دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی کرمان

بسمه تعالی

دانشگاه علوم پزشکی کرمان

دانشکده پزشکی افضلی پور

# مخاطرات و ایمنی در آزمایشگاه

تهیه و تدوین

کمیته ایمنی زیستی دانشکده پزشکی افضلی پور

**فهرست عناوین**

**۱- مقدمه و اهمیت ..... ۱۲**

۱-۱ مفاهیم پایه ایمنی در آزمایشگاه (Laboratory Safety) ..... ۱۲

۱-۲ تعریف ایمنی در آزمایشگاه ..... ۱۲

۱-۳ اهمیت رعایت اصول ایمنی ..... ۱۳

۱-۴ نهادهای جهانی مرتبط با ایمنی ..... ۱۳

۱-۵ سیستم جهانی هماهنگ طبقه‌بندی و برچسب‌گذاری مواد شیمیایی (GHS) ..... ۱۷

۱-۵-۱ ساختار و اجزای اصلی GHS ..... ۱۷

۱-۵-۲ دستاوردهای مهم GHS ..... ۱۷

**۲ - اصول کلی رعایت ایمنی در آزمایشگاه ..... ۱۸**

۲-۱ شناخت خطر قبل از شروع کار و رعایت اصول RAMP ..... ۱۸

۲-۲ مفهوم RAMP ..... ۱۹

۲-۲-۱ شناخت خطر (Recognize hazards) ..... ۲۰

۲-۲-۱-۲ پیکتوگرام‌های GHS ..... ۲۰

۲-۲-۱-۳ برچسب‌ها و پیکتوگرام‌ها (Chemical Labels) ..... ۲۲

۲-۲-۱-۴ لوزی خطر NFPA (NFPA Hazard Diamond) ..... ۲۳

۲-۲-۱-۵ مستطیل HMIS (Hazardous Materials Identification System) ..... ۲۴

۲-۲-۱-۶ کدهای R و S (Risk & Safety Phrases) ..... ۲۵

۲-۲-۱-۷ برگه اطلاعات ایمنی مواد (Material Safety Data Sheet - MSDS) ..... ۲۶

۲-۲-۲ ارزیابی ریسک (Assess the risks) ..... ۲۹
۲-۲-۳ کاهش یا کنترل خطر (Minimize or control hazards) ..... ۳۰
۲-۲-۳-۱ SOP چیست و چه کاربردی در ایمنی آزمایشگاه دارد؟ ..... ۳۰
۲-۲-۳-۲ انواع هودهای آزمایشگاهی و کاربرد ایمنی آن‌ها ..... ۳۱
۲-۲-۳-۳ تفاوت اصلی بین هود شیمیایی و بیولوژیکی ..... ۳۷
۲-۲-۳-۴ نکات ایمنی در استفاده از هودها ..... ۳۷
۲-۲-۴ آمادگی برای شرایط اضطراری (Prepare for emergencies) ..... ۳۸
**۳ - طبقه‌بندی خطرات در آزمایشگاه (Laboratory Hazard Classification) ..... ۳۸**
۳-۱ خطرات زیستی (Biological Hazards) ..... ۳۹
۳-۱-۱ منابع اصلی خطرات زیستی در آزمایشگاه ..... ۳۹
۳-۱-۲ راه‌های انتقال عوامل زیستی ..... ۴۰
۳-۱-۳ اثرات و پیامدهای خطرات زیستی ..... ۴۰
۳-۱-۴ اقدامات ایمنی و پیشگیرانه ..... ۴۱
۳-۱-۵ واکنش اضطراری در حوادث زیستی ..... ۴۲
۳-۱-۶ سطوح ایمنی زیستی در آزمایشگاه (Biosafety Levels, BSL 1-4) ..... ۴۲
۳-۱-۶-۱ سطح ایمنی زیستی پایه (Biosafety Level ۱, BSL-۱) ..... ۴۲
۳-۱-۶-۲ سطح ایمنی زیستی متوسط (Biosafety Level ۲, BSL-۲) ..... ۴۳
۳-۱-۶-۳ سطح ایمنی زیستی بالا (Biosafety Level ۳, BSL-۳) ..... ۴۴
۳-۱-۶-۴ سطح ایمنی زیستی بسیار بالا (Biosafety Level ۴, BSL-۴) ..... ۴۵
۳-۱-۷ ضدعفونی و استریلیزاسیون برای مخاطرات زیستی ..... ۴۵

۳-۲ خطرات شیمیایی (Chemical Hazards) ..... ۴۷
۳-۲-۱ طبقه بندی انواع خطر شیمیایی در آزمایشگاه ..... ۴۷
۳-۲-۱-۱ مواد سمی (Toxic Substances) ..... ۴۷
۳-۲-۱-۲ مواد خورنده (Corrosive Substances) ..... ۴۸
۳-۲-۱-۳ مواد قابل اشتعال (Flammable Substances) ..... ۴۸
۳-۲-۱-۴ مواد اکسیدکننده (Oxidizers) ..... ۴۹
۳-۲-۱-۵ مواد واکنش‌پذیر یا ناپایدار (Reactive / Unstable Substances) ..... ۴۹
۳-۲-۱-۶ مواد سرطان‌زا (Carcinogenic Substances) ..... ۵۰
۳-۲-۱-۷ مواد جهش‌زا و تراتوژن (Mutagenic / Teratogenic Substances) ..... ۵۰
۳-۲-۱-۸ مواد زیست‌محیطی خطرناک (Environmental Hazardous Substances) ..... ۵۱
۳-۲-۲ اصول کار ایمن با مواد شیمیایی ..... ۵۱
۳-۲-۲-۱ پیش از شروع کار ..... ۵۱
۳-۲-۲-۲ حین کار ..... ۵۲
۳-۲-۲-۳ پس از پایان کار ..... ۵۲
۳-۲-۳ انبارش و برچسب‌گذاری مواد شیمیایی ..... ۵۲
۳-۲-۴ حمل و انتقال مواد شیمیایی ..... ۵۳
۳-۲-۵ مدیریت پاشش مواد (Spill Management) ..... ۵۳
۳-۲-۶ دفع پسماندهای شیمیایی ..... ۵۴
۳-۲-۷ پاسخ به شرایط اضطراری ..... ۵۴
۳-۲-۷-۱ در تماس با پوست یا چشم: ..... ۵۴

۳-۲-۷-۲ در استنشاق بخارات سمی: ۵۴
۳-۲-۷-۳ در بلع مواد شیمیایی: ۵۵
۳-۳ خطرات فیزیکی (Physical Hazards) ۵۵
۳-۳-۱ انواع خطرات فیزیکی و منابع آن‌ها ۵۵
۳-۳-۱-۱ شعله و گرما (Fire & Heat Hazards) ۵۵
۳-۳-۱-۲ سرما و انجماد (Cold & Cryogenic Hazards) ۵۶
۳-۳-۱-۳ تشعشع (Radiation Hazards) ۵۶
۳-۳-۱-۴ صدا و لرزش (Noise & Vibration Hazards) ۵۷
۳-۳-۱-۵ نور شدید و لیزر (High-intensity Light & Laser Hazards) ۵۸
۳-۳-۱-۶ لغزش، سقوط و موانع محیطی (Slips, Trips & Falls) ۵۸
۳-۳-۲ واکنش اضطراری در حوادث فیزیکی ۵۹
۳-۴ خطرات مکانیکی (Mechanical Hazards) ۵۹
۳-۴-۱ انواع خطرات مکانیکی و منابع آن‌ها ۶۰
۳-۴-۱-۱ تجهیزات چرخشی و لرزشی (Rotating Equipment) ۶۰
۳-۴-۱-۲ وسایل تیز و برنده (Sharps Hazards) ۶۰
۳-۴-۱-۳ تجهیزات تحت فشار (Pressurized Systems) ۶۱
۳-۴-۱-۴ شکستگی ظروف و مواد شکننده (Glassware Breakage) ۶۲
۳-۵ خطرات الکتریکی (Electrical Hazards) ۶۲
۳-۵-۱ انواع خطرات الکتریکی و اثرات آن‌ها ۶۳
۳-۵-۱-۱ شوک الکتریکی (Electric Shock) ۶۳

۳-۵-۱-۲ سوختگی‌های الکتریکی (Electrical Burns) ۶۳
۳-۵-۱-۳ آتش‌سوزی و انفجار (Electrical Fire & Explosion) ۶۴
۳-۵-۲ واکنش اضطراری در حوادث الکتریکی ۶۴
۳-۵-۲-۱ قطع فوری جریان برق ۶۴
۳-۶ خطرات ارگونومیک و روانی (Ergonomic & Psychosocial Hazards) ۶۵
۳-۶-۱ انواع خطرات ارگونومیک ۶۵
۳-۶-۱-۱ وضعیت بدنی نادرست (Poor Posture) ۶۵
۳-۶-۱-۲ حرکات تکراری و نیروی بیش از حد (Repetitive Motion & Overexertion) ۶۶
۳-۶-۱-۳ بلند کردن و جابه‌جایی اجسام سنگین (Manual Handling) ۶۶
۳-۶-۱-۴ نور و صدای نامناسب (Lighting & Noise) ۶۷
۳-۶-۱-۵ فشار کاری و استرس شغلی(Workload & Stress) ۶۷
۳-۶-۱-۶ شیفت‌های طولانی و بی‌نظمی ساعت کاری ۶۸
۳-۶-۲ اثرات خطرات ارگونومیک و روانی بر سلامت ۶۸
۳-۶-۳ اقدامات کلی پیشگیرانه ۶۸
۳-۶-۴ واکنش اضطراری یا اقدامات اصلاحی ۶۹
**۴ - قوانین عمومی ایمنی در آزمایشگاه ۶۹**
۴-۱ قوانین کلی پیش، حین و پس از کار در آزمایشگاه ۷۰
۴-۲ قوانین ویژه برای ایمنی کار با تجهیزات پرکاربرد ۷۳
۴-۲-۱ سانتریفیوژ ۷۳
۴-۲-۲ اتوکلاو ۷۳

۴-۲-۳ میکروسکوپ نوری و فلورسانس ..... ۷۳
۴-۲-۴ فریزرها و تانک‌های نیتروژن ..... ۷۴
۴-۲-۵ شیکر و هموژنایزر ..... ۷۴
۴-۲-۶ کابینت بیولوژیکی ..... ۷۴
**۵ - تجهیزات حفاظت فردی (PPE)، تعریف، اهمیت و اصول استفاده از آن‌ها ..... ۷۴**
۵-۱ اهمیت و نقش تجهیزات حفاظت فردی در ایمنی آزمایشگاه ..... ۷۵
۵-۲ اجزای اصلی تجهیزات حفاظت فردی ..... ۷۶
۵-۲-۱ روپوش و لباس آزمایشگاه (Laboratory Coat) ..... ۷۶
۵-۲-۲ دستکش (Gloves) ..... ۷۶
۵-۲-۲-۱ انواع اصلی دستکش در آزمایشگاه و ویژگی‌های آن‌ها ..... ۷۷
۵-۲-۲-۲ انتخاب صحیح دستکش بر اساس نوع خطر ..... ۸۰
۵-۲-۲-۳ نکات ایمنی در استفاده از دستکش‌ها ..... ۸۰
۵-۲-۲-۴ نحوه صحیح پوشیدن و درآوردن دستکش ..... ۸۰
۵-۲-۳ محافظ چشم و صورت (Eye and Face Protection) ..... ۸۱
۵-۲-۳-۱ انواع تجهیزات محافظتی ..... ۸۱
۵-۲-۴ حفاظت تنفسی (Respiratory Protection) ..... ۸۲
۵-۲-۵ حفاظت پا و بدن (Foot and Body Protection) ..... ۸۲
۵-۲-۶ محافظ شنوایی (Hearing Protection) ..... ۸۳
۵-۳ انتخاب و ارزیابی تجهیزات حفاظت فردی ..... ۸۳
۵-۴ نگهداری، تمیزسازی و انبارش ..... ۸۳

۵-۵ محدودیت‌ها و خطاهای رایج در استفاده از PPE ..... ۸۴

**۶ - خاموش‌کننده‌های آتش، دوش ایمنی، چشم‌شوی و جعبه کمک‌های اولیه ..... ۸۴**

۶-۱ انواع آتش و طبقه‌بندی آن‌ها ..... ۸۴

۶-۱-۱ کلاس A (مواد جامد قابل احتراق) ..... ۸۵

۶-۱-۲ کلاس B (مایعات و گازهای قابل اشتعال) ..... ۸۵

۶-۱-۳ کلاس C (آتش‌سوزی‌های الکتریکی) ..... ۸۶

۶-۱-۴ کلاس D (فلزات قابل اشتعال) ..... ۸۶

۶-۱-۵ کلاس K یا F (روغن‌ها و چربی‌های آشپزی) ..... ۸۷

۶-۲ خاموش کننده ها (Fire Extinguishers) ..... ۸۷

۶-۲-۱ خاموش‌کننده آبی (Water Extinguisher) ..... ۸۹

۶-۲-۲ خاموش‌کننده فوم (Foam Extinguisher) ..... ۸۹

۶-۲-۳ خاموش‌کننده دی‌اکسید کربن ($CO_2$ Extinguisher) ..... ۸۹

۶-۲-۴ خاموش‌کننده پودر خشک (Dry Chemical Extinguisher) ..... ۹۰

۶-۲-۵ خاموش‌کننده فلزات (Class D Extinguisher) ..... ۹۰

۶-۲-۶ خاموش‌کننده کلاس K یا F ..... ۹۱

۶-۲-۷ نکات کلیدی ایمنی در استفاده از خاموش‌کننده‌ها ..... ۹۱

۶-۳ دوش ایمنی (Safety Shower) ..... ۹۲

۶-۴ چشم‌شوی اضطراری (Eye Wash Station) ..... ۹۲

۶-۵ جعبه کمک های اولیه ..... ۹۳

**۷ - ثبت و گزارش حوادث ..... ۹۳**

**۸ - دفع ایمن پسماندهای آزمایشگاهی ..... ۹۵**

۸-۱ اصول کلی تفکیک و برچسب‌گذاری ..... ۹۵

۸-۲ رنگ‌بندی سطل‌ها و ظروف پسماند ..... ۹۵

۸-۲-۱ سطل زرد برای پسماندهای بیولوژیکی و عفونی (Biohazard Waste) ..... ۹۶

۸-۲-۲ سطل قرمز برای وسایل تیز و برنده (Sharps Waste) ..... ۹۶

۸-۲-۳ سطل آبی برای پسماندهای شیمیایی و دارویی غیرقابل استفاده (Chemical Waste) ..... ۹۶

۸-۲-۴ سطل سبز برای پسماندهای غیرخطرناک (Non-Hazardous Waste) ..... ۹۶

۸-۳ مدیریت ویژه برای پسماندهای خاص ..... ۹۷

۸-۴ مراحل نهایی دفع پسماند ..... ۹۷

۸-۵ آموزش و نظارت ..... ۹۷

**۹ - ایمنی در کار با حیوانات آزمایشگاهی ..... ۹۸**

۹-۱ شناسایی خطرات در کار با حیوانات ..... ۹۸

۹-۲ الزامات عمومی ایمنی در حیوان‌خانه ..... ۹۹

۹-۳ محورهای اصلی ایمنی در کار با حیوانات آزمایشگاهی ..... ۱۰۰

۹-۳-۱ ایمنی فردی (Personal Safety) ..... ۱۰۰

۹-۳-۲ ایمنی حیوان (Animal Welfare & Safety) ..... ۱۰۱

۹-۳-۳ ایمنی محیط زیست (Environmental Safety) ..... ۱۰۲

## فهرست اشکال

شکل- ۱: تفاوت مفهوم خطر با ریسک..... ۱۹
شکل- ۲: مفهوم کلمه **RAMP**: هر حرف در کلمه **RAMP** معنی خاصی مرتبط با ایمنی دارد..... ۲۰
شکل- ۳: پیکتوگرام های سیستم **GHS**..... ۲۲
شکل- ۴: مثالی از برچسب ایمنی بر روی محصول..... ۲۳
شکل- ۵ نماد تصویری لوزی خطر..... ۲۴
شکل- ۶: مستطیل **HMIS** و معنی حروف در کادر سفید رنگ..... ۲۵
شکل- ۷: هود شیمیایی و نحوه استفاده صحیح از آن..... ۳۳
شکل- ۸: کلاس های اصلی هودهای بیولوژیک..... ۳۴
شکل- ۹: تفاوت در میزان و نحوه جریان و برگشت هوا در هودهای **BSC**..... ۳۶
شکل- ۱۰: هود لامینار افقی و عمودی..... ۳۷
شکل- ۱۱: برخی وسایل حفاظت فردی یا **PPE**..... ۷۵
شکل- ۱۲: نحوه خارج کردن دستکش به صورت ایمن..... ۸۱
شکل- ۱۳: انواع کلاس آتش..... ۸۵
شکل- ۱۴: نحوه اطفاء حریق با کپسول آتشنشانی بر اساس پروتکل **PASS**..... ۸۸
شکل- ۱۵: نحوه استفاده از دوش و چشم شور اضطراری..... ۹۳

## فهرست جداول

جدول ۱ - خصوصیات هودهای کلاس ۲ ..... ۳۵

جدول ۲ - روش‌های دفع انواع پسماند ..... ۵۴

جدول ۳ - انواع ماسک و ویژگی‌ها و کاربرد آن‌ها ..... ۸۲

جدول ۴ - روش های استاندارد یوتانازی ..... ۱۰۱

# ۱ - مقدمه و اهمیت

این مجموعه در راستای آموزش دانشجویان مقاطع دکتری حرفه ای، تحصیلات تکمیلی و پرسنل شاغل در آزمایشگاه های دانشکده پزشکی افضلی پور دانشگاه علوم پزشکی کرمان گردآوری شده و همه مشمولین در مقاطعی ملزم به مطالعه، امتحان و صلاحیت سنجی این بخش خواهند بود. امید است مطالعه مطالب گرداوری شده با هدف ایجاد آگاهی و نیز برگزاری دوره های‌آموزش عملی در آزمایشگاه ها، باعث ارتقا آگاهی و مهارت ایشان شده و در راستای تضمین کیفیت در آزمایشگاه های دانشکده پزشکی به کار بگیرند.

