Zabransky, and D. J. Pelton, "Comparison of indoor-outdoor concentrations of atmospheric pollutants," *GEOMET Rep.*, 1980.
- [54] D. Cavallo, D. Alcini, M. De Bortoli, D. Carrettoni, P. Carrer, M. Bersani, and M. Maroni, "Chemical contamination of indoor air in schools and office buildings in Milan, Italy," *Proc. Indoor Air*, vol. 93, pp. 45–49, 1993.
- [55] C. J. Weschler, D. V. Naik, and H. C. Shields, "Indoor ozone exposures resulting from the infiltration of outdoor ozone," *Indoor Air Pollution, Radon, Bioaerosols VOCs. Chelsea, MI Lewis*, pp. 83–100, 1992.
- [56] L. Morawska, C. He, J. Hitchins, D. Gilbert, and S. Parappukkaran, "The relationship between indoor and outdoor airborne particles in the residential environment," *Atmos. Environ.*, vol. 35, no. 20, pp. 3463–3473, 2001.
- [57] P. Blondeau, V. Iordache, O. Poupard, D. Genin, and F. Allard, "Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French schools," *Indoor Air*, vol. 15, no. 1, pp. 2–12, 2005.
- [58] W. H. O. (WHO), "Development of WHO guidelines for indoor air quality," in *Report on a working group meeting, Bonn, Germany*, 2006, pp. 23–24.
- [59] S. K. Brown, "Indoor air quality, Australia: state of the environment technical paper series (Atmosphere)," *Environ. Aust.*, pp. 1–68, 1997.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- [60] Z. Bai, Z. Wang, T. Zhu, and J. J. Zhang, "Developing indoor air quality related standards in China," *J. Asian Archit. Build. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 55–60, 2003.
- [61] W. H. Organization, *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. WHO, 2010.
- [62] C. Jia, S. Batterman, and C. Godwin, "VOCs in industrial, urban and suburban neighborhoods—Part 2: Factors affecting indoor and outdoor concentrations," *Atmos. Environ.*, vol. 42, no. 9, pp. 2101–2116, 2008.
- [63] A. T. Hodgson and H. Levin, "Volatile organic compounds in indoor air: a review of concentrations measured in North America since 1990," *Rep. LBNL-51715, Lawrence Berkeley Natl. Lab. Berkeley, CA*, 2003.
- [64] U. S. ATSDR, "Toxicological Profile for Benzene," *US Dep. Heal. Hum. Serv. Agency Toxic Subst. Dis. Regist. Atlanta, GA*, 2007.
- [65] H. C. Lim, "Mothballs: bringing safety issues out from the closet," *Singapore Med. J.*, vol. 47, no. 11, p. 1003, 2006.
- [66] R. A. Wadden and P. A. Scheff, *Indoor air pollution: Characterization, prediction, and control*. Wiley, 1983.
- [67] W. H. O. R. O. for Europe and W. H. Organization, *Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide*. World Health Organization, 2006.
- [68] J. Q. Koenig, K. Jansen, T. F. Mar, T. Lumley, J. Kaufman, C. A. Trenga, J. Sullivan, L. J. S. Liu, G. G. Shapiro, and T. V Larson, "Measurement of offline exhaled nitric oxide in a study of community exposure to air pollution.," *Environ. Health Perspect.*, vol. 111, no. 13, p. 1625, 2003.
- [69] R. J. Delfino, N. Staimer, T. Tjoa, A. Polidori, M. Arhami, D. L. Gillen, M. T. Kleinman, N. D. Vaziri, J. Longhurst, and F. Zaldivar, "Circulating biomarkers of inflammation, antioxidant activity, and platelet activation are associated with primary combustion aerosols in subjects with coronary artery disease," *Environ. Health Perspect.*, vol. 116, no. 7, 2008.
- [70] E. Heseltine and J. Rosen, *WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould*. WHO Regional Office Europe, 2009.
- [71] M. Wickman, E. Melen, N. Berglind, S. Lennart Nordvall, C. Almqvist, I. Kull, M. Svartengren, and G. Pershagen, "Strategies for preventing wheezing and asthma in small children," *Allergy*, vol. 58, no. 8, pp. 742–747, 2003.
- [72] Y. J. Chung, N. H. Coates, M. E. Viana, L. Copeland, S. J. Vesper, M. K. Selgrade, and M. D. W. Ward, "Dose-dependent allergic responses to an extract of *Penicillium chrysogenum* in BALB/c mice," *Toxicology*, vol. 209, no. 1, pp. 77–89, 2005.
- [73] H.-U. Wanner, A. Verhoeff, A. Colombi, B. Flannigan, S. Gravesen, A. Mouilleseaux, A. Nevalainen, J. Papadakis, and K. Seidel, *Biological particles in indoor environments*. Office for Official Publications of the European Communities, 1993.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- [74] R. L. Riley, "Indoor spread of respiratory infection by recirculation of air.," *Bull. Eur. Physiopathol. Respir.*, vol. 15, no. 5, pp. 699–705, 1978.