## ۱-۱ - مفاهیم پایه ایمنی در آزمایشگاه (Laboratory Safety)

ایمنی در آزمایشگاه یکی از بنیادی‌ترین اصول در آموزش و پژوهش علوم پایه و علوم پزشکی است. محیط‌های آزمایشگاهی، به دلیل ماهیت کار با مواد شیمیایی، بیولوژیکی، رادیواکتیو یا تجهیزات مکانیکی و الکتریکی، ذاتاً محیط‌هایی پرخطر محسوب می‌شوند. هدف از آموزش ایمنی، پیشگیری از بروز آسیب به کارکنان، دانشجویان، محیط‌زیست و تجهیزات آزمایشگاه است. رعایت اصول ایمنی نه‌تنها از بروز حوادث انسانی جلوگیری می‌کند، بلکه شرط لازم برای اعتبار علمی داده‌های حاصل از پژوهش نیز به شمار می‌رود، زیرا وقوع حادثه یا آلودگی می‌تواند نتایج علمی را غیرقابل اعتماد کند. ایمنی آزمایشگاه تنها مجموعه‌ای از مقررات نیست، بلکه یک فرهنگ و نگرش حرفه‌ای است که در آن پژوهشگر خود را مسئول حفظ سلامت خویش، همکاران، و محیط پیرامون می‌داند. هر فردی که وارد محیط آزمایشگاه می‌شود باید بداند که ایمنی، مقدم بر هرگونه فعالیت تحقیقاتی است.

## ۱-۲ - تعریف ایمنی در آزمایشگاه

ایمنی در آزمایشگاه عبارت است از مجموعه‌ای از اصول، روش‌ها، دستورالعمل‌ها و رفتارهای سازمان‌یافته که هدف آن کاهش احتمال بروز آسیب، آلودگی، یا خطر برای انسان و محیط در حین انجام فعالیت‌های آزمایشگاهی است. این مفهوم شامل مواردی چون آشنایی با ماهیت مواد خطرناک، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، رعایت روش‌های صحیح کار، نگهداری ایمن مواد، و آمادگی در برابر شرایط اضطراری می‌شود. ایمنی مؤثر در آزمایشگاه تنها با تدوین آیین‌نامه تحقق نمی‌یابد، بلکه نیازمند آموزش مستمر، تمرین

عملی، و فرهنگ‌سازی رفتاری در میان دانشجویان، کارشناسان و پژوهشگران است. در محیط‌های آموزشی دانشگاهی، ارتقای سواد ایمنی یکی از شاخص‌های حرفه‌ای بودن فرد به شمار می‌رود.

## ۱-۳ - اهمیت رعایت اصول ایمنی

رعایت اصول ایمنی در آزمایشگاه دارای اهمیت چندبعدی است:

- **حفاظت از جان و سلامت افراد:** بسیاری از مواد و تجهیزات آزمایشگاهی می‌توانند باعث سوختگی شیمیایی، انفجار، آسیب‌های تنفسی یا عفونت‌های شدید شوند.
- **حفاظت از محیط زیست:** دفع نادرست پسماندهای شیمیایی و بیولوژیکی می‌تواند منجر به آلودگی آب، خاک و اکوسیستم شود.
- **حفظ سلامت محیط کار:** یک محیط ایمن، بهره‌وری و دقت کارکنان را افزایش می‌دهد و از استرس کاری می‌کاهد.
- **اعتبار علمی-پژوهش:** رعایت دستورالعمل‌های ایمنی موجب تکرارپذیری نتایج و جلوگیری از آلودگی متقاطع نمونه‌ها می‌شود.
- **الزام قانونی و اخلاقی:** در نظام آموزش عالی و مراکز تحقیقاتی، رعایت اصول ایمنی یک وظیفه اخلاقی و قانونی است و بی‌توجهی به آن تخلف محسوب می‌شود.

به همین دلیل، هر فردی که در آزمایشگاه فعالیت دارد باید پیش از شروع کار، آموزش‌های ایمنی را بگذراند و صلاحیت کار در محیط آزمایشگاهی را کسب کند.

## ۱-۴ - نهادهای جهانی مرتبط با ایمنی

همانطور که گفته شد، هدف از رعایت اصول ایمنی، پیشگیری از بروز حوادث، آسیب به افراد، آلودگی محیط، و خسارت به تجهیزات است. با این حال، ایمنی تنها مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها نیست، بلکه نوعی فرهنگ سازمانی و نگرش مسئولانه نسبت به کار در محیط آزمایشگاه محسوب می‌شود. ایمنی مؤثر نیازمند سه عنصر اصلی است:

۱. **دانش (Knowledge)**: شناخت خطرات و آگاهی از پیامدهای آن‌ها.

۲. **مهارت (Skill):** تسلط بر روش‌های ایمن کار.

۳. **رفتار (Attitude):** تعهد به رعایت اصول ایمنی در همه شرایط.

برای تحقق این اهداف، مجموعه‌ای از نهادهای ملی و بین‌المللی ایجاد شده‌اند که وظیفه تدوین استانداردها، نظارت بر اجرا و آموزش مفاهیم ایمنی را بر عهده دارند. در سطح جهانی، چندین سازمان و نهاد تخصصی در زمینه ایمنی شغلی، بهداشت حرفه‌ای، و مدیریت مواد خطرناک فعالیت می‌کنند. این سازمان‌ها با همکاری یکدیگر چارچوب‌های بین‌المللی از جمله سیستم GHS را ایجاد کرده‌اند. مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- **سازمان OSHA (Occupational Safety and Health Administration)**

سازمان ایمنی و بهداشت شغلی ایالات متحده، زیرمجموعه وزارت کار آمریکا، در سال ۱۹۷۰ تأسیس شد. وظیفه اصلی OSHA تدوین، اجرا و نظارت بر قوانین ایمنی محیط‌های کاری است. این سازمان دستورالعمل‌های دقیقی برای کار با مواد شیمیایی، تهویه، حفاظت فردی، مدیریت پسماند و واکنش اضطراری دارد. در سال ۲۰۱۲، OSHA با پذیرش سیستم جهانیGHS ، الزامات جدیدی را برای برچسب‌گذاری مواد و تدوین SDS به جای MSDS وضع کرد.

- **سازمان ILO (International Labour Organization)**

سازمان بین‌المللی کار، نهادی وابسته به سازمان ملل متحد است که از سال ۱۹۱۹ برای ارتقای شرایط کاری ایمن و عادلانه فعالیت می‌کند ILO .نقش کلیدی در تدوین سیاست‌های جهانی ایمنی و بهداشت شغلی دارد و بسیاری از توصیه‌نامه‌ها و توافق‌نامه‌های بین‌المللی ایمنی با مشارکت این سازمان تدوین می‌شود.

- **سازمان WHO (World Health Organization)**

سازمان جهانی بهداشت به ارزیابی اثرات سمّی و زیستی مواد شیمیایی بر سلامت انسان می‌پردازد و راهنماهای بین‌المللی برای کنترل عوامل بیماری‌زا و خطرناک را تهیه می‌کند. در زمینه ایمنی زیستی، WHO مرجع اصلی تدوین استانداردهای BSL (Biosafety Levels) و دستورالعمل کار با عوامل عفونی است.

- **سازمانOECD (Organisation for Economic Co-operation and Development)**

این سازمان مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های هماهنگ برای آزمایش سمیت، ارزیابی زیست‌محیطی و طبقه‌بندی مواد شیمیایی تدوین کرده است. داده‌های OECD پایه علمی بخشی از معیارهای GHS محسوب می‌شوند.

- **سازمان ISO (International Organization for Standardization)**

سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) است. این سازمان در سال ۱۹۴۷ در ژنو (سوئیس) تأسیس شد و اکنون بیش از ۱۶۰ کشور عضو دارد. هدف آن تدوین استانداردهای بین‌المللی هماهنگ برای بهبود کیفیت، ایمنی، کارایی و سازگاری فرآیندها و محصولات است. ISO یک نهاد سیاست‌گذار و تدوین‌کننده استاندارد است، نه نهاد نظارتی یا اجرایی. همچنین، استانداردهای ISO به‌صورت داوطلبانه اجرا می‌شوند مگر اینکه در کشوری به قانون داخلی تبدیل شوند و این استانداردها توسط کمیته‌های فنی تخصصی تدوین می‌شوند. مثلاً:

نمونه‌ها:

**ISO 9001**: سیستم مدیریت کیفیت (برای همه سازمان‌ها)

**ISO 14001**: سیستم مدیریت زیست‌محیطی

**ISO 45001**: سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی

**ISO/IEC 17025**: الزامات عمومی برای صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون

**ISO 15189**: الزامات خاص برای کیفیت در آزمایشگاه‌های پزشکی

- **کمیته UN Subcommittee of Experts on GHS**

کمیته متخصصان سازمان ملل متحد (UNSCETDG) مسئول به‌روزرسانی منظم سیستم جهانی هماهنگ (GHS) و انتشار نسخه‌های جدید آن در قالب «کتاب بنفش» است.

- **انجمن بین‌المللی ایمنی زیستی IFBA (International Federation of Biosafety Associations)**

IFBAیک سازمان غیرانتفاعی جهانی است که بر ارتقای امنیت و ایمنی زیستی از طریق آموزش، ظرفیت‌سازی، صدور گواهینامه حرفه‌ای (مثل گواهی متخصص ایمنی زیستی) و ترویج بهترین شیوه‌ها تمرکز دارد. این انجمن با سازمان‌هایی مانند WHO همکاری نزدیک دارد.

- **سازمان ملی استاندارد ایران (Iranian National Standards Organization-ISIRI)**

سازمان ملی استاندارد ایران، نهاد قانونی اصلی کشور در زمینه تدوین و اجرای استانداردهای ملی است. مأموریت محوری این سازمان، اعتباربخشی به کیفیت و ایمنی محصولات و خدمات نهایی است. این سازمان با تدوین استانداردها، انجام بازرسی، نمونه‌برداری و آزمون بر روی کالاها، و در نهایت صدور نشان استاندارد، مستقیماً بر روی خروجی‌های تولیدی و خدماتی نظارت می‌کند. در واقع، سازمان ملی استاندارد به عنوان «قاضی کیفیت» عمل کرده و با اطمینان‌بخشی به انطباق کالاها با معیارهای ملی و بین‌المللی، از حقوق مصرف‌کننده و سلامت جامعه حمایت می‌کند.

- **مرکز ملی تأیید صلاحیت ایران (National Accreditation Center of Iran-NACI)**

مرکز ملی تأیید صلاحیت ایران، نهاد بالادستی و اعتباردهنده‌ای است که مسئولیت ارزیابی و تأیید صلاحیت نهادهای ارزیابی‌کننده را بر عهده دارد. تمرکز اصلی این مرکز بر سازمان‌ها و آزمایشگاه‌هایی است که خود، به ارزیابی انطباق می‌پردازند؛ از جمله آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون، مراکز بازرسی و مؤسسات صدور گواهینامه NACI. با ارزیابی دقیق صلاحیت فنی، بی‌طرفی و قابلیت مدیریتی این مراکز بر اساس استانداردهای بین‌المللی (مانند ISO/IEC ۱۷۰۲۵ برای آزمایشگاه‌ها)، به آن‌ها گواهینامه تأیید صلاحیت اعطا می‌کند. به بیان ساده، این مرکز «صلاحیت‌دهنده صلاحیت‌دهندگان» است و هدف آن ایجاد و حفظ اعتماد به شایستگی و قابلیت اعتماد نتایج صادره از این نهادهای ارزیابی است.

## ۱-۵ - سیستم جهانی هماهنگ طبقه‌بندی و برچسب‌گذاری مواد شیمیایی (GHS)

سیستم جهانی هماهنگ (Globally Harmonized System) که به اختصار GHS نامیده می‌شود، چارچوبی بین‌المللی است برای هماهنگ‌سازی روش‌های شناسایی خطر، برچسب‌گذاری، و اطلاع‌رسانی درباره مواد شیمیایی در سراسر جهان. پیش از اجرای این سیستم، کشورهای مختلف معیارهای متفاوتی برای تعیین خطر داشتند؛ در نتیجه، یک ماده ممکن بود در یک کشور «خورنده» و در کشور دیگر «سمی» طبقه‌بندی شود. GHS برای رفع این ناهماهنگی و افزایش شفافیت اطلاعات ایمنی ایجاد شد. نخستین بار در سال ۱۹۹۲، در کنفرانس محیط زیست و توسعه سازمان ملل در ریو دوژانیرو (Earth Summit) ضرورت ایجاد یک نظام جهانی برچسب‌گذاری مطرح شد. پس از ده سال کار گروهی میان ILO، WHO، OECD و سازمان ملل، نسخه اول GHS در سال ۲۰۰۳ با عنوان "The Purple Book" منتشر شد. از آن زمان تاکنون، این سیستم به‌طور مستمر به‌روزرسانی شده و در بیش از ۸۰ کشور به‌عنوان مبنای قانونی ایمنی شیمیایی به‌کار می‌رود.

### ۱-۵-۱ - ساختار و اجزای اصلی GHS

۱. **طبقه‌بندی خطرات:** شامل خطرات فیزیکی (مثل اشتعال‌پذیری و انفجار)، خطرات بهداشتی (مثل سمیت و سرطان‌زایی)، و خطرات زیست‌محیطی.
۲. **برچسب‌گذاری و پیکتوگرام‌ها:** شامل نمادهای استاندارد هشداردهنده، واژه‌های سیگنال (مانند Danger یا Warning) و جملات H و P برای بیان خطر و اقدامات پیشگیرانه.
۳. **برگه‌های اطلاعات ایمنی(SDS):** سندی ۱۶بخشی با ساختار یکسان جهانی که جایگزین MSDS قدیمی شد.

پیش از GHS، هر کشور فرمت خاصی برای MSDS داشت. اما GHS ساختار را یکنواخت کرد تا کاربران در هر نقطه جهان با همان ترتیب ۱۶بخشی بتوانند اطلاعات ایمنی را بخوانند و بفهمند. این تغییر از سال ۲۰۱۲ در آمریکا (توسط OSHA) و سپس در اروپا و آسیا اجرایی شد.

### ۱-۵-۲ - دستاوردهای مهم GHS

- ایجاد زبان جهانی مشترک در ایمنی شیمیایی

- استانداردسازی پیکتوگرام‌ها، واژه‌های هشدار و SDS ها
- تسهیل تجارت و حمل‌ونقل بین‌المللی مواد شیمیایی
- ارتقای آموزش ایمنی در محیط‌های کاری و دانشگاهی
- افزایش حفاظت از سلامت انسان و محیط زیست

## ۲ - اصول کلی رعایت ایمنی در آزمایشگاه

برای دستیابی به محیطی ایمن، رعایت اصول زیر ضروری است که هر کدام در ادامه به طور کامل توضیح داده خواهند شد.

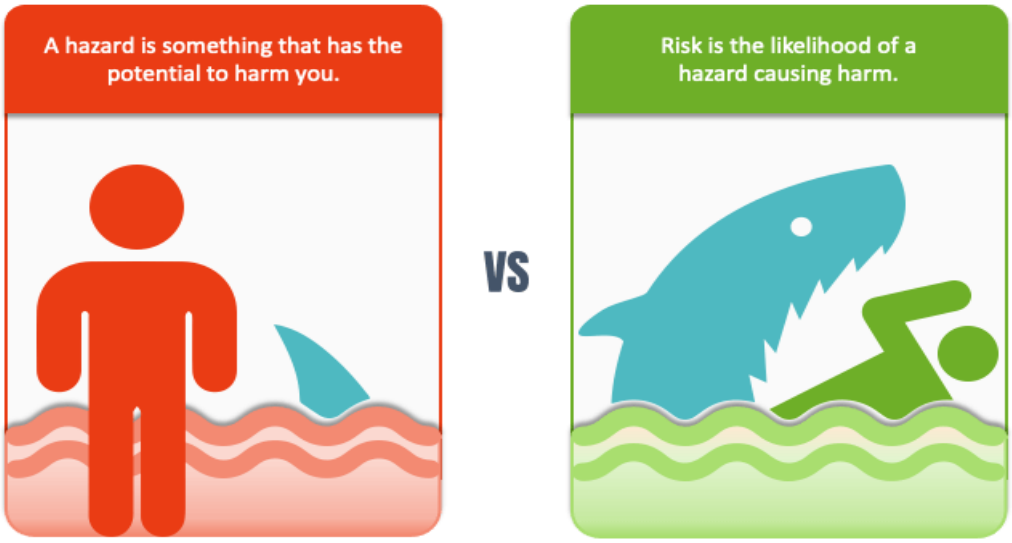
- **شناخت خطر قبل از شروع کار و رعایت اصول RAMP:** با توجه به وجود خطرات گسترده در یک آزمایشگاه، قبل از ورود و کار باید موارد خطر به خوبی شناسایی شوند. شناخت خطرات در ادامه توضیح داده می شود.
- **رعایت قوانین کلی کار در محیط آزمایشگاه:** بعد از شناخت خطر هر فرد می بایست قوانین و پروتکل های ایمنی فردی و جمعی را در آزمایشگاه رعایت کند.
- **استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (PPE):** روپوش، دستکش، عینک، ماسک، کفش بسته.
- **کار در محیط مناسب:** استفاده از هود شیمیایی یا بیولوژیکی متناسب با نوع خطر.
- دانستن نحوه استفاده از خاموش‌کننده‌ها، دوش ایمنی، چشم‌شوی و جعبه کمک‌های اولیه
- گزارش هرگونه حادثه یا ریخت‌وپاش مواد به مسئول ایمنی.
- دفع ایمن پسماندهای شیمیایی و بیولوژیکی مطابق دستورالعمل.

### ۲-۱ - شناخت خطر قبل از شروع کار و رعایت اصول RAMP

در علم ایمنی، دو واژه "مخاطره (Hazard)" و "ریسک (Risk)" مفاهیم متفاوتی دارند (شکل شماره ۱):

- **مخاطره (Hazard):** ذاتاً به خاصیت ماده یا فرایند اشاره دارد که می‌تواند باعث آسیب شود؛ مثلاً اسید سولفوریک ذاتاً خورنده است.

- **ریسک (Risk):** احتمال وقوع آسیب در اثر تماس واقعی با آن ماده است و به غلظت، زمان تماس و نحوه کار بستگی دارد. بنابراین، ممکن است ماده‌ای خطرناک باشد، ولی اگر کنترل مناسب وجود داشته باشد، ریسک آن پایین است.




**شکل- ۱: تفاوت مفهوم خطر با ریسک.**

## ۲-۲ - مفهوم RAMP

درک ایمنی در آزمایشگاه مستلزم شناخت چهار محور است که با واژه مخفف RAMP شناخته می شود. چارچوب RAMP یکی از اصول بنیادی در ایمنی آزمایشگاهی است که برای آموزش، ارزیابی و مدیریت خطرات به کار می‌رود. این واژه، مخفف چهار گام کلیدی Recognize, Assess, Minimize, Prepare است و به معنای «شناخت، ارزیابی، کاهش و آمادگی» می‌باشد. RAMP نخستین بار توسط انجمن شیمی آمریکا (ACS) معرفی شد تا مفهومی ساده ولی علمی و نظام‌مند برای ارتقای فرهنگ ایمنی در محیط‌های آموزشی و پژوهشی ایجاد کند. هدف از RAMP این است که پژوهشگران، دانشجویان و کارکنان آزمایشگاه بتوانند با رویکردی تحلیلی، خطرات محیط کار را پیش از وقوع حادثه شناسایی و مدیریت کنند. در واقع، RAMP چارچوبی آموزشی و

مدیریتی است که به ما یاد می‌دهد چگونه از رفتار واکنشی در برابر خطر (یعنی بعد از حادثه) به رفتار پیشگیرانه (قبل از حادثه) برسیم (شکل شماره ۲).