- [75] B. Flannigan, E. M. McCabe, and F. McGarry, "Allergenic and toxigenic micro-organisms in houses," *J. Appl. Bacteriol.*, vol. 70, p. 61S–73S, 1991.
- [76] L. G. Arlian, "Water balance and humidity requirements of house dust mites," *Exp. Appl. Acarol.*, vol. 16, no. 1–2, pp. 15–35, 1992.
- [77] R. T. van Strien, A. P. Verhoeff, B. Brunekreef, and J. H. van Wijnen, "Mite antigen in house dust: relationship with different housing characteristics in The Netherlands," *Clin. Exp. Allergy*, vol. 24, no. 9, pp. 843–853, 1994.
- [78] American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, "Ashrae, Standard 62: The Standards For Ventilation And Indoor Air Quality," 2013.
- [79] D. S. Robertson, "Health effects of increase in concentration of carbon dioxide in the atmosphere," *Curr. Sci.*, vol. 90, no. 12, pp. 1607–1609, 2006.
- [80] Z. Bakó-Biró, N. Kochhar, D. J. Clements-Croome, H. B. Awbi, and M. Williams, "Ventilation rates in schools and learning performance," in *Proceedings of CLIMA*, 2007, pp. 1434–1440.
- [81] W. Yang, J. Sohn, J. Kim, B. Son, and J. Park, "Indoor air quality investigation according to age of the school buildings in Korea," *J. Environ. Manage.*, vol. 90, no. 1, pp. 348–354, 2009.
- [82] G. Keller, B. Hoffmann, and T. Feigenspan, "Radon permeability and radon exhalation of building materials," *Sci. Total Environ.*, vol. 272, no. 1, pp. 85–89, 2001.
- [83] J. Chen, N. M. Rahman, and I. A. Atiya, "Radon exhalation from building materials for decorative use," *J. Environ. Radioact.*, vol. 101, no. 4, pp. 317–322, 2010.
- [84] M. Maroni, B. Seifert, and T. Lindvall, *Indoor air quality: a comprehensive reference book*. Elsevier, 1995.
- [85] W. H. Organization, "Air quality guidelines for Europe," 2000.
- [86] T. A. E. Platts-Mills and M. D. Chapman, "Dust mites: immunology, allergic disease, and environmental control," *J. Allergy Clin. Immunol.*, vol. 80, no. 6, pp. 755–775, 1987.
- [87] S. Pollart, M. D. Chapman, and T. A. E. Platts-Mills, "House dust mite and dust control," *Clin. Rev. Allergy*, vol. 6, no. 1, pp. 23–33, 1988.
- [88] Indoor Air Quality and M. Group, "A Guide on Indoor Air Quality Certification Scheme for Offices and Public Places," 2003.
- [89] American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, "Ashrae, Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy," 2013.
- [90] American Society of Heating Refrigerating and AirConditioning Engineers, "ASHRAE, Standard 111: Measurement, Testing, Adjusting and Balancing of Building Heating, Ventilation and Air-Conditioning Systems," 2008.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- [91] G. Sberveglieri, *Gas sensors: principles, operation and developments*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [92] D. Pletcher, J. Evans, P. R. G. Warburton, and T. K. Gibbs, "Acidic gas sensors and method of using same." Google Patents, Dec-1991.
- [93] B. Oury, F. Lhuillier, J.-C. Protois, and Y. Moréle, "Behavior of the GABIE, 3M 3500, PerkinElmer Tenax TA, and RADIELLO 145 diffusive samplers exposed over a long time to a low concentration of VOCs," *J. Occup. Environ. Hyg.*, vol. 3, no. 10, pp. 547–557, 2006.
- [94] C. Cocheo, C. Boaretto, D. Pagani, F. Quaglio, P. Sacco, L. Zaratina, and D. Cottica, "Field evaluation of thermal and chemical desorption BTEX radial diffusive sampler radiello® compared with active (pumped) samplers for ambient air measurements," *J. Environ. Monit.*, vol. 11, no. 2, pp. 297–306, 2009.
- [95] B. Zabiegała and J. Namieśnik, "Use of permeation passive samplers in air monitoring," *Compr. Anal. Chem.*, vol. 48, pp. 85–106, 2007.
- [96] J. Brown and B. Shirey, "A tool for selecting an adsorbent for thermal desorption applications," *Sigma-Aldrich Co., Bellefonte, PA2001*, 2001.
- [97] M. E. Cassinelli, R. D. Hull, J. V Crable, and A. W. Teass, "Protocol for the evaluation of passive monitors," *Diffus. Sampl. An Altern. Approach to Work. Air Monit. A. Berlin, RH Brown*, 1987.
- [98] W. Hendricks, "Performance of SKC Ultra Passive Samplers Containing Carboxen 1016, CarbotrapZ, or Chromosorb 106 When Challenged with a Mixture Containing Twenty of OSHA SLTC's Top Solvent Analytes," *Method Dev. Team, Ind. Hyg. Div. OSHA, SLTC Salt Lake City, UT*, 2003.
- [99] "Indoor Ambient and Workplace Air—Sampling and Analysis of Volatile Compounds by Sorbent Tube/Thermal Desorption/Capillary Gas Chromatography—Part 2: Diffusive Sampling," *Int. Stand. Organ.*, vol. 2, no. ISO 16017, 2003.