**شکل- ۲: مفهوم کلمه RAMP: هر حرف در کلمه RAMP معنی خاصی مرتبط با ایمنی دارد.**

## ۱-۱-۱ - شناخت خطر (Recognize hazards)

نخستین گام در RAMP، شناخت خطر است. برای کنترل و پیشگیری از خطر، ابتدا باید بدانیم چه چیزی می‌تواند موجب آسیب شود. این خطر ممکن است ناشی از یک عامل زیستی، ماده شیمیایی، تجهیزات، رویه کاری یا حتی یک خطای انسانی باشد. در ایمنی زیستی، شناخت خطر به معنای شناسایی دقیق نوع میکروارگانیسم‌ها، منبع نمونه، مسیرهای احتمالی انتقال (تماس پوستی، آئروسل، بلع، یا تزریق تصادفی) و شرایط کاری است که ممکن است خطر ایجاد کنند. هدف از این مرحله آن است که همه افراد درگیر در کار، ماهیت خطر را درک کنند و نسبت به آن حساس باشند. پیکتوگرام ها، برچسب‌ها، نشانه‌های غیرتصویری و فرم SDS از مهمترین راه های شناخت خطر و انتقال اطلاعات ایمنی با کاربر هستند.

### ۲-۱-۲-۲ - پیکتوگرام‌های GHS

همانطور که گفته شد سیستم جهانی هماهنگ‌شده (GHS) بدین منظور تدوین شده است تا خطرات شیمیایی در همه کشورها با نمادهای یکسان شناخته شوند. در این سیستم، پیکتوگرام‌ها درون قاب‌های لوزی‌شکل با حاشیه قرمز و زمینه سفید قرار دارند. هر نماد بیانگر یک گروه خطر خاص است (شکل شماره ۳).

پیکتوگرام شعله نشان‌دهنده مواد قابل اشتعال است و برای موادی مانند اتانول، استون یا بنزن استفاده می‌شود. این نماد هشدار می‌دهد که ماده در تماس با حرارت یا جرقه ممکن است آتش بگیرد یا بخارات قابل اشتعال تولید کند.

نماد شعله روی دایره (Flame over circle) نشان‌دهنده مواد اکسیدکننده است، یعنی موادی که خود نمی‌سوزند اما می‌توانند با آزادکردن اکسیژن باعث شدت گرفتن آتش شوند؛ مانند پرمنگنات پتاسیم و نیترات‌ها.

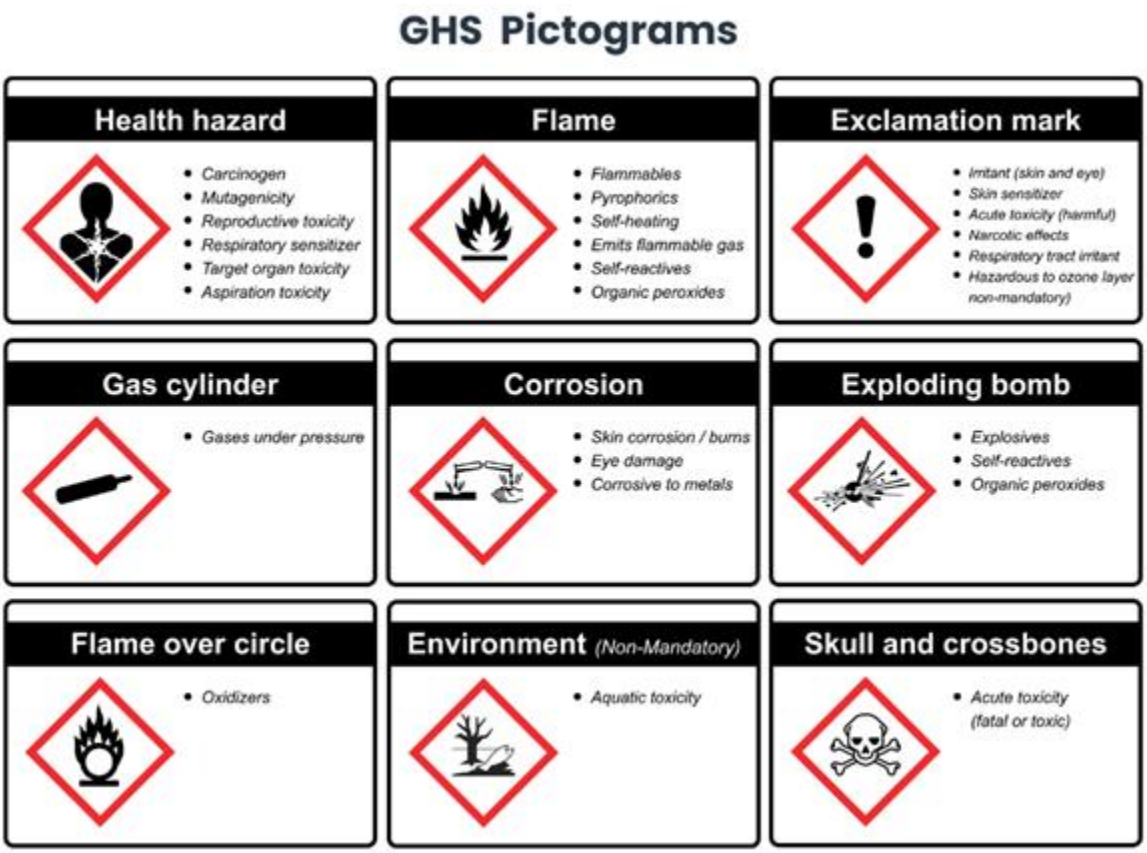
نماد بمب منفجرشونده برای مواد ناپایدار یا انفجاری استفاده می‌شود که ممکن است در اثر ضربه، حرارت یا اصطکاک منفجر شوند، مانند پراکسیدهای آلی یا نیتروگلیسرین.

نماد جمجمه و استخوان نشان‌دهنده سمیت حاد است و به موادی اشاره دارد که حتی مقدار کمی از آن‌ها می‌تواند موجب مرگ شود، مانند سیانیدها یا فسژن.

علامت تعجب برای مواد تحریک‌کننده پوست و چشم یا موادی که اثرات سمی خفیف دارند به‌کار می‌رود، مانند استون یا متانول.
نماد سلامت انسان بیانگر خطرات مزمن است، مثل سرطان‌زایی، جهش‌زایی یا آسیب به اندام‌های داخلی. این پیکتوگرام روی موادی مانند بنزن، فرمالدهید و برخی داروهای سیتوتوکسیک دیده می‌شود.

نماد خوردگی برای مواد خورنده است، موادی که می‌توانند به پوست، چشم یا فلزات آسیب بزنند، مانند اسید سولفوریک و سود سوزآور.
نماد سیلندر گاز نشان‌دهنده گازهای تحت فشار است، مانند نیتروژن، هلیوم یا $CO_2$، که در صورت گرمایش می‌توانند منفجر شوند.
در نهایت، نماد درخت و ماهی برای مواد خطرناک زیست‌محیطی به‌کار می‌رود، مانند جیوه یا کروم شش‌ظرفیتی، که می‌توانند به حیات آبزیان یا خاک آسیب بزنند.

در هنگام برچسب‌گذاری، ممکن است بیش از یک پیکتوگرام روی یک ماده وجود داشته باشد، زیرا بسیاری از مواد بیش از یک نوع خطر دارند؛ برای مثال، بنزن هم قابل اشتعال است و هم سرطان‌زا، بنابراین دو نماد شعله و سلامت انسان روی آن درج می‌شود.




**شکل- ۳: پیکتوگرام های سیستم GHS.**

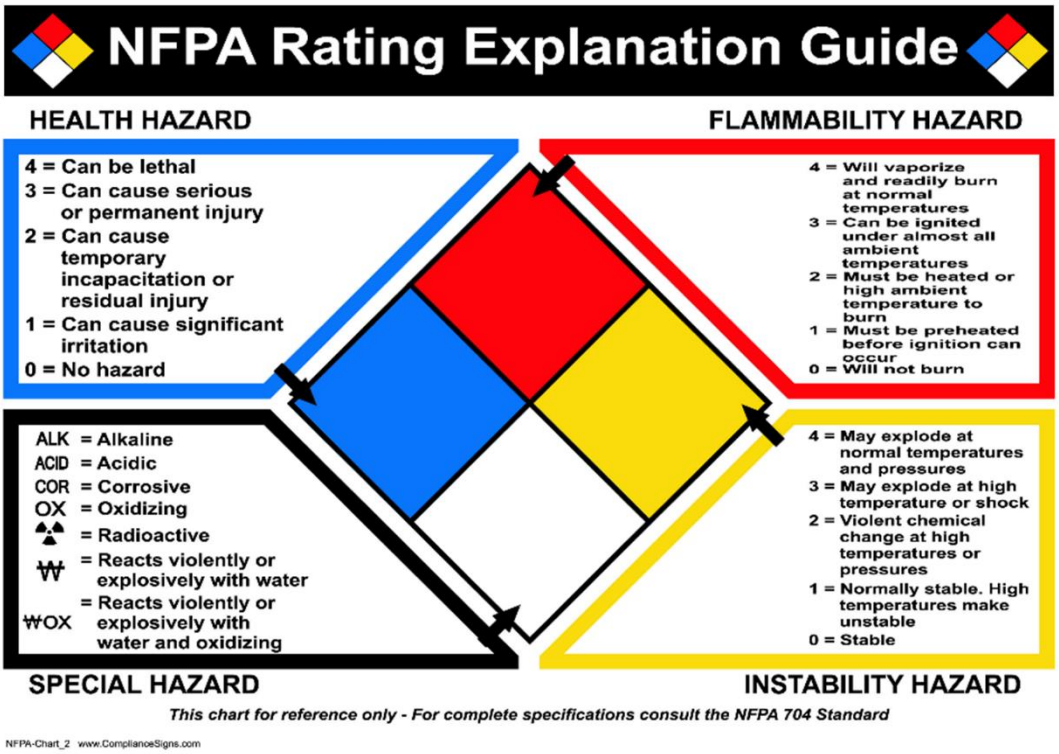
### ۳-۱-۲-۲ - برچسب‌ها و پیکتوگرام‌ها (Chemical Labels)

در آزمایشگاه، همه مواد شیمیایی و حتی بعضی نمونه‌های زیستی باید دارای برچسب هشدار ایمنی باشند. هدف از این برچسب‌ها آن است که در یک نگاه بتوان خطرات اصلی ماده را تشخیص داد. نظام جهانی استانداردی که این برچسب‌ها را تعریف کرده، سیستم GHS نام دارد (شکل شماره ۴). برچسب‌ها معمولاً شامل موارد زیر هستند: نام دقیق ماده و شماره شناسایی (CAS Number)، پیکتوگرام خطر، واژه سیگنال مانند Danger یا Warning، جمله خطر (Hazard Statement)، جمله احتیاطی (Precautionary Statement) و اطلاعات تماس تولیدکننده یا واردکننده. هدف از این استانداردسازی، ایجاد زبانی واحد برای ارتباط خطرات شیمیایی در سراسر جهان است.

**شکل- ۴: مثالی از برچسب ایمنی بر روی محصول.**

### ۴-۱-۲-۲ - لوزی خطر NFPA (NFPA Hazard Diamond)

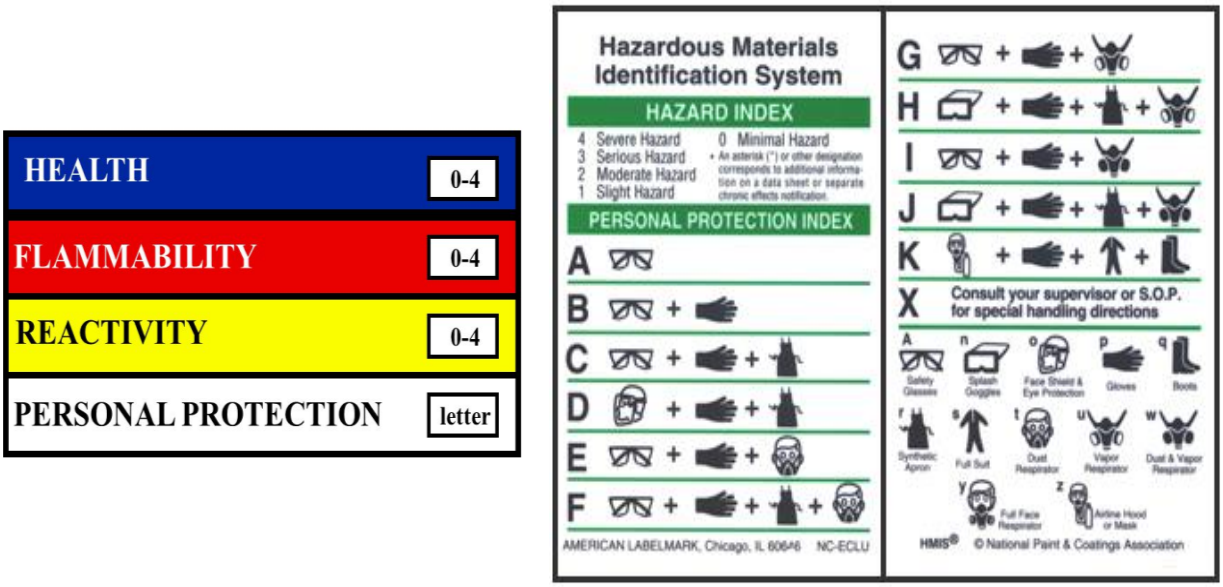
یکی از قدیمی‌ترین و هنوز هم رایج‌ترین سیستم‌های هشدار تصویری، لوزی NFPA است که برای شناسایی سریع خطرات شیمیایی در شرایط اضطراری طراحی شده است. این لوزی از چهار بخش رنگی تشکیل شده و هر بخش با عددی از صفر تا چهار درجه خطر را نشان می‌دهد. در سمت چپ لوزی، رنگ آبی نشان‌دهنده خطر سلامت است. عدد صفر یعنی ماده از نظر سلامت بی‌خطر است، و عدد چهار یعنی حتی تماس اندک با آن می‌تواند کشنده باشد. بخش بالایی قرمز، میزان قابلیت اشتعال را مشخص می‌کند؛ صفر یعنی نسوختنی و چهار یعنی فوق‌العاده آتش‌گیر. بخش راست با رنگ زرد نشان‌دهنده میزان ناپایداری یا واکنش‌پذیری شیمیایی است؛ صفر یعنی پایدار و چهار یعنی ماده ممکن است به‌صورت خودبه‌خود یا با ضربه منفجر شود. بخش پایین با رنگ سفید برای هشدارهای ویژه است؛ در این قسمت از نمادهای اختصاری استفاده می‌شود، مثل «OX» برای مواد اکسیدکننده، «COR» برای مواد خورنده و «W» که به معنی واکنش خطرناک با آب است. این سیستم بیشتر برای آتش‌نشان‌ها و نیروهای امدادی طراحی شده است تا در شرایط حادثه بتوانند بدون مطالعه برگه‌های اطلاعات، ماهیت خطر را در لحظه تشخیص دهند (شکل شماره ۵).




**شکل- ۵: نماد تصویری لوزی خطر.**

### ۵-۱-۲-۲ - مستطیل HMIS (Hazardous Materials Identification System)

سیستم HMIS شباهت زیادی به NFPA دارد، اما بیشتر برای آموزش و استفاده داخلی در آزمایشگاه‌ها و صنایع به کار می‌رود. این سیستم نیز از رنگ‌های مشابه استفاده می‌کند اما تمرکز آن بر خطرات شغلی روزمره و تجهیزات حفاظت فردی است. در HMIS رنگ آبی نمایانگر خطر سلامت، قرمز نشان‌دهنده اشتعال‌پذیری، و زرد یا نارنجی بیانگر ناپایداری فیزیکی یا واکنش‌پذیری است. بخش سفید در پایین مخصوص کد PPE است و معمولاً با حروف A تا K مشخص می‌شود؛ برای مثال، A به معنی نیاز به عینک ایمنی است، B به معنی عینک و دستکش، و E برای حفاظت کامل شامل ماسک، روپوش و دستکش مقاوم. تفاوت کلیدی HMIS با NFPA در این است که NFPA برای وضعیت اضطراری اما HMIS برای استفاده روزمره کارکنان طراحی شده است. عددگذاری در هر دو سیستم از صفر (بی‌خطر) تا چهار (بسیار خطرناک) انجام می‌شود، اما تفسیر آن در HMIS بر اساس تماس شغلی است، نه شدت واکنش در آتش‌سوزی (شکل شماره ۶).




**شکل- ۶: مستطیل HMIS و معنی حروف در کادر سفید رنگ**

### ۶-۱-۲-۲ - کدهای R و S (Risk & Safety Phrases)

پیش از آنکه سیستم جهانی GHS معرفی شود، اروپا از نظامی به نام کدهای R و S استفاده می‌کرد. این کدها که در مقررات اتحادیه اروپا تعریف شده بودند، دو دسته اطلاعات را منتقل می‌کردند: کدهای R برای بیان خطرات و کدهای S برای اقدامات ایمنی. کدهای Rیا Risk Phrases نوع خطر را توصیف می‌کردند، مانند کد R11، که به معنی ماده بسیار قابل اشتعال است، یا کد R23، به معنی ماده ای سمی در اثر استنشاق است، یا کد R45 که ممکن است باعث سرطان شود. در مقابل، کدهای S یا Safety Phrases راهکارهای ایمنی مرتبط را توضیح می‌دادند، مانند کد S24، به معنی از تماس با پوست خودداری کنید. گاهی چند کد ترکیب می‌شدند تا پیام دقیق‌تری ارائه دهند؛ برای مثال، R۳۶/۳۷/۳۸ به معنی محرک چشم، دستگاه تنفسی و پوست بود. با اجرایGHS، این کدها جای خود را به سیستم H و P Statements دادند، اما در بسیاری از SDS های قدیمی هنوز دیده می‌شوند.