- [100] "Ambient air quality—Diffusive samplers for the determination of concentrations of gases and vapours—Requirements and test methods—Part 1: general requirements," *Eur. Comm. Stand.*, vol. 1, no. EN 13528, 2002.
- [101] J. Namiesnik, T. Gorecki, E. Kozłowski, L. Torres, and J. Mathieu, "Passive dosimeters—an approach to atmospheric pollutants analysis," *Sci. Total Environ.*, vol. 38, pp. 225–258, 1984.
- [102] C. E. Feigley and B. M. Lee, "Determination of sampling rates of passive samplers for organic vapors based on estimated diffusion coefficients," *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, vol. 49, no. 5, pp. 266–269, 1988.
- [103] H. W. Paschold, "The effects of evaporative cooling on indoor/outdoor air quality in an arid region," 2002.
- [104] J. J. Quackenboss, M. D. Lebowitz, and C. D. Crutchfield, "Indoor-outdoor relationships for particulate matter: exposure classifications and health effects," *Environ. Int.*, vol. 15, no. 1–6, pp. 353–360, 1989.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- [105] P. B. Ryan, J. D. Spengler, and R. Letz, "The effects of kerosene heaters on indoor pollutant concentrations: a monitoring and modeling study," *Atmos. Environ.*, vol. 17, no. 7, pp. 1339–1345, 1983.
- [106] B. P. Leaderer, L. Naeher, T. Jankun, K. Balenger, T. R. Holford, C. Toth, J. Sullivan, J. M. Wolfson, and P. Koutrakis, "Indoor, outdoor, and regional summer and winter concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, SO₄ (2)-, H⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, NH₃, and nitrous acid in homes with and without kerosene space heaters," *Environ. Health Perspect.*, vol. 107, no. 3, p. 223, 1999.
- [107] G. W. Traynor, M. G. Apte, H. A. Sokol, J. C. Chuang, W. G. Tucker, and J. L. Mumford, "Selected organic pollutant emissions from unvented kerosene space heaters," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 24, no. 8, pp. 1265–1270, 1990.
- [108] A. Seaton, D. Godden, W. MacNee, and K. Donaldson, "Particulate air pollution and acute health effects," *Lancet*, vol. 345, no. 8943, pp. 176–178, 1995.
- [109] W. J. Fisk, "Health and productivity gains from better indoor environments and their relationship with building energy efficiency," *Annu. Rev. Energy Environ.*, vol. 25, no. 1, pp. 537–566, 2000.
- [110] M. J. Mendell, W. J. Fisk, K. Kreiss, H. Levin, D. Alexander, W. S. Cain, J. R. Girman, C. J. Hines, P. A. Jensen, and D. K. Milton, "Improving the health of workers in indoor environments: priority research needs for a national occupational research agenda," *Am. J. Public Health*, vol. 92, no. 9, pp. 1430–1440, 2002.
- [111] F. D. Tillman and J. W. Weaver, *Review of recent research on vapor intrusion*. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development Washington, DC 20460, 2005.
- [112] J. Bartram, *Legionella and the prevention of legionellosis*. World Health Organization, 2007.
- [113] R. J. Shaughnessy and R. G. Sextro, "What is an effective portable air cleaning device? A review," *J. Occup. Environ. Hyg.*, vol. 3, no. 4, pp. 169–181, 2006.
- [114] D. Fugler, D. Bowser, and W. Kwan, "The effects of improved residential furnace filtration on airborne particles," Canada Mortgage and Housing Corp., Ottawa, Ontario (CA), RPRT, 2000.
- [115] L. Sehulster, R. Y. W. Chinn, M. J. Arduino, J. Carpenter, R. Donlan, D. Ashford, R. Besser, B. Fields, M. M. McNeil, and C. Whitney, "Guidelines for environmental infection control in health-care facilities," *Morb. Mortal. Wkly. Rep. Recomm. Reports RR*, vol. 52, no. 10, 2003.
- [116] W. J. Kowalski and W. Bahnfleth, "Airborne respiratory diseases and mechanical systems for control of microbes," *Heating, Pip. air Cond.*, vol. 70, no. 7, pp. 34–48, 1998.
- [117] E. Levetin, R. Shaughnessy, C. A. Rogers, and R. Scheir, "Effectiveness of germicidal UV radiation for reducing fungal contamination within air-handling units," *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 67, no. 8, pp. 3712–3715, 2001.
- [118] D. B. Henschel, "Cost analysis of activated carbon versus photocatalytic oxidation for removing organic compounds from indoor air," *J. Air Waste Manage. Assoc.*, vol. 48, no. 10, pp. 985–994, 1998.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

- [119] W. Chen, J. S. Zhang, and Z. Zhang, "Performance of Air Cleaners for Removing Multiple Volatile Organic Compounds in Indoor Air.," *ASHRAE Trans.*, vol. 111, no. 1, 2005.
- [120] W. J. Morgan, E. F. Crain, R. S. Gruchalla, G. T. O'Connor, M. Kattan, R. Evans III, J. Stout, G. Malindzak, E. Smartt, and M. Plaut, "Results of a home-based environmental intervention among urban children with asthma," *N. Engl. J. Med.*, vol. 351, no. 11, pp. 1068–1080, 2004.
- [121] R. A. Wood, "Air filtration devices in the control of indoor allergens," *Curr. Allergy Asthma Rep.*, vol. 2, no. 5, pp. 397–400, 2002.
- [122] S. J. Kemp, T. H. Kuehn, D. Y. H. Pui, D. Vesley, and A. J. Streifel, "Filter collection efficiency and growth of microorganisms on filters loaded with outdoor air," American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA (United States), RPRT, 1995.
- [123] Office of Air and Radiation, "Residential Air Cleaners," Washington, DC, 2009.
- [124] F. J. Offermann III, S. A. Loiselle, and G. Sextro, "Performance of air cleaners in a residential forced air system," *ASHRAE J. (American Soc. Heating, Refrig. Air-Conditioning Eng. States)*, vol. 34, no. 7, 1992.
- [125] G. H. Keller, "Benzene adsorption onto activated carbon and benzene destruction by potassium permanganate-loaded alumina," *Union Carbide Chem. Plast. Company. South Charleston, WV*, 1991.
- [126] F. Filters, "Minimum arrestance according to ASHRAE 52.1, and a minimum efficiency reporting value (MERV) according to ASHRAE 52.2. 1," *Glas. Fiber Treat. with Adhes.*, vol. 80.
- [127] K. D. Kobayashi, A. J. Kaufman, J. Griffis, and J. McConnell, "Using houseplants to clean indoor air," 2007.