### ۷-۱-۲-۲ - برگه اطلاعات ایمنی مواد (Material Safety Data Sheet - MSDS)

SDS یا برگه اطلاعات ایمنی مواد (که قبلاً MSDS یا Material Safety Data Sheet نامیده می‌شد)، سندی رسمی و استاندارد است که اطلاعات جامع در مورد ویژگی‌های شیمیایی، خطرات، روش‌های ایمن حمل، نگهداری، استفاده و واکنش اضطراری برای هر ماده را ارائه می‌دهد.

هدف اصلیSDS، فراهم‌کردن اطلاعات ضروری برای:

- حفظ سلامت و ایمنی کارکنان در هنگام کار با مواد شیمیایی.
- کمک به شناسایی خطرات فیزیکی، شیمیایی و زیستی مواد.
- اطلاع از اقدامات لازم هنگام نشت، آتش‌سوزی، تماس یا بلع تصادفی.
- تعیین تجهیزات حفاظت فردی (PPE) مناسب.
- پیشگیری از آلودگی محیطی و حوادث آزمایشگاهی.

برگه های اطلاعات ایمنی شامل ۱۶ بخش مجزا هستند که به تفکیک با توضیحات مرتبط ارائه می گردد:

#### ۱- شناسایی ماده و شرکت (Identification)

در این بخش، اطلاعات پایه‌ای مربوط به ماده یا فرآورده شیمیایی درج می‌شود. شامل نام شیمیایی و تجاری ماده، شماره ثبتCAS، کاربردهای توصیه‌شده، محدودیت‌های مصرف، و اطلاعات تماس تولیدکننده یا واردکننده است. این بخش کمک می‌کند ماده به‌درستی شناسایی شود و در صورت حادثه، بتوان با مسئول ایمنی یا تولیدکننده تماس گرفت.

#### ۲- شناسایی خطر (Hazard Identification)

در این قسمت، خطرات ماده بر اساس سیستم جهانی GHS طبقه‌بندی می‌شوند. پیکتوگرام‌ها، واژه‌های سیگنال مانند Danger یا Warning، و عبارات خطر (H Statements) و احتیاطی (P Statements) در این بخش آورده می‌شوند. این قسمت به کاربر هشدار می‌دهد ماده از چه نوع خطری برخوردار است؛ مثلاً سمی، خورنده، اکسیدکننده یا قابل اشتعال.

#### ۳- ترکیب و اطلاعات اجزا (Composition / Information on Ingredients)

این بخش ترکیب شیمیایی ماده را مشخص می‌کند. در آن فهرست اجزای اصلی و غلظت نسبی آن‌ها، شماره‌های شناسایی CAS (Chemical Abstracts Service) و هرگونه ناخالصی یا افزودنی خطرناک ذکر می‌شود. برای مواد ترکیبی، اجزای مؤثر در خطر نیز باید جداگانه قید شوند.

### ۴- اقدامات کمک‌های اولیه (First-Aid Measures)

روش‌های برخورد در موارد تماس تصادفی با ماده در این بخش آمده است. نحوه برخورد با تماس پوستی، چشمی، استنشاق یا بلع توضیح داده می‌شود. همچنین علائم و نشانه‌های اولیه مسمومیت یا تحریک، و توصیه‌های پزشکی فوری ذکر می‌شود تا در شرایط اضطراری از آن پیروی شود.

### ۵- اقدامات در برابر آتش (Fire-Fighting Measures)

این قسمت شامل اطلاعاتی درباره‌ی روش خاموش‌کردن آتش، مواد خاموش‌کننده مناسب یا نامناسب، خطرات احتراق، گازهای سمی حاصل از سوختن، و تجهیزات محافظ برای آتش‌نشان‌ها است. همچنین ممکن است دمای اشتعال (Flash Point) و ویژگی‌های اشتعال‌پذیری ماده نیز ذکر شود.

### ۶- اقدامات در هنگام نشت یا ریزش (Accidental Release Measures)

در این بخش، نحوه‌ی واکنش در برابر نشت، ریزش یا پراکندگی ماده شرح داده می‌شود. شامل اقدامات فوری برای مهار ماده، تهویه محیط، تجهیزات حفاظت فردی مورد نیاز، و روش‌های پاک‌سازی ایمن است. همچنین توضیح می‌دهد که چگونه باید از ورود ماده به فاضلاب یا محیط زیست جلوگیری شود.

### ۷- حمل و نگهداری ایمن (Handling and Storage)

این بخش دستورالعمل‌هایی برای کار ایمن با ماده و شرایط صحیح نگهداری ارائه می‌دهد. شامل دما، رطوبت، تهویه مورد نیاز، ظروف مناسب نگهداری، و مواد ناسازگار است. هدف آن کاهش احتمال واکنش‌های ناخواسته یا انتشار بخارات خطرناک است.

### ۸- کنترل تماس و حفاظت فردی (Exposure Controls / Personal Protection)

در این بخش حدود مجاز تماس شغلی و مقدار آستانه حد مجاز و ( Permissible Exposure Limit (PEL), Threshold Limit Value (TLV)) نوع تهویه مورد نیاز (عمومی یا موضعی)، و وسایل حفاظت فردی شامل نوع دستکش، عینک، ماسک، و لباس ایمنی ذکر می‌شود. این قسمت مستقیماً برای حفظ سلامت کارکنان طراحی شده و در انتخاب PPE نقش اساسی دارد.

### ۹- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (Physical and Chemical Properties)

در این بخش خصوصیات ظاهری و فیزیکی ماده ذکر می‌شود: رنگ، بو، حالت فیزیکی، pH، نقطه ذوب و جوش، دانسیته، حلالیت، فشار بخار، دمای اشتعال، و سایر خواص فیزیکی مهم که در رفتار ماده و ذخیره‌سازی آن نقش دارند.

### ۱۰- پایداری و واکنش‌پذیری (Stability and Reactivity)

این قسمت بیان می کند که ماده در چه شرایطی پایدار است و در چه شرایطی ممکن است دچار واکنش یا تجزیه شود. شامل مواد ناسازگار، شرایطی مانند گرما، نور یا رطوبت که ممکن است خطرناک باشند، و محصولات سمی حاصل از تجزیه است.

### ۱۱- اطلاعات سم‌شناسی (Toxicological Information)

در این بخش اثرات ماده بر سلامت انسان شرح داده می‌شود. مسیرهای احتمالی تماس (پوستی، تنفسی، خوراکی)، میزان سمیت ($LD_{50}$)، اثرات حاد و مزمن، احتمال سرطان‌زایی، تراتوژنیسیته (آسیب به جنین)، و جهش‌زایی از موارد مهم این بخش هستند.

### ۱۲- اطلاعات زیست‌محیطی (Ecological Information)

تأثیر ماده بر محیط زیست در این بخش بررسی می‌شود. شامل اثر بر موجودات آبزی، قابلیت تجزیه زیستی، احتمال تجمع زیستی در زنجیره غذایی، و پایداری ماده در محیط آب و خاک است. این اطلاعات برای ارزیابی خطرات زیست‌محیطی و دفع صحیح ماده ضروری است.

### ۱۳- روش‌های دفع (Disposal Considerations)

در این قسمت روش‌های ایمن برای دفع پسماندها و ظروف آلوده بیان می‌شود. دستورالعمل‌هایی درباره بازیافت، خنثی‌سازی یا دفع نهایی ماده به‌صورت قانونی آورده می‌شود. تأکید می‌شود که ماده نباید بدون بررسی وارد فاضلاب یا سطل زباله عادی شود.

**۱۴- اطلاعات حمل‌ونقل (Transport Information)**

این بخش برای حمل ایمن ماده از مکانی به مکان دیگر طراحی شده است. شامل شماره سازمان ملل(UN Number) ، طبقه خطر در حمل‌ونقل، گروه بسته‌بندی (Packing Group)، و احتیاطات لازم برای حمل‌ونقل زمینی، هوایی یا دریایی است.

**۱۵- اطلاعات قانونی (Regulatory Information)**

در این قسمت به مقررات ملی و بین‌المللی مربوط به سلامت، ایمنی و محیط زیست اشاره می‌شود. قوانین سازمان‌هایی مانند OSHA، REACH، CLP و سایر مراجع ذی‌صلاح در اینجا ذکر می‌شوند تا کاربر از الزامات قانونی مرتبط با ماده آگاه شود.

**۱۶- سایر اطلاعات (Other Information)**

آخرین بخش SDS شامل تاریخ تدوین یا بازنگری سند، منابع داده‌های علمی استفاده‌شده، و اطلاعات تکمیلی درباره‌ی آموزش ایمنی یا شماره‌های تماس اضطراری است. این بخش به کاربر کمک می‌کند بداند اطلاعات تا چه زمانی به‌روز بوده و در صورت نیاز چگونه باید داده‌های جدید را پیگیری کند.

این ساختار ۱۶بخشی در سراسر جهان یکسان است و الزام قانونی دارد. مطالعه‌ی SDS پیش از استفاده از هر ماده شیمیایی در آزمایشگاه، شرط اولیه کار ایمن و مسئولانه محسوب می‌شود و هر ماده در آزمایشگاه باید دارای SDS به‌روز و قابل دسترس برای تمام کارکنان باشد. همچنین SDS باید به زبان رسمی محل کار در دسترس باشد.

## ۲-۲-۲ - ارزیابی ریسک (Assess the risks)

گام دوم در RAMP، ارزیابی ریسک (Assess the risks) است. پس از شناسایی خطر، باید احتمال وقوع و شدت پیامدهای آن را ارزیابی کنیم. این ارزیابی بر پایه‌ی دو پرسش کلیدی انجام می‌شود: «احتمال وقوع حادثه چقدر است؟» و «اگر حادثه رخ دهد، پیامد آن تا چه اندازه شدید خواهد بود؟». ترکیب این دو عامل، سطح ریسک را مشخص می‌کند و بر اساس آن می‌توان تصمیم گرفت که کدام فعالیت‌ها نیاز به کنترل فوری دارند و کدام قابل قبول‌اند. در ایمنی زیستی، ارزیابی ریسک تعیین می‌کند که چه سطح ایمنی زیستی (BSL) برای انجام یک فعالیت لازم است، چه تجهیزاتی باید مورد استفاده قرار گیرد و چه آموزش‌هایی برای کارکنان الزامی است.

### ۳-۲-۲ - کاهش یا کنترل خطر (Minimize or control hazards)

در مرحله‌ی سوم، کاهش یا کنترل خطر (Minimize or control hazards) مطرح می‌شود. در این گام، با استفاده از یافته‌های مرحله‌ی قبل، اقدامات عملی برای کاهش ریسک تا سطح قابل‌قبول طراحی و اجرا می‌شوند. کنترل خطر می‌تواند به روش‌های مختلف انجام شود که بر اساس «سلسله‌مراتب کنترل» اولویت‌بندی می‌شوند. ابتدا تلاش می‌شود خطر حذف یا جایگزین گردد (مثلاً استفاده از یک سویه غیر بیماری‌زا به جای یک سویه بیماری‌زا). اگر این امکان وجود نداشته باشد، از کنترل‌های مهندسی (مانند هود بیولوژیکال یا سیستم تهویه ایمن)، کنترل‌های اداری (مانند دستورالعمل‌ها و محدودیت‌های دسترسی)، و در نهایت از وسایل حفاظت فردی (PPE) استفاده می‌شود. این مرحله در واقع نقطه‌ی تلاقی دانش و اقدام است، یعنی جایی که شناخت علمی به رفتار ایمن تبدیل می‌شود. یکی از مهمترین و ساده ترین موارد برای کنترل خطر در آزمایشگاه، تهیه SOP می باشد.

#### ۱-۳-۲-۲ - SOP چیست و چه کاربردی در ایمنی آزمایشگاه دارد؟

SOP یا Standard Operating Procedure به‌معنای «روش اجرایی استاندارد» است. این سند، دستورالعملی مکتوب و دقیق برای انجام هر فعالیت آزمایشگاهی به‌صورت ایمن، یکسان و قابل تکرار است.SOP ها مشخص می‌کنند که چه کسی، چه کاری، در چه شرایطی و به چه روشی انجام می‌دهد تا خطا، حادثه یا آلودگی به حداقل برسد. در واقع، SOP حلقه اتصال بین «دانش ایمنی» و «اجرای واقعی» آن در آزمایشگاه است. وجود تجهیزات ایمنی به‌تنهایی کافی نیست؛ اگر کاربر نداند چطور و در چه شرایطی از آن‌ها استفاده کند، خطر همچنان پابرجاست.

SOPها معمولاً شامل بخش‌های زیر هستند:

۱. **عنوان و هدف:** توضیح اینکه این دستورالعمل برای چه فعالیتی نوشته شده است (مثلاً SOP استفاده از هود بیولوژیکی کلاسII)
۲. **دامنه کاربرد:** مشخص می‌کند این روش در چه نوع آزمایشگاه یا برای چه گروه‌هایی کاربرد دارد.
۳. **مسئولیت‌ها:** تعیین وظایف افراد مختلف (کارشناس، سرپرست، مسئول ایمنی).
۴. **مواد و تجهیزات موردنیاز**
۵. **روش اجرا:** گام‌به‌گام، شامل شرایط پیش از شروع، مراحل انجام کار، و نحوهٔ پایان فعالیت.
۶. **اقدامات ایمنی و کنترل خطر:** تجهیزات حفاظت فردی موردنیاز، خطرات احتمالی، و روش واکنش در شرایط اضطراری.

۷. **نحوه دفع پسماند و ضدعفونی.**

۸. **تاریخ تدوین، بازنگری و امضاهای تأیید**

SOPها باید مختصر، دقیق و عملیاتی باشند. زبان آن‌ها باید روشن و بدون ابهام نوشته شود و هر SOP حداقل سالی یک‌بار بازنگری شود. داشتن مجموعه‌ای مدون ازSOP ها نه‌تنها در ارزیابی‌های ایمنی الزامی است، بلکه تضمین‌کننده یکنواختی نتایج و کاهش وابستگی کارها به تجربه شخصی کارکنان است. نمونه‌هایی ازSOP های رایج در ایمنی آزمایشگاه عبارت‌اند از:

- SOP شست‌وشوی شیشه‌جات آلوده
- SOP کار با مواد سمی و فرار در هود
- SOP بی‌خطرسازی پسماندهای بیولوژیکی
- SOP استفاده ازPPE
- SOP تمیز کردن و ضدعفونی هفتگی آزمایشگاه
- SOP واکنش اضطراری در مواجهه با نشت یا سوختگی

### ۲-۳-۲-۲ - انواع هودهای آزمایشگاهی و کاربرد ایمنی آن‌ها

هود یا کابین ایمنی، وسیله‌ای برای کنترل و حذف آلاینده‌های خطرناک (شیمیایی یا زیستی) از محیط کار است. این تجهیزات با مکش هوا یا فیلتراسیون، از تماس مستقیم کاربر با بخارات، ذرات، یا میکروارگانیسم‌ها جلوگیری می‌کنند. نوع هود باید بر اساس ماهیت خطر ماده انتخاب شود: هود شیمیایی برای بخارات و گازها، و هود بیولوژیکی برای عوامل میکروبی و آئروسل‌های عفونی.

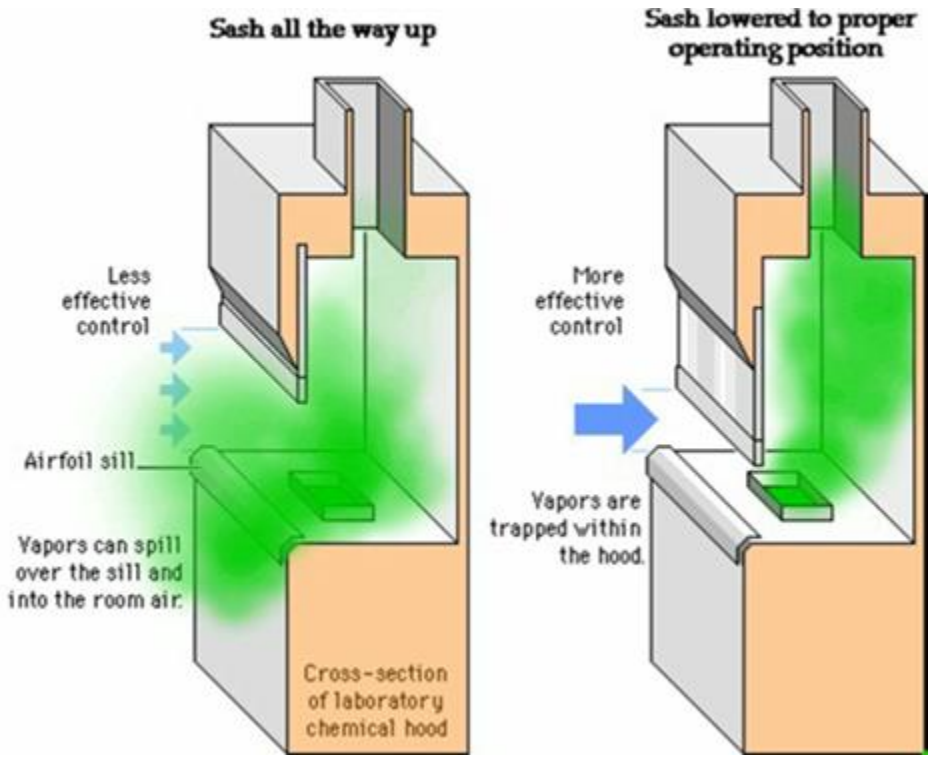
#### ۱-۲-۳-۲-۲ هود شیمیایی (Chemical Fume Hood)

هود شیمیایی برای کنترل بخارات، گازها، دودها و ذرات حاصل از واکنش‌های شیمیایی به‌کار می‌رود. این دستگاه هوا را از داخل کابین مکیده و از طریق کانال‌های خروجی به بیرون از ساختمان هدایت می‌کند تا از انتشار بخارات خطرناک در آزمایشگاه جلوگیری شود. در طراحی استاندارد، جریان هوا از محیط به داخل هود و سپس به سمت خروجی هدایت می‌شود. شیشه جلویی (Sash) نقش حفاظتی دارد و باید تا حد ممکن پایین نگه داشته شود تا هم از تماس مستقیم کاربر با بخارات جلوگیری کند و هم جریان

هوا به‌صورت مؤثر حفظ شود. هودهای شیمیایی در کار با موادی مانند اسیدها، بازهای قوی، حلال‌های آلی، ترکیبات فرار و مواد سمی استفاده می‌شوند. هنگام کار با ترکیبات قابل اشتعال نیز باید اطمینان حاصل شود که موتور هود ضدجرقه (Explosion-proof) است. این هودها برای کار با عوامل میکروبی یا بیولوژیک مناسب نیستند، زیرا فیلتراسیون HEPA ندارند و فقط گازها را حذف می‌کنند، نه میکروارگانیسم‌ها (شکل شماره ۷).

هودهای شیمیایی انواع مختلفی دارند:

- **هود با خروجی به بیرون (Ducted Fume Hood):** متداول‌ترین نوع که بخارات را به خارج ساختمان تخلیه می‌کند.
- **هود بازگرداننده هوا (Ductless / Recirculating):** هوای مکش‌شده را پس از عبور از فیلترهای کربن فعال دوباره به محیط بازمی‌گرداند؛ فقط برای بخارات خاص و در حجم محدود مناسب است.
- **هود اسیدی یا پرکلریک (Acid / Perchloric Hood):** مخصوص کار با اسیدهای خورنده یا مواد اکسیدکننده قوی که نیاز به شست‌وشوی داخلی و مصالح ضدخوردگی دارند.



**شکل- ۷: هود شیمیایی و نحوه استفاده صحیح از آن.**

در استفاده از هود شیمیایی باید نکات ایمنی زیر رعایت شود:

شیشه جلو تا حد ممکن پایین باشد، جریان هوا نباید مسدود شود، وسایل داخل هود نباید بیش از دو سوم سطح را اشغال کنند، و هیچ آزمایشی نباید در قسمت بیرونی یا نزدیک لبه انجام گیرد. همچنین هرگز نباید سر کاربر داخل هود قرار گیرد.

### ۲-۲-۳-۲-۲ هود بیولوژیکی (Biological Safety Cabinet – BSC)

هود بیولوژیکی برای محافظت از کاربر، نمونه و محیط در برابر آئروسل‌های زیستی و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا طراحی شده است. برخلاف هود شیمیایی، در این نوع از فیلترهای HEPA (High Efficiency Particulate Air) برای تصفیه هوای عبوری استفاده می‌شود، نه برای خروج بخارات شیمیایی. درون BSC جریان هوای کنترل‌شده وجود دارد که مانع از خروج ذرات و میکروب‌ها به محیط آزمایشگاه می‌شود. این هودها در کار با سلول‌های انسانی، باکتری‌های پاتوژن، ویروس‌ها، نمونه‌های بالینی و مواد بیولوژیکی بالقوه عفونی استفاده می‌شوند (شکل شماره ۸).

هودهای بیولوژیکی به سه رده (Class) تقسیم می‌شوند:

**کلاس I**: فقط کاربر و محیط را محافظت می‌کند، اما از نمونه در برابر آلودگی محافظت ندارد. هوای آلوده پس از عبور از فیلتر HEPA به بیرون تخلیه می‌شود. برای کار با میکروارگانیسم‌های خطر پایین (سطح ایمنی زیستی ۱ یا ۲) مناسب است.

**کلاس II**: رایج‌ترین نوع در آزمایشگاه‌های میکروبیولوژی و بیوتکنولوژی است. این هود علاوه بر حفاظت از کاربر و محیط، نمونه را نیز در برابر آلودگی حفظ می‌کند. جریان هوا به‌صورت عمودی از بالا وارد و از جلو و پایین خارج می‌شود. کلاس II خود شامل چند زیرگروه (A1، A2، B1، B2) است که در نحوه تخلیه و درصد هوای بازگردانده‌شده تفاوت دارند.

**کلاس III:** کاملاً بسته و ایزوله است و برای کار با عوامل بسیار خطرناک (مانند ویروس ابولا) در آزمایشگاه‌های سطح ایمنی زیستی ۴ استفاده می‌شود. کاربر از طریق دستکش‌های ثابت به محفظه متصل می‌شود و هیچ تماس مستقیم با محیط داخل ندارد.

در هنگام کار با BSC باید از حرکات ناگهانی و بازکردن مکرر شیشه جلو خودداری کرد تا جریان هوا مختل نشود. هرگز نباید از این هود برای کار با مواد شیمیایی فرار یا قابل اشتعال استفاده شود، زیرا فیلتر HEPA آن نمی‌تواند گازها را حذف کند.

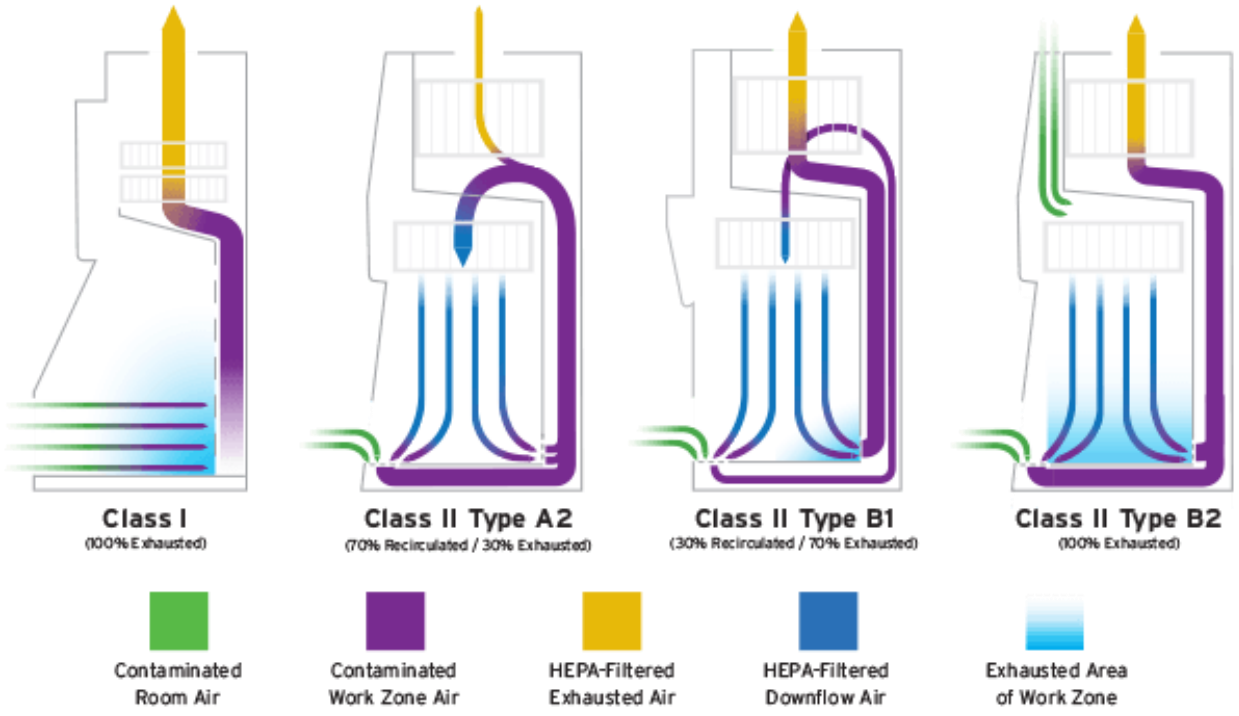
**شکل- ۸: کلاس های اصلی هودهای بیولوژیک.**

بسته به نوع زیرکلاس (A1, A2, B1, B2)، نسبت بین هواهای بازگردانده‌شده و هوای خروجی متفاوت است (شکل شماره ۹ نشان دهنده تفاوت در میزان و نحوه جریان و برگشت هوا در هودهای BSC می باشد). به این نسبت درصد برگشت (Recirculated Air Percent) می‌گویند. در هود کلاس A1، تقریباً ۷۰ درصد هوای داخل کابین بعد از عبور از فیلتر HEPA دوباره به فضای کاری برمی‌گردد تا جریان عمودی تمیز (Downflow) ایجاد کند.۳۰ درصد باقی‌مانده پس از عبور از فیلتر HEPA دوم به داخل اتاق یا کانال خروجی فرستاده می‌شود. این نوع کابین هوای تمیز را در داخل گردش می‌دهد و نمی‌تواند با بخارات شیمیایی یا مواد فرّار استفاده شود چون آن بخارات در هوا می‌مانند و فیلتر HEPA نمی‌تواند آن‌ها را بگیرد. هودهای کلاس A2 در نگاه اول شبیه A1است، اما تفاوت در ولوسیتی و فشار کاری بیشتر است. در اینجا، هوای ورودی (inflow) با سرعت حدود ۰.۵ متر بر ثانیه به داخل کشیده می‌شود، که ایمنی بیشتری برای کاربر دارد. بیشترBSC های مدرن اتاق‌های کشت سلولی از همین نوع هستند

(A2). در A2 هم هوا تقریباً ۷۰٪ برگشت داخلی دارد و ۳۰٪ پس از عبور از HEPA دوم به اتاق یا کانال تخلیه می‌شود. فقط جریان هوا سریع‌تر و الگوی آن پایدارتر است تا خطر بازگشت آئروسل به کاربر کمتر شود. در نوع B1بخش عمده هوا (۷۰٪) از طریق HEPA دوم به بیرون ساختمان تخلیه می‌شود. فقط ۳۰٪ هوای تمیز بعد از فیلتراسیون به فضای کاری برمی‌گردد. این طراحی برای کار با مقادیر محدود مواد شیمیایی فرّار یا سمی مناسب است (چون بیشتر هوا به بیرون می‌رود). یعنی در B1، بازگردش هوا خیلی کم است. ایمنی بیشتر، اما مصرف انرژی و تهویه بالاتر. در نوع B2، کابین کاملاً مثل یک هود شیمیایی عمل می‌کند اما با فیلتر HEPA اضافه. تمام هوای ورودی پس از عبور از فیلتر HEPA از طریق کانال به بیرون ساختمان تخلیه می‌شود. هیچ هوایی در داخل کابین گردش نمی‌کند. یعنی هوای تازه وارد می‌شود، هوا آلوده خارج می‌شود و هیچ برگشتی وجود ندارد. این مدل برای کار با مواد شیمیایی فرّار و عوامل بیماری‌زای خطرناک (BSL-3) طراحی شده و گران‌ترین نوع است. در جدول شماره ۱ زیر خصوصیات هودهای کلاس ۲ به صورت خلاصه آمده است.

**جدول ۱- خصوصیات هودهای کلاس ۲**

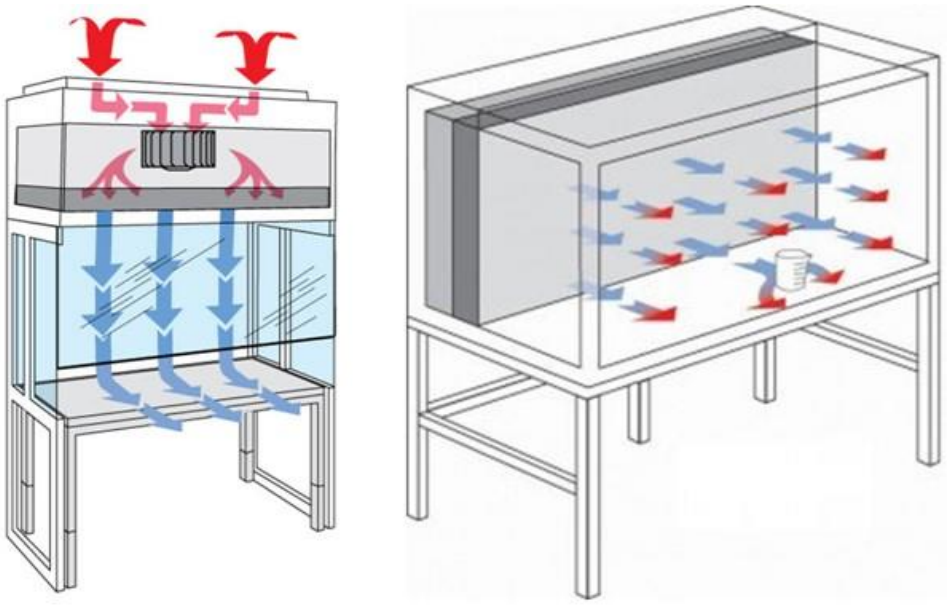
| نوع کابین | درصد برگشت هوا | درصد خروجی | ولوسیتی تقریبی | توضیح ساده |
|---|---|---|---|---|
| **A1** | 70% برگشت | 30% خروج | 75 fpm (0.38 m/s) | ایمنی پایه، برایBSL-2 |
| **A2** | 70% برگشت | 30% خروج | 100 fpm (0.5 m/s) | ایمنی بالاتر، نوع رایج اتاق‌های کشت |
| **B1** | 30% برگشت | 70% خروج | 100 fpm | مناسب برای مقادیر کم مواد فرّار |
| **B2** | 0% برگشت | 100% خروج | 100 fpm | بدون برگشت، کاملاً شبیه هود شیمیایی |




**شکل- ۹: تفاوت در میزان و نحوه جریان و برگشت هوا در هودهای BSC.**

### ۳-۲-۳-۲-۲ سایر هودها و کابین‌های تخصصی

در برخی آزمایشگاه‌ها از انواع خاص‌تری از هودها نیز استفاده می‌شود. هود لامینار فلو (Laminar Flow Cabinet) تنها برای حفاظت از نمونه کاربرد دارد، نه از کاربر (شکل شماره ۱۰). در این هود هوا از فیلتر HEPA عبور کرده و به‌صورت یک‌جهته (افقی یا عمودی) وارد سطح کار می‌شود. این سیستم برای کارهای حساس مانند کشت سلول یا آماده‌سازی محلول‌های استریل به کار می‌رود، اما چون هوای خروجی مستقیماً به سمت کاربر می‌آید، برای مواد عفونی یا خطرناک نباید استفاده شود. همچنین هود رادیونوکلئید یا هود مواد شیمیایی خاص برای کار با ایزوتوپ‌های رادیواکتیو یا اسیدهای خورنده طراحی شده‌اند و از مصالحی ساخته می‌شوند که در برابر خوردگی یا تابش مقاوم باشند.




**شکل- ۱۰: هود لامینار افقی و عمودی.**

### ۲-۲-۳-۳ - تفاوت اصلی بین هود شیمیایی و بیولوژیکی

تفاوت بنیادی این دو در نوع خطر و مسیر جریان هوا است. در هود شیمیایی، هدف بیرون‌بردن بخارات سمی است و بنابراین هوا از محیط وارد و به بیرون ساختمان تخلیه می‌شود. در مقابل، در هود بیولوژیکی هدف حفظ پاکی محیط کار و کنترل میکروب‌هاست، پس هوا از فیلتر HEPA عبور کرده و در چرخه کنترل‌شده بازگردانده می‌شود. به همین دلیل، استفاده از هود شیمیایی برای نمونه‌های زیستی یا از هود بیولوژیکی برای بخارات فرار اشتباه بزرگی است و می‌تواند منجر به آلودگی یا آسیب شود.

### ۲-۲-۳-۴ - نکات ایمنی در استفاده از هودها

پیش از شروع کار باید از عملکرد فن و شاخص جریان هوا اطمینان حاصل شود. هرگز نباید دریچه‌ها یا فیلترها مسدود شوند. داخل هود باید تمیز و عاری از وسایل اضافی باشد تا جریان هوا مختل نشود. پس از پایان کار، سطح داخلی باید با مواد ضدعفونی مناسب پاک شود. فیلترهای HEPA باید طبق برنامه دوره‌ای توسط متخصص تعویض شوند. کاربران باید آموزش ببینند که موقع کار، دست‌ها و ابزار را از محدوده جریان هوا خارج نکنند و شیشه حفاظتی تا حد ممکن پایین باشد تا از تماس احتمالی با بخارات یا آئروسل‌ها جلوگیری شود. به طور کلی انتخاب نوع هود باید همیشه متناسب با ماهیت خطر باشد. هود شیمیایی برای بخارات و گازهای سمی یا فرار؛ هود بیولوژیکی برای آئروسل‌های میکروبی و نمونه‌های عفونی؛ و هود لامینار فلو برای محیط‌های استریل و عاری از گردوغبار.

هیچ هودی کاربرد همه‌منظوره ندارد و استفاده اشتباه از آن می‌تواند خطر را افزایش دهد. بنابراین، آشنایی دقیق کارکنان و دانشجویان با عملکرد و محدودیت هر نوع هود، از الزامات حیاتی ایمنی در هر آزمایشگاه محسوب می‌شود.

### ۴-۲-۲ - آمادگی برای شرایط اضطراری (Prepare for emergencies)

در نهایت، گام چهارم آمادگی برای شرایط اضطراری است. هیچ سیستمی بدون برنامه‌ریزی برای حوادث غیرمنتظره کامل نیست. حتی در آزمایشگاه‌هایی با کنترل‌های پیشرفته، احتمال نشت، آلودگی یا تماس تصادفی وجود دارد. بنابراین در این مرحله، برنامه‌های واکنش اضطراری طراحی می‌شوند تا در صورت بروز حادثه، افراد بدانند دقیقاً چه اقداماتی باید انجام دهند، چه کسی را مطلع کنند، و چگونه محیط را ایمن سازند. آموزش کارکنان، تمرین‌های شبیه‌سازی(drills)، و در دسترس بودن تجهیزات واکنش اضطراری (مانند دوش ایمنی، چشم‌شوی، مواد ضدعفونی، شماره‌های تماس ضروری) بخش جدایی‌ناپذیر این گام هستند.

در مجموع، RAMP نه‌تنها یک ابزار آموزشی بلکه یک تفکر سیستماتیک در ایمنی است. این چارچوب کمک می‌کند که ایمنی از یک دستورالعمل خشک و الزامی به یک عادت علمی و رفتاری تبدیل شود. با به‌کارگیری RAMP، هر پژوهشگر پیش از آغاز یک فعالیت، به‌طور خودکار خطرات را می‌سنجد، ریسک را ارزیابی می‌کند، روش‌های کنترل را پیش‌بینی می‌کند و برای حوادث احتمالی آماده است. در محیط‌های زیستی، که پیامدهای خطا ممکن است فراتر از سلامت فردی و شامل آلودگی محیط یا انتقال بیماری باشد، این رویکرد اهمیت دوچندان دارد. در نتیجه، دانستن و به‌کارگیری RAMP برای همه کسانی که در آزمایشگاه فعالیت دارند ضروری است. این مدل، زبان مشترک ایمنی در علوم تجربی است و باعث می‌شود که آموزش ایمنی، ارزیابی خطر و مدیریت ریسک در تمام سطوح به شکل هماهنگ، علمی و اثربخش انجام گیرد.