پیوست الف

نقشه عملی ملی کاهش رادون (ایالات متحده آمریکا)





معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

پیوست الف. نقشه عملی ملی کاهش رادون (ایالات متحده آمریکا)

نقشه عملی کاهش رادون، یک برنامه جامع برای کاهش خطرات رادون در ۵ میلیون خانه در آمریکا است تا بتوان سالانه جان ۳۲۰۰ نفر را نجات داد. این برنامه باید تا سال ۲۰۲۰ به این نتیجه دست یابد. این نقشه حاصل تلاش های مشترک ۱۱ سازمان برای حذف سرطان ریه ناشی از رادون در ایالات متحده آمریکا می باشد. این نقشه در ۲۰ ژوئن سال ۲۰۱۱ به صورت رسمی در کنفرانس ملی سلامت خانه ها در کلورادو اعلام گردید. سپس در ۱۴ ژوئن سال ۲۰۱۳ کارگروه ملی رادون تاسیس شد و در تاریخ ۲۳ اکتبر سال ۲۰۱۳ نیز نقشه عملی ملی کاهش رادون منتشر گردید.



سیگار کشیدن،
رادون و دود
ثانویه سیگار دلایل
اصلی بروز سرطان
ریه هستند.

الف.۱. افق نقشه کاهش رادون

نقشه عملیاتی ملی رادون یک راهکار بلند مدت برای حذف سرطان ریه ناشی از رادون در ایالات متحده آمریکا است. اهداف کوتاه مدت این نقشه، کاهش خطرات رادون در ۵ میلیون خانه و نجات جان سالانه ۳۲۰۰ نفر تا سال ۲۰۲۰ است. اگرچه اهداف سال ۲۰۲۰ دستاوردهای مهمی هستند اما چشم انداز نهایی این نقشه نمی باشد.

هدف نهایی این نقشه حذف سرطان ریه ناشی از رادون در ایالات متحده آمریکا از طریق ادغام فرآیندهای تست رادون، کاهش رادون و ساخت سازه های مقاوم در برابر رادون در سیستم های حاکم بر خرید، تامین مالی، ساخت و نوسازی خانه ها و سایر ساختمان ها می باشد. این کار از طریق فناوری های ساده و اثبات شده قابل انجام است. این فناوری ها بایستی به عنوان اقداماتی استاندارد انجام شوند تا با گذشت زمان خطرناک ناشی از رادون کاهش یابد. در واقع زمانیکه هیچ فردی در آمریکا در خانه، مدرسه و محیط کار در معرض رادون نباشد، این نقشه عملی شده و به اهداف خود رسیده است.



بر اساس تخمین
آژانس حفاظت
محیط زیست (EPA)،
رادون عامل اصلی
سرطان ریه در
افراد غیر سیگاری
است.

الف. ۲. ایجاد پایه های نقشه کاهش رادون

الف. ۱.۲. شروع نقشه از فعالیتهای فدرال

در سال ۲۰۱۰، این حقیقت که بیشتر افراد آمریکایی علیرغم تلاش های دولتی، غیر دولتی و صنعتی برای کاهش رادون هنوز در معرض خطرات ناشی از رادون هستند، ۹ آژانس فدرال را به دنبال راه حل های جدید برای این معضل واداشت. به دلیل رونق ساخت و ساز مسکن در این سال ها و ناکافی بودن اقدامات داوطلبانه برای کاهش رادون،



آژانس حفاظت محیط‌زیست (EPA) اعلام نمود که تعداد خانه‌های در معرض خطر رادون در آمریکا در سال ۲۰۱۰ بیش از خانه‌های در معرض خطر در سال ۱۹۸۶ بوده است.

این ۹ آژانس به منظور توسعه نقشه عملیاتی فدرال رادون، دور هم آمدند تا ۳۰ پروژه جدید برای ارتقای عملیات کاهش رادون را در سه محور زیر آغاز نمایند:

۱. تست و کاهش غلظت‌های بالای رادون با استفاده از سرویس‌های متخصص رادون؛

۲. ارائه مشوق‌های مالی و حمایت‌های مستقیم در موارد نیاز برای کاهش خطرات رادون؛ و

۳. نشان دادن اهمیت، امکان‌پذیری و ارزش کاهش خطر رادون.

آژانس‌های فدرال کلیدی سیاست‌هایی را برای پیدا کردن، بر طرف کردن و پیشگیری کردن از غلظت‌های بالای رادون در ساختمان‌های دولتی آغاز کردند. از سال ۲۰۱۴، اقدامات انجام شده تقریباً شامل ۱/۶ میلیون خانه، مدرسه و مهدکودک به صورت هدایت و راهنمایی برای کاهش خطرات رادون شده و در مواقع لزوم در حدود دویست هزار واحد نیز به دلیل غلظت بالای رادون، اقدامات تست و کاهش آن انجام گردیده است. البته نقشه عملی فدرال کاهش رادون بخش‌های غیر دولتی را نیز برای کاهش خطرات رادون نشانه گرفته است.



World Health
Organization

بر اساس آمارهای
سازمان بهداشت
جهانی، عامل
پانزده درصد از
سرطان‌های ریه در
سراسر جهان رادون
می‌باشد.



الف. ۲.۲ انتقال نقشه به فعالیت های ملی

انجمن ریه آمریکا یک کارگروه ملی رادون را برای توسعه این نقشه رهبری نمود. هدف این کارگروه شتاب دادن به نقشه فدرال و پیشبرد یک اقدام ملی هماهنگ بود. وظیفه این کارگروه شناسایی سیاست ها و فناوری های اثبات شده برای کاهش خطرات رادون و گرد هم آوردن افراد، سازمان ها و منابع مورد نیاز از سازمان های دولتی، غیر دولتی و صنعتی برای اجرای این سیاست ها می باشد.

عبارت «فرهنگ سازی»^۱ کلید واژه ای است که برای توصیف راهکارهای حل مشکل رادون در آمریکا انتخاب شده است. در واقع اقداماتی که تست رادون، کاهش آن و ساخت سازه های مقاوم در برابر رادون را به عنوان هنجار رفتارهای فردی، فعالیت های صنعتی و سیاست های عمومی جا می اندازند، تحت عنوان فرهنگ سازی شناخته می شوند. کارگروه ملی رادون چارچوب های نقشه عملیاتی دولت فدرال را بهبود بخشید تا شامل موارد زیر گردد.

۱. **فرهنگ سازی کاهش خطرات رادون:** اقداماتی که کاهش خطرات رادون را به عنوان یک فعالیت استاندارد در سراسر بخش مسکن جاسازی می نماید.

۲. **ارائه مشوق ها و حمایت برای کاهش خطرات رادون:** اقداماتی که اشخاص را برای پرداختن به تست رادون، کاهش آن و ساخت سازه های مقاوم در برابر رادون از طریق تشویق های مالی و حمایت های مستقیم برانگیزد.

¹ Building in



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

۳. تست و کاهش رادون با استفاده از خدمات تخصصی: اقداماتی که استفاده از خدمات رادون تایید شده را

ترویج دهد و با ایجاد تقاضا به حفظ صنایع مرتبط کمک نماید.

۴. افزایش بینش عمومی به معضل رادون: اقداماتی که توجه گسترده مردم را به معضل رادون جلب کرده و

اهمیت کاهش خطرات رادون را بیان می‌دارد.

کارگروه ملی رادون اعتقاد دارد که یک نقشه کارآمد بایستی هر ۴ مورد فوق را دنبال نماید و اولویت اساسی آن

سیاست‌های فرهنگ‌سازی کاهش خطرات رادون باشد.

در آمریکا، سرطان ریه ناشی از رادون سومین
سرطان کشنده پس از سرطان خون و غدد لنفاوی است
که سالانه جان ۲۱۰۰۰ نفر را می‌گیرد!

کارگروه ملی رادون بر مبنای چارچوب‌های ۴ گانه‌ای که بیان گردید، کارایی راهکارهای مختلف کاهش خطر رادون

را ارزیابی کرده است. این کارگروه روش‌های استفاده شده در گذشته را بر اساس معیارهای زیر بررسی نموده است:

۱. تاثیرگذاری: اثر مستقیم یک روش بر غلظت‌های بالای رادون در محیط‌های داخلی و میزان جمعیتی که از آن

تاثیر می‌پذیرند.

۲. سطح تلاش: میزان تلاش مورد نیاز برای دنبال کردن یک راهکار تا دستیابی آن راهکار به نقطه تاثیرگذاری.

۳. امکان‌پذیری: احتمال موفقیت یک راهکار، با در نظر گرفتن چالش‌های ساختاری، پیامدهای مالی و سایر

عوامل تاثیرگذار.