## ۳ - طبقه‌بندی خطرات در آزمایشگاه (Laboratory Hazard Classification)

در هر محیط آزمایشگاهی، خطر (Hazard) به هر عامل، ماده یا شرایطی گفته می‌شود که بتواند به سلامت انسان، تجهیزات، محیط یا سازه‌های فیزیکی آسیب برساند. برای مدیریت مؤثر خطرات، آن‌ها بر اساس ماهیت عامل ایجادکننده و نوع اثرشان طبقه‌بندی می‌شوند. در اغلب نظام‌های ایمنی، خطرات آزمایشگاهی به هفت گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

**۱ .خطرات زیستی (Biological Hazards)**

**۲ .خطرات شیمیایی (Chemical Hazards)**

۳ .خطرات فیزیکی (Physical Hazards)

۴ .خطرات مکانیکی (Mechanical Hazards)

۵ .خطرات الکتریکی (Electrical Hazards)

۶ .خطرات ارگونومیک-روانی (Ergonomic & Psychosocial Hazards)

## ۳-۱ - خطرات زیستی (Biological Hazards)

خطرات زیستی یا Biohazards به هر عامل بیولوژیکی یا فرآورده‌ای از آن (مانند میکروارگانیسم‌ها، سلول‌ها، بافت‌ها، ترشحات یا ناقل‌های ژنتیکی) گفته می‌شود که می‌تواند باعث بیماری، آلرژی، مسمومیت یا هر نوع آسیب بیولوژیکی در انسان، حیوان یا محیط زیست شود. در محیط‌های پژوهشی و تشخیصی، خطرات زیستی از مهم‌ترین تهدیدهای ایمنی هستند زیرا اغلب نامرئی، قابل انتقال و قابل تکثیر هستند. به همین دلیل، شناخت ماهیت خطر، مسیرهای انتقال، و کنترل آن‌ها، اساس ایمنی زیستی (Biosafety) را تشکیل می‌دهد.

### ۳-۱-۱ - منابع اصلی خطرات زیستی در آزمایشگاه

**- میکروارگانیسم‌ها:**

- باکتری‌ها: مانند *Mycobacterium tuberculosis*, *Salmonella spp.*, *Brucella spp.*
- ویروس‌ها: مانند *HBV*, *HCV*, *HIV*, *Influenza*, *SARS-CoV-2*
- قارچ‌ها: مانند *Candida albicans*, *Aspergillus spp.*
- انگل‌ها: مانند *Plasmodium spp.*, *Giardia lamblia*, *Toxoplasma gondii*.

**- نمونه‌های بالینی و حیوانی:**

خون، ادرار، مایع مغزی‌نخاعی، ترشحات تنفسی، مدفوع، بافت‌های انسانی یا حیوانی به‌ویژه با منشأ ناشناخته یا آلوده.

**- مواد ژنتیکی و ناقل‌های نوترکیب (Recombinant Materials):**

پلاسمیدها، ویروس‌های نوترکیب، DNA/RNAمصنوعی، و ناقل‌های انتقال ژن که ممکن است خواص بیماری‌زایی جدید ایجاد کنند.

**- حیوانات آزمایشگاهی و فراورده‌های آن‌ها:**

موش، رت، خرگوش یا سایر مدل‌های حیوانی که ممکن است ناقل پاتوژن‌ها، آلرژن‌ها یا انگل‌ها باشند.

**- وسایل تیز و آلوده (Sharps):**

سوزن، سرسوزن، اسکالپل و لام‌های شکسته که می‌توانند عامل انتقال مستقیم خون یا مایع آلوده به بدن باشند.

## ۲-۱-۳ - راه‌های انتقال عوامل زیستی

- **تماس مستقیم:** نفوذ از طریق بریدگی یا زخم پوستی.
- **تماس غیرمستقیم:** از طریق سطوح، تجهیزات یا دست‌های آلوده.
- **استنشاق آئروسل‌ها:** هنگام پیپت‌زنی، سانتریفیوژ، هم‌زدن، یا باز کردن لوله‌های فشاردار.
- **تماس مخاطی:** از طریق چشم، دهان یا بینی.
- **بلع تصادفی:** ناشی از خوردن یا نوشیدن در آزمایشگاه.
- **نیش یا خراش حیوانات:** در آزمایشگاه‌های حیوانی.

## ۳-۱-۳ - اثرات و پیامدهای خطرات زیستی

- عفونت‌های شغلی (Occupational Infections) مانند هپاتیت، سل، بروسلوز.
- آلرژی و حساسیت به حیوانات، قارچ‌ها یا آنزیم‌ها (مثلاً آلرژی ناشی از آلفا آمیلوز).
- آلودگی متقاطع بین نمونه‌ها و نتایج اشتباه تشخیصی.
- انتشار عامل عفونی به محیط و ایجاد آلودگی ثانویه (environmental contamination).

- انتقال بیماری از انسان به حیوان یا بالعکس (Zoonosis).

### ۴-۱-۳ - اقدامات ایمنی و پیشگیرانه

**۱ .کنترل‌های مهندسی (Engineering Controls):**

- استفاده از هود بیولوژیکال کلاس II یا III هنگام کار با نمونه‌های عفونی یا آئروسل‌زا.
- نصب سیستم تهویه با فشار منفی در آزمایشگاه‌های سطح ۳ به بالا.
- وجود اتوکلاو برای استریلیزاسیون زباله‌ها و تجهیزات.
- استفاده از ظروف درب‌دار مقاوم به نشت برای انتقال نمونه‌ها.

**۲ .کنترل‌های اداری و رفتاری (Administrative Controls):**

- ورود فقط برای افراد آموزش‌دیده و دارای مجوز.
- برگزاری آموزش ایمنی زیستی و مانور واکنش اضطراری به‌صورت منظم.
- ثبت دقیق مواد بیولوژیک و محدود کردن دسترسی به عوامل خطرناک.
- برنامه پایش سلامت کارکنان و واکسیناسیون (مثلاً هپاتیتB)
- تهیه SOP کتبی برای هر نوع فعالیت بیولوژیک (پیپت کردن، سانتریفیوژ، دفع پسماند).

**۳ .وسایل حفاظت فردی (Personal Protective Equipment – PPE):**

- **روپوش مخصوص (Lab coat)** با آستین بلند و قابل اتوکلاو.
- **دستکش نیتریل یا لاتکس** و تعویض آن در صورت آلودگی.
- **عینک یا شیلد محافظ** در هنگام خطر پاشش.
- **ماسک یا ماسک N95** در کار با آئروسل‌ها یا پاتوژن‌های تنفسی.
- کفش بسته و مقاوم در برابر لغزش و مواد بیولوژیک.

### ۳-۱-۵ - واکنش اضطراری در حوادث زیستی

- در صورت نشت یا پاشش: محل را فوراً ترک کنید، تهویه را فعال نگه دارید، محل را با ضدعفونی‌کننده مناسب از بیرون به داخل پاک کنید، و حادثه را گزارش دهید.
- در صورت زخم سوزنی یا تماس پوستی: ناحیه را با آب و صابون بشویید، گزارش دهید و فوراً به پزشک مراجعه کنید (در صورت خطر HIV یاHBV ، درمان پیشگیرانه آغاز شود).
- در صورت آلودگی چشمی: شست‌وشوی چشم با آب جاری به مدت حداقل ۱۵ دقیقه.
- ثبت و گزارش دقیق حادثه در فرم مخصوص Incident Report الزامی است.

برای مدیریت ایمن این مخاطرات زیستی و جلوگیری از بروز حوادثی مانند آلودگی، عفونت یا انتشار عوامل بیماری‌زا، لازم است سطح خطر هر فعالیت یا عامل بیولوژیک به‌درستی ارزیابی و بر اساس آن، تمهیدات کنترل‌کننده‌ی مناسب اعمال شود. چارچوب استاندارد جهانی برای این منظور، تعریف «سطوح ایمنی زیستی» یا «بیوسیفتی لول‌ها» است. این سطوح، ترکیبی ساختاریافته از تجهیزات حفاظتی، طراحی آزمایشگاه و پروتکل‌های کاری را ارائه می‌دهند که متناسب با درجه‌ی خطر میکروارگانیسم‌ها یا مواد بیولوژیک مورد استفاده، از کارکنان، محیط و جامعه محافظت می‌کنند.

### ۳-۱-۶ - سطوح ایمنی زیستی در آزمایشگاه (Biosafety Levels, BSL ۱-۴)

مفهوم سطح ایمنی زیستی (Biosafety Level) چارچوبی است که بر اساس خطرات ناشی از عوامل زیستی (پاتوژن‌ها، سلول‌ها، ویروس‌ها و فرآیندهای مرتبط) تعیین می‌شود. هر سطح مجموعه‌ای از استانداردها، تجهیزات، رویه‌ها و طراحی‌های مهندسی است که متناسب با میزان خطر عامل مورد استفاده تعریف می‌گردد.

#### ۳-۱-۶-۱ - سطح ایمنی زیستی پایه (Biosafety Level ۱, BSL-۱)

این پایین‌ترین سطح ایمنی زیستی است و برای کار با میکروارگانیسم‌هایی استفاده می‌شود که خطر شناخته‌شده‌ای برای انسان ندارند و معمولاً در محیط طبیعی وجود دارند. این ارگانیسم‌ها بیماری‌زا نیستند و در صورت تماس اتفاقی، معمولاً بیماری ایجاد نمی‌کنند.

- **نمونه عوامل:** *Escherichia coli* غیر بیماری‌زا (سوش K-12)، *Bacillus subtilis*، *Lactobacillus spp*

- **ویژگی‌های محیطی و رویه‌ای:**

- محل کار عادی آزمایشگاهی، بدون نیاز به تجهیزات خاص ایزولاسیون.
- رعایت قوانین پایه ایمنی در آزمایشگاه (در ادامه توضیح داده خواهد شد)
- تهویه معمولی کافی است (نیازی به هود بیولوژیک نیست).

- **کاربرد:** آموزش مقدماتی در آزمایشگاه‌های دانشجویی، کار با میکروب‌های غیر بیماری‌زا.

### ۲-۶-۱-۳ - سطح ایمنی زیستی متوسط (Biosafety Level ۲, BSL-۲)

این سطح برای کار با عوامل زیستی به‌کار می‌رود که می‌توانند بیماری خفیف تا متوسط در انسان ایجاد کنند و در شرایط معمول تهدیدی جدی برای جامعه ندارند، اما تماس مستقیم یا آئروسل آن‌ها خطرناک است. این سطح پرکاربردترین سطح در دانشگاه‌ها، بیمارستان‌ها و مراکز تشخیصی است.

- **نمونه عوامل :** *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Hepatitis B virus (HBV)*, *HIV*

- **ویژگی‌های محیطی و رویه‌ای:**

- دسترسی به آزمایشگاه محدود به افراد آموزش‌دیده.
- رعایت قوانین پایه ایمنی در آزمایشگاه
- استفاده از هود ایمنی زیستی (Biological Safety Cabinet – BSC Class II) هنگام کار با نمونه‌های تولیدکننده آئروسل.
- الزام به استفاده از روپوش، دستکش و محافظ چشم.
- وجود سینک دست‌شویی و اتوکلاو در نزدیکی یا داخل آزمایشگاه.
- برنامه واکسیناسیون کارکنان (در صورت وجود واکسن مناسب مثل HBV)
- وجود دستورالعمل‌های کتبی واکنش اضطراری (نشت، گازگرفتگی، تماس پوستی).

- **کاربرد:** تشخیص بالینی، کشت سلولی با خطوط انسانی، تحقیقات مولکولی با DNA نوترکیب سطح پایین.

### ۳-۶-۱-۳ - سطح ایمنی زیستی بالا (Biosafety Level ۳, BSL-۳)

این سطح برای کار با میکروارگانیسم‌هایی است که می‌توانند باعث بیماری شدید یا بالقوه مرگبار در انسان شوند، به‌ویژه اگر از طریق تنفس منتقل شوند. کار در این سطح نیازمند مهارت بالا، آموزش ویژه و کنترل‌های مهندسی دقیق است.

- **نمونه عوامل:** *Mycobacterium tuberculosis*, *SARS-CoV-2*, *Brucella spp.*, *Yersinia pestis*, *Francisella tularensis*, *West Nile virus*

- **ویژگی‌های محیطی و رویه‌ای:**

- رعایت قوانین پایه ایمنی در آزمایشگاه
- کار باید کاملاً در هود ایمنی زیستی ( Class II یا III) انجام شود.
- فشار هوای داخل آزمایشگاه باید منفی باشد تا هوا از محیط خارج به داخل کشیده شود.
- هوا قبل از خروج باید فیلتر HEPA شود.
- کارکنان باید روپوش مخصوص و در برخی موارد ماسک تنفسی N95 یا PAPRs استفاده کنند.
- درب‌ها دارای قفل خودکار و هشداردهنده فشار منفی هستند.
- ورود فقط برای افراد دارای مجوز کتبی و آموزش ویژه مجاز است.
- کارکنان باید پس از کار دوش بگیرند و لباس محافظ را درآورند.
- سیستم دفع فاضلاب باید قبل از خروج ضدعفونی شود.

- **کاربرد:** پژوهش روی پاتوژن‌های منتقل‌شونده از راه هوا، مطالعات واکسن و دارو روی عوامل تنفسی خطرناک، و بررسی ویروس‌های جدید.

**۴-۶-۱-۳ - سطح ایمنی زیستی بسیار بالا (Biosafety Level ۴, BSL-۴)**

این بالاترین سطح ایمنی زیستی است و برای کار با عوامل بیماری‌زایی به‌کار می‌رود که بسیار خطرناک و معمولاً کشنده‌اند، راه انتقال آن‌ها تنفسی است، و هیچ درمان یا واکسن مؤثری برایشان وجود ندارد .کار در این سطح فقط در تعداد محدودی از آزمایشگاه‌های تخصصی جهان انجام می‌شود.

- **نمونه عوامل:** *Ebola virus*, *Marburg virus*, *Lassa virus*, *Crimean–Congo hemorrhagic fever virus*, *Nipah virus*.

- **ویژگی‌های محیطی و مهندسی:**

- رعایت قوانین پایه ایمنی در آزمایشگاه
- ساختمان مستقل یا واحد ایزوله‌شده در تأسیسات ویژه.
- دو درب ورودی متوالی با قفل هوا (airlock) و سیستم دوش شیمیایی.
- فشار هوای منفی چندمرحله‌ای و سیستم تهویه کاملاً HEPA فیلترشده.
- کارکنان از لباس‌های تمام‌بدن دارای هوای مثبت (Positive Pressure Suit) استفاده می‌کنند.
- ورود و خروج مواد باید از طریق اتاق دوش مواد (chemical shower) یا اتوکلاو عبوری انجام شود.
- تمام زباله‌ها، هوا، آب و فاضلاب پیش از خروج باید کاملاً استریل شوند.
- کارکنان باید آموزش ویژه در سطح بین‌المللی داشته باشند و از نظر سلامت تحت پایش مداوم قرار گیرند.

- **کاربرد:** پژوهش روی ویروس‌های هموراژیک، عوامل ناشناخته با قدرت انتقال بالا، یا ارگانیسم‌هایی که تهدید زیستی (bioterrorism threat) محسوب می‌شوند.

## ۳-۱-۷ - ضدعفونی و استریلیزاسیون برای مخاطرات زیستی

ضدعفونی (Disinfection) و استریلیزاسیون (Sterilization) دو مرحله کلیدی در کنترل مخاطرات زیستی و حفظ ایمنی در آزمایشگاه هستند. ضدعفونی به معنی کاهش یا از بین بردن بیشتر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا بر روی سطوح است، اما ممکن است

تمام اسپورها را نابود نکند؛ در حالی‌که استریلیزاسیون به معنای نابودی کامل تمام اشکال حیاتی میکروارگانیسم‌ها شامل ازجمله اسپورهای باکتریایی و قارچ‌ها است. انتخاب روش و ماده به نوع عامل زیستی، جنس سطح و ماهیت آلودگی بستگی دارد.

برای باکتری‌ها و مخمرها معمولاً از ضدعفونی‌کننده‌های اکسیدکننده و دناتوره‌کننده استفاده می‌شود؛ الکل ۷۰٪ (اتانول یا ایزوپروپانول) به‌سرعت دیواره سلولی و غشای باکتری را تخریب می‌کند و برای پاک‌سازی سریع سطوح یا ابزار مناسب است، ولی روی اسپورها بی‌اثر است. برای سطوح سخت‌تر، هیپوکلریت سدیم (NaOCl) با غلظت ۰/۵ تا ۱٪ یا پراکسید هیدروژن ۳٪ مؤثرند و توانایی از بین بردن فرم‌های مقاوم‌تر باکتریایی را دارند.

در مورد ویروس‌ها، ترکیبات الکلی، هیپوکلریت سدیم، گلوتارآلدئید ۲٪ و پراکسید هیدروژن از مؤثرترین مواد هستند. الکل برای ویروس‌های دارای پوشش لیپیدی (مانندHIV ، HBV و SARS-CoV-2) بسیار کارآمد است، اما بر ویروس‌های بدون پوشش (مثل آدنوویروس یا نوروویروس) اثر ضعیف‌تری دارد؛ در این موارد محلول‌های هیپوکلریت یا ترکیبات آمونیوم چهارتایی مؤثرترند.

برای قارچ‌ها و اسپورهای قارچی که مقاومت بالایی دارند، ضدعفونی‌کننده‌های قوی‌تر مانند هیپوکلریت سدیم ۱٪، گلوتارآلدئید یا محلول پراستیک اسید به‌کار می‌روند. پاک‌سازی کامل باید با حذف مواد آلی همراه باشد، زیرا وجود پروتئین‌ها و چربی‌ها اثر مواد ضدعفونی‌کننده را کاهش می‌دهد.

در مواردی که استریلیزاسیون کامل مورد نیاز است (مانند ابزار کشت، ظروف شیشه‌ای و پسماندهای آلوده)، از اتوکلاو بخار در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵ تا ۳۰ دقیقه استفاده می‌شود که تمام اشکال میکروبی از جمله اسپورها را از بین می‌برد. برای موادی که به حرارت حساس‌اند (مانند پلاستیک یا مواد حساس به رطوبت)، روش‌های استریلیزاسیون با گاز اتیلن‌اکسید، پراکسید هیدروژن و بخار فرمالدهید استفاده می شود. لازم به ذکر است که این مواد شیمیایی که جهت استریلیزاسیون وسایل مصرفی، تجهیزات پزشکی و یا سطوح استفاده می شوند بسیار خطرناک برای انسان بوده و تحت شرایط استاندارد خود قابل استفاده می باشند و در هنگام کار یا جابجایی این موارد رعایت استاندارد ها بسیار حائز اهمیت می باشد.

تابش فرابنفش(UV) از دیگر موارد در ضد عفونی کردن سطوح در آزمایشگاه می باشد. تابش فرابنفش در در سه حالت UV-A, UV-B و UV-C می باشد که در میان آنها تابش UV-C اثرات ضد میکروبی قوی دارد و یکی از پرکاربرد ترین تجهیزات ضد میکروبی خصوصا برای ضدعفونی کردن سطوح بی جان و هوای اتاق می باشد و در بسیاری از تجهیزات مانند فیلتر های تصفیه کننده هوا و هود های بیولوژیک استفاده می شود. مکانیسم اثر تابش UV-C از طریق اختلال در عملکرد و ساختمان DNA سلول

می باشد و باید توجه داشت که این تابش سرطانزا بوده و در هنگام استفاده از لامپ های UV باید استاندارد های ایمنی لازم را در نظر گرفت.