۴. قابلیت اندازه‌گیری: توانایی اندازه‌گیری تاثیرگذاری یک روش در طول زمان بر کاهش میزان خطر رادون.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۱-۰ نقشه عملی ملی رادون: راهکارهای برتر برای نجات جان انسان ها

نام مرحله	راهکارها	دستاوردهای مورد نظر
۱ فرهنگ سازی کاهش خطرات رادون	همکاری با سازمان های مالی مسکن دولتی، نیمه دولتی و خصوصی برای تثبیت تست و کاهش رادون به عنوان یک فعالیت استاندارد	صنایع مالی و بیمه مسکن اقداماتی انجام می دهند که تست و کاهش رادون در خانه ها را افزایش می دهد.
	وارد کردن ملزومات کاهش خطرات رادون در کدهای ساختمانی محلی و ایالتی	کدهای ساختمانی الزام می کنند که خانه ها بایستی مقاوم در برابر رادون ساخته شوند.
	گسترش تحقیقات بر مبنای هزینه - فایده بر روی اقدامات پیشگیرانه و کاهش دهنده رادون برای ارتقا انرژی	فعالیت های ارتقا مصرف انرژی شامل کاهش خطرات رادون به عنوان فعالیتی استاندارد می گردند.
۲ ارائه مشوق ها و حمایت برای کاهش خطرات رادون	اطمینان از در نظر گرفته شدن خطر رادون در برنامه های سالم سازی خانه ها	معیارهای برنامه های ملی برای بهبود سلامت خانه ها شامل کاهش خطرات رادون می گردد.
	استفاده از اهرم دولت و وام های مسکن برای پوشش دادن فرآیند کاهش رادون	منابع مالی جدید وجود دارد تا صاحبان خانه ها انگیزه لازم برای تست و کاهش رادون داشته باشند.
	تامین حمایت مالی از طرف خیریه ها و سایر منابع برای کاهش خطرات رادون در خانه ها، مدرسه ها و مهدکودک های افراد کم در آمد	کاهش رادون در ساختمان هایی که ساکنان آن ها بضاعت مالی لازم را ندارند، از طریق این حمایت ها انجام می گردد.
	استفاده از مشوق های مالیاتی	افزایش داوطلبان تست و کاهش رادون
۳ تست و کاهش رادون با استفاده از خدمات تخصصی	نهایی کردن و انتشار استانداردهای مورد توافق برای تست و کاهش رادون و حصول اطمینان از دقت دستگاه های اندازه گیری	استانداردهای حرفه ای تایید شده و با کیفیت برای پشتیبانی سرویس های رادون شناخته و منتشر می گردد.
	آموزش تست و کاهش رادون در برنامه آموزش سلامت و ایمنی خانه ها	برنامه های آموزشی ایمنی و سلامت خانه برای شاغلان خدمات خانگی شامل رادون خواهد شد.
	ترویج و تبلیغ حرفه رادون به شاغلان نظیر بازرسان خانه ها	تعداد افراد حرفه ای در زمینه رادون در سراسر کشور افزایش خواهد یافت.



معاونت حمل و نقل و ترافیک
شهرداری تهران



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران



دانشگاه صنعتی شریف

جدول الف-۱ نقشه عملی ملی رادون: راهکارهای برتر برای نجات جان انسان ها (ادامه)

نام مرحله	راهکارها	دستاوردهای مورد نظر
۴ افزایش بینش عمومی به معضل رادون	تبلیغ تست و کاهش رادون از طریق بیان جامع خطرات رادون برای خریداران خانه و وام گیرندگان	قوانین محلی و ایالتی می خواهند تا فروشندگان اطلاعات مربوط به رادون را در اختیار خریداران قرار دهند.
	تشویق برنامه های کنترل سرطان ایالتی برای اولویت بخشیدن به معضل رادون	برنامه های سرطان ایالتی شامل راهکارهای کاهش رادون می گردند.
	تمرکز بر رادون در پیام های هماهنگ و هدایت شده در مورد خطرات رادون در خانه ها، مدارس و مهدهای کودک	افزایش مقدار، هماهنگی و اثربخشی تبلیغات به افراد خواهد گفت که خطر رادون جدی است و باید در اولویت رسیدگی قرار بگیرد.
	تبلیغ رادون در جوامع پزشکی و بهداشت عمومی	شاغلان مهدهای کودک، بهداشت عمومی و پزشکان به آشنایان و بیمارانی که مرتب آن ها را می بینند در مورد خطرات رادون اطلاع می دهند.