## ۳-۲ - خطرات شیمیایی (Chemical Hazards)

این گروه شامل تمام موادی است که می‌توانند از طریق تماس، استنشاق یا بلع موجب آسیب شوند. مواد شیمیایی خطرناک بر اساس ماهیت اثرشان بر بدن یا محیط طبقه‌بندی می‌شوند.

### ۳-۲-۱ - طبقه بندی انواع خطر شیمیایی در آزمایشگاه

#### ۳-۲-۱-۱ - مواد سمی (Toxic Substances)

مواد سمی موادی هستند که در اثر تماس پوستی، استنشاق یا بلع می‌توانند باعث آسیب جدی یا مرگ شوند. اثرات آن‌ها ممکن است حاد (در مدت کوتاه) یا مزمن (در تماس طولانی‌مدت) باشد.

- **نمونه‌ها:** متانول، فنول، سیانید سدیم، فرمالدهید، کلروفرم، تولوئن.

- **اقدامات ایمنی:**

- پیش از کار، SDS ماده را مطالعه کنید تا مسیر اصلی جذب و حد مجاز تماس (TLV) را بدانید.
- تمام کارها با مواد سمی باید در هود شیمیایی با تهویه مناسب انجام شود.
- استفاده از دستکش نیتریل یا بوتیل، عینک ایمنی، ماسک فیلتردار N95 یا فیلتر آلی الزامی است.
- از تماس مستقیم با پوست، مخاط و لباس جلوگیری شود.
- ظروف باید درپوش‌دار و دارای برچسب "Toxic" باشند.
- مواد سمی فرار (مانند کلروفرم) در یخچال مخصوص مواد خطرناک نگهداری شوند.
- در صورت تماس یا استنشاق، بلافاصله محل را ترک کرده و به هوای تازه بروید؛ پوست آلوده را با آب فراوان بشویید.

### ۲-۱-۲-۳ - مواد خورنده (Corrosive Substances)

مواد خورنده با تخریب بافت‌های زنده یا حل کردن فلزات باعث سوختگی شیمیایی، آسیب چشمی یا خوردگی تجهیزات می‌شوند.

- **نمونه‌ها:** اسید سولفوریک($H_2SO_4$) ، هیدروکلریک اسید($HCl$) ، سود سوزآور($NaOH$) ، هیپوکلریت سدیم ($NaOCl$).

- **اقدامات ایمنی:**

- استفاده از روپوش، عینک محافظ و دستکش مقاوم$PVC$ ، نئوپرن یا بوتیل الزامی است.
- هنگام رقیق‌سازی، اسید را همیشه به آب اضافه کنید، نه برعکس.
- برای انتقال، از بطری‌های مقاوم با درپوش ایمن و سینی حمل استفاده شود.
- کار با مواد خورنده در هود شیمیایی یا محل تهویه‌دار انجام شود.
- در نزدیکی محل کار، چشم‌شوی و دوش اضطراری باید نصب باشد.
- اسیدها و بازهای قوی را جدا از هم و در سینی‌های مقاوم نگهداری کنید.
- در صورت تماس، محل آلوده را فوراً با آب زیاد (حداقل ۱۵ دقیقه) شست‌وشو دهید.

### ۳-۱-۲-۳ - مواد قابل اشتعال (Flammable Substances)

مواد قابل اشتعال موادی هستند که بخارات آن‌ها در تماس با شعله، جرقه یا گرما به‌سرعت مشتعل می‌شود. خطر اصلی این مواد، آتش‌سوزی و انفجار است.

- **نمونه‌ها:** اتانول، متانول، استون، دی‌اتیل اتر، بنزن، تولوئن، زایلن.

- **اقدامات ایمنی:**

- مواد قابل اشتعال را دور از شعله باز، بخاری، هیتر یا تجهیزات برقی قرار دهید.
- هرگز در نزدیکی این مواد از شعله بونزن یا منبع جرقه استفاده نکنید.
- نگهداری در کابینت مخصوص مواد اشتعال‌پذیر (Flammable Cabinet) الزامی است.

- هنگام کار، از هود تهویه‌دار یا محفظه بسته استفاده کنید.
- استفاده از لباس و کفش ضد الکتریسیته ساکن توصیه می‌شود.
- ظروف فلزی باید به سیستم ارت (زمین) متصل باشند تا از جرقه جلوگیری شود.
- در صورت آتش‌سوزی، از کپسول $CO_2$ یا پودر خشک برای خاموش‌کردن استفاده کنید.

**۴-۱-۲-۳ - مواد اکسیدکننده (Oxidizers)**

مواد اکسیدکننده با آزادسازی اکسیژن یا پذیرش الکترون می‌توانند خود آتش‌گیر نباشند اما باعث تشدید سوختن سایر مواد شوند.

- **نمونه‌ها:** نیترات‌ها ($KNO_3$, $NH_4NO_3$)، پرمنگنات پتاسیم ($KMnO_4$)، پراکسید هیدروژن ($H_2O_2$)، کرومات‌ها، هیپوکلریت‌ها.

- **اقدامات ایمنی:**

- مواد اکسیدکننده را دور از مواد آلی، سوختنی، فلزات پودری و اسیدها نگهداری کنید.
- در محل خنک، خشک و دور از نور مستقیم نگهداری شوند.
- هرگز پراکسیدها را غلیظ یا تبخیر نکنید (خطر انفجار).
- هنگام مخلوط‌کردن، از ظروف شیشه‌ای تمیز و خشک استفاده کنید.
- کار باید در هود تهویه‌دار انجام شود.
- در صورت نشت، از مواد قابل‌سوختن برای جذب استفاده نکنید؛ از ورمیکولیت یا خاک خشک کمک بگیرید.

**۵-۱-۲-۳ - مواد واکنش‌پذیر یا ناپایدار (Reactive / Unstable Substances)**

این مواد در تماس با آب، هوا، یا ضربه ممکن است واکنش شدید، تولید گاز سمی یا انفجار ایجاد کنند.

- **نمونه‌ها:** سدیم فلزی، پتاسیم، فسفر سفید، کاربید کلسیم ($CaC_2$)، پراکسیدهای آلی.

- **اقدامات ایمنی:**

- نگهداری زیر روغن معدنی خشک یا در جو بی‌اثر (آرگون/نیتروژن) انجام شود.

- کار در هود بسته و دور از منابع حرارتی یا شعله انجام شود.
- از ابزارهای غیرجور (چوبی یا پلاستیکی) برای جابه‌جایی استفاده کنید تا جرقه ایجاد نشود.
- همیشه عینک محافظ، دستکش سنگین و روپوش ضد شعله بپوشید.
- در صورت واکنش ناگهانی، محل را فوراً ترک کنید و سیستم تهویه را فعال نگه دارید.
- زباله‌های این مواد نباید با سایر زباله‌های شیمیایی مخلوط شوند.

### ۶-۱-۲-۳ - مواد سرطان‌زا (Carcinogenic Substances)

این مواد می‌توانند باعث ایجاد یا افزایش احتمال سرطان در انسان یا حیوان شوند، حتی در غلظت‌های پایین و تماس‌های مکرر.

- **نمونه‌ها:** بنزن، بنزیدین، فرمالدهید، اتیلن اکسید، آکریل‌آمید، کلروفرم.

- **اقدامات ایمنی:**

- تمام فعالیت‌ها با مواد سرطان‌زا باید در هود شیمیایی با فشار منفی و فیلتر HEPA انجام شود.
- استفاده از PPE کامل شامل دستکش نیتریل دوبل، ماسک فیلتر آلی و روپوش ضدنفوذ الزامی است.
- تماس پوستی یا استنشاق حتی مقدار کم باید به‌عنوان مواجهه جدی در نظر گرفته شود.
- ظروف باید برچسب «Carcinogen – Cancer Hazard» داشته باشند.
- زباله‌های این مواد جداگانه جمع‌آوری و با روش‌های ویژه دفع شوند.
- باردارن یا افراد دارای مشکلات خونی نباید با این مواد کار کنند.

### ۷-۱-۲-۳ - مواد جهش‌زا و تراتوژن (Mutagenic / Teratogenic Substances)

مواد جهش‌زا باعث تغییر در DNA سلولی می‌شوند، در حالی که تراتوژن‌ها باعث ناهنجاری در رشد جنین یا اثرات سمی بر سیستم تولیدمثلی می‌شوند.

- **نمونه‌ها:** داروهای آنتی‌نئوپلاستیک (مانند سیکلوفسفامید)، برخی قلیایی‌ها، اتیل‌متان‌سولفونات(EMS) ، تولوئن، سرب.

**- اقدامات ایمنی:**

- کار با این مواد باید در هود بیولوژیک یا شیمیایی با تهویه کامل انجام شود.
- استفاده از دستکش دوبل، روپوش نفوذناپذیر و ماسک فیلتر مولکولی الزامی است.
- کارکنان باردار یا در سن باروری باید از کار با این مواد معاف شوند.
- زباله‌های حاصل باید در ظروف مخصوص و با برچسب "Reproductive Hazard" دفع شوند.
- محل تماس احتمالی با پوست باید بلافاصله شسته شود.
- هرگونه ریخت‌وپاش باید با مواد جاذب غیرواکنش‌پذیر (مثلاً پد سیلیکاتی) پاک شود.

### ۸-۱-۲-۳ - مواد زیست‌محیطی خطرناک (Environmental Hazardous Substances)

این مواد حتی در غلظت‌های پایین می‌توانند برای موجودات زنده، اکوسیستم‌های آبی یا خاکی، و زنجیره غذایی خطرناک باشند.

**- نمونه‌ها:** جیوه و ترکیبات آن، کروم شش‌ظرفیتی، کادمیوم، سرب، نیکل، آرسنیک، فنول‌ها.

**- اقدامات ایمنی:**

- هرگز این مواد را در فاضلاب یا سینک تخلیه نکنید.
- جمع‌آوری در ظروف مقاوم، درب‌دار و دارای برچسب "Hazardous Waste" انجام شود.
- کار در هود تهویه‌دار و با دستکش مقاوم شیمیایی انجام شود.
- هنگام تماس با فلزات سنگین از تماس پوستی طولانی پرهیز کنید (قابلیت جذب پوستی بالا دارند).
- زباله‌ها به واحد مدیریت پسماند ویژه تحویل داده شوند.
- نشت یا آلودگی باید با مواد جاذب بی‌اثر پاک و محل ضدعفونی شود.

## ۲-۲-۳ - اصول کار ایمن با مواد شیمیایی

### ۱-۲-۲-۳ - پیش از شروع کار

- مطالعه MSDS و شناخت خطرات.

- آماده‌سازی تجهیزات حفاظت فردی (PPE).
- اطمینان از تهویه مناسب و عملکرد صحیح هود.
- بررسی سلامت ظروف شیشه‌ای و درپوش‌ها.
- تهیه محلول‌های خنثی‌کننده یا جاذب (در صورت ریخت‌وپاش احتمالی).

### ۳-۲-۲-۲ - حین کار

- برچسب‌گذاری دقیق همهٔ ظروف با نام ماده، غلظت و تاریخ تهیه.
- هرگز از ظروف مواد غذایی برای نگهداری مواد شیمیایی استفاده نکن.
- در هنگام رقیق‌سازی اسیدها، همیشه اسید را به آب اضافه کن، نه برعکس.
- از تماس مستقیم دست با مواد شیمیایی جلوگیری کن؛ حتی اگر خطر کم باشد.
- در صورت ریختن ماده، فوراً محل را پاک و گزارش کن.

### ۳-۲-۳-۲ - پس از پایان کار

- ظروف را در محل اصلی خود برگردان و درب آن‌ها را محکم ببند.
- پسماندها را طبق نوع (اسیدی، آلی، سمی، بیولوژیک) جدا کن.
- سطح میز کار را با شوینده مناسب تمیز کن.
- در صورت آلودگی لباس یا دست، بلافاصله با آب فراوان شست‌وشو بده.

## ۳-۲-۳ - انبارش و برچسب‌گذاری مواد شیمیایی

انبارش اصولی مواد یکی از مهم‌ترین جنبه‌های ایمنی شیمیایی است. اشتباه در نگهداری می‌تواند موجب واکنش خطرناک یا آتش‌سوزی شود. در مورد نحوه چیدمان مواد شیمیایی باید موارد زیر را رعایت کرد:

- مواد را بر اساس ماهیت خطر تفکیک کن (اسیدها، بازها، اکسیدکننده‌ها، اشتعال‌پذیرها).
- از انبار مشترک اسید و باز یا اکسیدکننده و حلال آلی جداً خودداری کن.

- مواد اشتعال‌پذیر را در کابینت فلزی مقاوم به آتش، دور از شعله نگه‌دار.
- مواد فرّار را در دمای پایین و در ظروف درب‌دار نگه‌دار.
- تاریخ باز شدن مواد را روی ظرف بنویس تا زمان مصرف مشخص باشد.
- ظروف بزرگ اسید یا باز باید در سینی ثانویه قرار گیرند تا در صورت نشت، انتشار محدود شود.

### ۳-۲-۴ - حمل و انتقال مواد شیمیایی

- برای انتقال مواد خورنده یا حجیم از بطری‌گیر پلاستیکی (Carrier) استفاده کن.
- هنگام جابه‌جایی اسیدها یا حلال‌ها، مسیر باید خالی و خشک باشد.
- هرگز مواد ناسازگار را در یک دست هم‌زمان حمل نکن (مثلاً اسید و حلال آلی).
- برای حمل نیتروژن مایع، از ظروف دو جداره مخصوص (Dewar flask) استفاده شود.

### ۳-۲-۵ - مدیریت پاشش مواد (Spill Management)

ریختن ناگهانی مواد شیمیایی در آزمایشگاه خطرناک است و باید با آرامش و روش استاندارد کنترل شود. مراحل مدیریت پاشش به شرح زیر می باشد:

۱. اطلاع فوری به دیگران و تخلیه محل در صورت خطر.
۲. استفاده از PPE مناسب (دستکش، ماسک، عینک).
۳. جلوگیری از گسترش ماده با مواد جاذب (مثلاً خاک دیاتومه، شن خشک، یا جاذب ویژه).
۴. جمع‌آوری ماده و شست‌وشوی محل با ماده خنثی‌کننده (برای اسیدها: بی‌کربنات سدیم؛ برای بازها: محلول اسیدی ضعیف).
۵. دفع پسماند مطابق دستورالعمل.
۶. گزارش رسمی حادثه به مسئول ایمنی یا سرپرست آزمایشگاه.

### ۳-۲-۶ - دفع پسماندهای شیمیایی

دفع نادرست مواد شیمیایی یکی از علل آلودگی محیط‌زیست و خطرات انسانی است. پسماندها باید به تفکیک نوع خطر دفع گردند که خلاصه آن در جدول ۲ ذکر گردیده است:

**جدول ۲- روش‌های دفع انواع پسماند**

| نوع پسماند | روش دفع پیشنهادی |
|---|---|
| اسیدی یا بازی | خنثی‌سازی تا pH ۶–۸ و سپس رقیق‌سازی در آب زیاد (در صورت مجاز بودن) |
| آلی فرّار (اتانول، استون) | جمع‌آوری در ظروف مقاوم دردار و تحویل به واحد پسماند |
| فلزات سنگین(Hg, Pb, Cd) | ته‌نشینی با عامل رسوب‌دهنده و جمع‌آوری در ظروف جداگانه |
| مواد سمی یا سرطان‌زا | امحاء در شرایط کنترل‌شده یا شرکت‌های دارای مجوز رسمی |
| مواد اکسیدکننده | رقیق‌سازی و کاهش با عامل مناسب (مثلاً تیوسولفات سدیم) |

### ۳-۲-۷ - پاسخ به شرایط اضطراری

در مواجهه با حوادث شیمیایی، واکنش سریع و آگاهانه حیاتی است.

#### ۳-۲-۷-۱ - در تماس با پوست یا چشم:

- بلافاصله محل تماس را با آب فراوان (حداقل ۱۵ دقیقه) شست‌وشو بدهید.
- لباس آلوده را فوراً خارج کنید.
- در صورت تماس چشم با اسید یا باز، از چشم‌شوی اضطراری استفاده و به درمانگاه مراجعه کنید.

#### ۳-۲-۷-۲ - در استنشاق بخارات سمی:

- فرد را فوراً به هوای آزاد منتقل کنید
- از تهویه یا فن روشن برای پراکنده کردن بخارات استفاده نکنید (ممکن است آتش‌زا باشد).
- در صورت تنگی نفس یا بی‌هوشی، فوراً امداد پزشکی خبر کنید.

**۳-۷-۲-۳ - در بلع مواد شیمیایی:**

- هرگز استفراغ القا نکنید مگر پزشک دستور دهد.
- برگه MSDS ماده را همراه فرد به مراکز درمانی ببرید

## ۳-۳ - خطرات فیزیکی (Physical Hazards)

خطرات فیزیکی به عواملی گفته می‌شود که بدون دخالت مواد شیمیایی یا عوامل زیستی، از طریق انرژی‌های فیزیکی (گرما، سرما، تابش، صدا، فشار یا نیروهای مکانیکی) می‌توانند به بدن انسان، تجهیزات آزمایشگاهی یا محیط آسیب وارد کنند. این خطرات معمولاً پنهان، تدریجی و غیرقابل مشاهده هستند و می‌توانند منجر به سوختگی، سرمازدگی، آسیب چشمی، کم‌شنوایی، خستگی یا صدمات عضلانی شوند. شناخت آن‌ها برای پیشگیری از آسیب‌های شغلی و خطاهای انسانی در محیط آزمایشگاه ضروری است.

### ۳-۳-۱ - انواع خطرات فیزیکی و منابع آن‌ها

**۳-۳-۱-۱ - شعله و گرما (Fire & Heat Hazards)**

**- منابع:** شعله بونزن، مشعل الکلی، هیتر، حمام آب گرم، آون خشک‌کن، اتوکلاو.

**- خطرات:**

- سوختگی پوست یا لباس بر اثر تماس مستقیم یا گرمای زیاد.
- آتش‌سوزی ناشی از تماس مواد قابل اشتعال با شعله باز.
- انفجار ناشی از گرم‌شدن بطری‌های بسته یا مواد فرار.

**- اقدامات ایمنی:**

- دور نگه‌داشتن مواد فرار و اشتعال‌پذیر از شعله.
- عدم استفاده از لباس‌های مصنوعی (پلی‌استر، نایلون) در کار با شعله.
- اطمینان از خاموش بودن شعله پس از پایان کار.

- بررسی سلامت شیلنگ گاز و شیر قبل از استفاده.
- وجود کپسول آتش‌نشانی $CO_2$ یا پودر خشک در نزدیکی محل کار.
- استفاده از پتو آتش (Fire Blanket) برای خاموش‌کردن آتش روی لباس یا بدن.

**۲-۱-۳-۳ - سرما و انجماد (Cold & Cryogenic Hazards)**

**- منابع:** نیتروژن مایع، یخ خشک$CO_2$ ، فریزرهای$-۲۰^{\circ}C$ و $-۸۰^{\circ}C$ ، مخازن کرایوژنیک.

**- خطرات:**

- سرمازدگی پوست (Frostbite) در اثر تماس مستقیم.
- آسیب چشمی از بخارات سرد نیتروژن.
- خفگی (Asphyxia) در فضاهای بسته به‌دلیل کاهش اکسیژن محیط.
- شکستگی ناگهانی ظروف شیشه‌ای در دماهای پایین.

**- اقدامات ایمنی:**

- استفاده از دستکش ضخیم کرایوژنیک، پیش‌بند چرمی، و عینک ایمنی.
- هرگز نیتروژن مایع را در ظرف بسته ذخیره نکنید (خطر انفجار).
- نگهداری در مکان دارای تهویه مناسب.
- تماس مستقیم پوست با یخ خشک یا بخار نیتروژن ممنوع است.
- برای انتقال از ظروف مخصوص کرایوژن (Dewar) با درپوش آزاد استفاده شود.

**۳-۱-۳-۳ - تشعشع (Radiation Hazards)**

**- منابع:** دستگاه‌های تولید اشعهX ، رادیوایزوتوپ‌ها($^{32}P$, $^{131}I$) ، منابع$\gamma$ ، نور$UV$ (هودها، لامپ‌های ضدعفونی)

**- انواع:**

- **اشعه یونیزان X (Ionizing Radiation)**: شامل اشعه های X و γ که قادر به تخریب DNA و ایجاد سرطان هستند.
- **اشعه غیریونیزان (Non-ionizing)**: شامل اشعه های مادون قرمز (IR)، UV، میکروویو بوده و باعث سوختگی پوست و آسیب شبکیه چشم می شوند.

**- اقدامات ایمنی:**

- استفاده از سرب‌پوش (Lead Apron) و دستکش و عینک مخصوص اشعه.
- محدودکردن زمان قرارگیری در معرض تابش.
- افزایش فاصله از منبع.
- استفاده از حفاظ مناسب.
- نصب علائم هشدار «Radiation Hazard» در نواحی تابشی.
- بررسی دوره‌ای دزیمتری پرسنل با Badge یا Dosimeter.
- خاموش کردن منابع UV قبل از ورود افراد به هود یا اتاق.

### ۴-۱-۳-۳ - صدا و لرزش (Noise & Vibration Hazards)

**- منابع:** سانتریفیوژهای پرسرعت، شیکرها، پمپ خلأ، کمپرسورها، سونیکاتور

**- خطرات:**

- کم‌شنوایی تدریجی.
- خستگی، استرس، اختلال در تمرکز و تعادل.
- لق‌شدن اتصالات یا شکست مکانیکی تجهیزات.

**- اقدامات ایمنی:**

- استفاده از گوش‌گیر یا Ear Muff در محیط‌های پرصدا.
- نگهداری و ترازکردن صحیح سانتریفیوژها و شیکرها.

- انجام سرویس دوره‌ای دستگاه‌ها برای کاهش لرزش.
- قرار دادن تجهیزات پرصدا در اتاق جداگانه یا با دیواره جاذب صوت.

**۵-۱-۳-۳ - نور شدید و لیزر (High-intensity Light & Laser Hazards)**

- **منابع:** لیزرهای پژوهشی، دستگاه‌های تصویربرداری، فلوریمتری، و نور UV در هودها.

- **خطرات:**

- سوختگی قرنیه (Photokeratitis) یا آسیب شبکیه در اثر نور لیزر.
- سوختگی پوست یا ایجاد لکه‌های رنگدانه‌ای.
- خطر آتش‌سوزی در صورت انعکاس ناگهانی پرتو به سطوح براق.

- **اقدامات ایمنی:**

- استفاده از عینک محافظ متناسب با طول موج لیزر مشخص.
- بستن درب اتاق لیزر و نصب علامت هشدار"Laser in Use"
- عدم نگاه مستقیم به پرتو یا انعکاس آن.
- حذف سطوح آینه‌ای و براق از مسیر پرتو.
- استفاده از حفاظ لیزر یا محفظه اپتیکی بسته در زمان کار.

**۶-۱-۳-۳ - لغزش، سقوط و موانع محیطی (Slips, Trips & Falls)**

- **منابع:** زمین مرطوب، مواد ریخته‌شده، کابل‌های باز، صندلی یا چهارپایه نامناسب، نردبان‌ها.

- **خطرات:**

- شکستگی، دررفتگی، کبودی یا صدمات ستون فقرات.
- آسیب به وسایل یا مواد حساس هنگام افتادن.

**- اقدامات ایمنی:**

- تمیزکردن فوری هرگونه مایع یا ماده ریخته‌شده روی زمین.
- استفاده از کفش بسته، ضد لغزش و مقاوم.
- جمع‌کردن کابل‌ها با گیره و نصب محافظ کابل.
- استفاده از نردبان پایدار برای دسترسی به طبقات بالا، نه صندلی.
- نصب علائم هشدار "Wet Floor" هنگام نظافت.

## ۲-۳-۳ - واکنش اضطراری در حوادث فیزیکی

- **سوختگی حرارتی:** محل را با آب خنک (نه یخ) به مدت ۱۵ دقیقه شست‌وشو دهید، سپس پانسمان استریل و مراجعه به پزشک.
- **سرمازدگی:** پوست را به‌تدریج گرم کنید (نه با حرارت مستقیم) و از ماساژ دادن خودداری کنید.
- **تماس با نیتروژن یا یخ خشک:** لباس آلوده را در نیاورید؛ با آب ولرم به‌آرامی گرم کنید.
- **آسیب چشمی با لیزر یا UV**: چشم‌ها را ببندید، نور محیط را کم کنید و فوراً به چشم‌پزشک مراجعه کنید.
- **لغزش یا سقوط:** در صورت درد شدید، جابه‌جایی انجام ندهید و از کمک همکاران یا اورژانس استفاده کنید.

## ۳-۴ - خطرات مکانیکی (Mechanical Hazards)

خطرات مکانیکی به هر نوع آسیب یا تهدیدی گفته می‌شود که از حرکت فیزیکی قطعات دستگاه‌ها، اجسام تحت فشار یا ابزارهای برنده و شکننده ناشی می‌شود. این خطرات معمولاً به‌صورت ناگهانی رخ می‌دهند و از مهم‌ترین علل جراحات شغلی در آزمایشگاه‌ها هستند. آسیب‌های مکانیکی ممکن است ناشی از چرخش، ارتعاش، فشار، برش، شکست یا انفجار باشند و می‌توانند منجر به بریدگی، کوفتگی، شکستگی یا حتی آسیب جدی به چشم و صورت شوند.

## ۱-۴-۳ - انواع خطرات مکانیکی و منابع آن‌ها

### ۱-۱-۴-۳ - تجهیزات چرخشی و لرزشی (Rotating Equipment)

- **نمونه‌ها:** سانتریفیوژ، هم‌زن مغناطیسی، میکسر.

- **خطرات:**

- شکست لوله سانتریفیوژ و پرتاب قطعات با سرعت بالا.
- لرزش و خروج دستگاه از تعادل در اثر توزیع نامتقارن نمونه‌ها.
- گیرکردن مو یا لباس در اجزاء متحرک.

- **اقدامات ایمنی:**

- تعادل دقیق لوله‌ها در سانتریفیوژ قبل از روشن‌کردن.
- بستن کامل درب دستگاه تا توقف کامل چرخش.
- بستن موهای بلند، عدم استفاده از لباس آزاد یا دستبند.
- انجام سرویس دوره‌ای سانتریفیوژ و بررسی وضعیت روتور.
- عدم بازکردن درب دستگاه تا زمان توقف کامل چرخش.

### ۲-۱-۴-۳ - وسایل تیز و برنده (Sharps Hazards)

- **نمونه‌ها:** اسکالپل، تیغ، سوزن تزریق، لام شکسته، سرسوزن، شیشه‌های آسیب‌دیده.

- **خطرات:**

- بریدگی پوست یا سوراخ شدن دست.
- انتقال عوامل عفونی در صورت آلودگی (HBV, HIV).
- پارگی دستکش یا آلودگی تجهیزات.

**- اقدامات ایمنی:**

- استفاده از دستکش مقاوم در برابر برش (Cut-resistant gloves) هنگام کار با شیشه یا فلز.
- پرهیز از خم‌کردن، شکستن یا گذاشتن مجدد درپوش سوزن.
- دفع تمام وسایل تیز در ظروف زرد مخصوص Sharps با درب قفل‌شونده.
- در صورت شکستن شیشه، استفاده از جارو و خاک‌انداز (هرگز با دستجمع آوری نشود).
- گزارش و درمان فوری هر بریدگی یا زخم سوزنی.

### ۳-۱-۴-۳ - تجهیزات تحت فشار (Pressurized Systems)

**- نمونه‌ها:** سیلندرهای گاز $CO_2$ ، نیتروژن، اکسیژن، سیستم‌های خلأ و کمپرسور.

**- خطرات:**

- انفجار یا پرتاب سیلندر در اثر شکست شیر یا افتادن.
- نشت گاز و خفگی در فضای بسته.
- انجماد یا سوختگی سرد در تماس با گازهای کرایوژنیک.

**- اقدامات ایمنی:**

- همیشه سیلندرها را با زنجیر یا بست فلزی به دیوار محکم کنید.
- استفاده از کلاهک محافظ شیر (Valve Cap) هنگام جابجایی.
- نگهداری سیلندرها دور از گرما، نور مستقیم و مواد قابل اشتعال.
- علامت‌گذاری واضح گاز محتوی و وضعیت پر یا خالی.
- عدم استفاده از سیلندرهای بدون برچسب یا دارای نشتی.
- جابجایی فقط با چرخ‌دستی مخصوص(Cylinder Trolley).

**۴-۱-۴-۳ - شکستگی ظروف و مواد شکننده (Glassware Breakage)**

- **نمونه‌ها:** بالن، ارلن، پیپت، لوله آزمایش، بورت.

- **خطرات:**

- بریدگی پوست، پاشش مواد شیمیایی یا عفونی.
- شکست ناشی از اختلاف دما یا فشار ناگهانی.

- **اقدامات ایمنی:**

- بازرسی ظروف شیشه‌ای قبل از استفاده از نظر ترک یا لب‌پریدگی.
- عدم استفاده از ظروف گرم‌شده برای شوک سرمایی یا بالعکس.
- استفاده از محافظ شیشه (Glass Shield) هنگام حرارت دادن یا سانتریفیوژ.
- جمع‌آوری خرده‌شیشه در ظروف مخصوص"Broken Glass" ، نه در سطل زباله معمولی.

## ۳-۵ - خطرات الکتریکی (Electrical Hazards)

خطرات الکتریکی به مجموعه تهدیدهایی گفته می‌شود که در اثر عبور جریان الکتریکی از بدن یا عملکرد ناصحیح تجهیزات برقی ایجاد می‌شوند. برق در محیط‌های آزمایشگاهی، به دلیل وجود رطوبت، مایعات رسانا، تجهیزات فلزی و دستگاه‌های متعدد، یکی از جدی‌ترین منابع خطر محسوب می‌شود. این خطرات می‌توانند منجر به برق‌گرفتگی، سوختگی حرارتی، آتش‌سوزی، یا حتی انفجار گازها و بخارات قابل اشتعال شوند. منابع اصلی خطرات الکتریکی در آزمایشگاه شامل موارد زیر می باشد:

- سیم‌ها و کابل‌های فرسوده، آسیب‌دیده یا بدون عایق مناسب.
- دوشاخه‌ها یا پریزهای شل و ناقص.
- تماس مستقیم یا غیرمستقیم تجهیزات برقی با مایعات و بخارات.
- بارگذاری بیش از حد در مدار (Overload).
- عدم وجود اتصال زمین (ارت) مناسب.

- استفاده از چندراهی‌ها و سیم‌افزاینده‌های غیراستاندارد.
- تعمیر یا تمیزکاری دستگاه‌ها بدون قطع برق.
- وجود بخارات اشتعال‌پذیر در مجاورت تجهیزات برقی.

## ۱-۵-۳ - انواع خطرات الکتریکی و اثرات آن‌ها

### ۱-۱-۵-۳ - شوک الکتریکی (Electric Shock)

عبور جریان الکتریکی از بدن انسان که باعث انقباض عضلات، توقف تنفس یا ایست قلبی می‌شود.

- **پیامدها:** بی‌حسی، درد عضلانی، فلج موقت، از دست دادن هوشیاری، یا مرگ در ولتاژ بالا.

- **پیشگیری:**

- هرگز با دست مرطوب یا کف مرطوب به تجهیزات برقی دست نزنید.
- تجهیزات باید دارای سیم ارت استاندارد (Ground Wire) باشند.
- دستگاه‌های دارای نقص یا اتصال بدنه فوراً از مدار خارج شوند.
- استفاده از کفپوش عایق یا فرش ضدالکتریسیته در محل‌های مرطوب.
- آموزش نحوه قطع فوری برق (Emergency Switch) به تمام کارکنان.

### ۲-۱-۵-۳ - سوختگی‌های الکتریکی (Electrical Burns)

- **منشأ:** جریان زیاد یا قوس الکتریکی (Arc Flash) که باعث دمای بیش از ۵۰۰۰ سانتی گراد در نقطه تماس می‌شود.

- **پیامد:** سوختگی شدید پوست، بافت عضلانی یا حتی استخوان.

- **پیشگیری:**

- استفاده از دستکش عایق برق (Insulated Gloves) هنگام کار با مدارها.
- عدم دست‌کاری پریزها یا دوشاخه‌ها در حال اتصال.

- تمیز نگه‌داشتن سطوح از گردوغبار و رطوبت برای جلوگیری از قوس.
- خاموش کردن دستگاه قبل از هرگونه تعمیر یا تنظیم.

### ۳-۱-۵-۳ - آتش‌سوزی و انفجار (Electrical Fire & Explosion)

- **منشأ:** اتصال کوتاه، اضافه‌بار، یا تماس جرقه با مواد فرار.

- **پیامد:** آتش‌سوزی گسترده، انفجار بخارات اتانول یا حلال‌ها.

- **پیشگیری:**

- استفاده از فیوز یا کلید محافظ جریان (Circuit Breaker) برای هر مدار.
- عدم قرار دادن کابل‌ها در مسیر عبور یا زیر فرش.
- دور نگه‌داشتن مواد اشتعال‌پذیر از پریزها، هیترها و دوشاخه‌ها.
- بررسی دوره‌ای کابل‌ها و جایگزینی آن‌ها در صورت شکستگی یا تغییر رنگ.
- در صورت بروز آتش‌سوزی برقی، هرگز از آب استفاده نکنید؛ فقط از کپسول $CO_2$ یا پودر خشک استفاده شود.

## ۳-۵-۲ - واکنش اضطراری در حوادث الکتریکی

### ۳-۵-۲-۱ - قطع فوری جریان برق

- اگر فرد دچار برق‌گرفتگی شده، با دست خالی به او دست نزنید.
- برق را از منبع اصلی یا کلید اضطراری قطع کنید.
- در صورت عدم دسترسی، از وسیله‌ی خشک و نارسانا (چوب خشک یا پلاستیک) برای جدا کردن سیم از بدن استفاده کنید.

## ۳-۶ - خطرات ارگونومیک و روانی (Ergonomic & Psychosocial Hazards)

خطرات ارگونومیک و روانی به مجموعه عواملی گفته می‌شود که به دلیل طراحی نامناسب محل کار، وضعیت بدنی نادرست، حرکات تکراری، فشار کاری یا تنش‌های روانی باعث آسیب‌های جسمی، خستگی، کاهش تمرکز یا بروز خطای انسانی می‌شوند. در آزمایشگاه‌های مدرن که کار دقیق، تکراری و نیازمند تمرکز بالا است، این خطرات از مهم‌ترین عوامل کاهش بهره‌وری و افزایش آسیب‌های مزمن اسکلتی-عضلانی و روحی محسوب می‌شوند.

### ۳-۶-۱ - انواع خطرات ارگونومیک

#### ۳-۶-۱-۱ - وضعیت بدنی نادرست (Poor Posture)

**- نمونه‌ها:**

- خم شدن طولانی‌مدت بر روی میکروسکوپ یا زیر هود.
- نشستن یا ایستادن طولانی بدون تغییر وضعیت.
- میز یا صندلی با ارتفاع نامناسب.

**- پیامدها:**

- درد گردن، شانه و کمر.
- فتق دیسک یا گرفتگی عضلات.
- خستگی زودرس و کاهش تمرکز.

**- پیشگیری:**

- تنظیم ارتفاع میز و صندلی متناسب با قد کاربر.
- نگه‌داشتن پشت صاف و آرنج در زاویه ۹۰ درجه.
- استفاده از پشتی کمری و زیرپایی قابل تنظیم.

- تغییر وضعیت بدنی یا ایستادن کوتاه هر ۴۵ تا ۶۰ دقیقه.

**۲-۱-۶-۳ - حرکات تکراری و نیروی بیش از حد (Repetitive Motion & Overexertion)**

- **نمونه‌ها:** کار مداوم با پیپت، میکروپیپت یا ابزار دقیق؛ بازکردن درپوش‌های متعدد لوله‌ها.

- **پیامدها:**

- سندرم تونل کارپال(Carpal Tunnel Syndrome)
- التهاب تاندون‌ها (Tendinitis)
- درد مچ، آرنج یا شانه.

- **پیشگیری:**

- استفاده از پیپت خودکار یا ارگونومیک با طراحی مناسب دست.
- تغییر وظایف یا استراحت کوتاه برای کاهش بار تکراری.
- انجام حرکات کششی ساده برای مچ و شانه‌ها بین کار.
- عدم استفاده مداوم از یک دست برای کارهای دقیق.

**۳-۱-۶-۳ - بلند کردن و جابه‌جایی اجسام سنگین (Manual Handling)**

- **نمونه‌ها:** جابه‌جایی سیلندر گاز، بطری‌های محلول، دستگاه‌های آزمایشگاهی سنگین.

- **پیامدها:**

- کشیدگی یا پارگی عضلات کمر و شانه.
- دررفتگی مفاصل یا سقوط اجسام.

- **پیشگیری:**

- آموزش روش بلند کردن صحیح بار :زانوها خم، کمر صاف، و استفاده از عضلات پا.
- استفاده از چرخ‌دستی یا گاری آزمایشگاهی.
- جابجایی بار سنگین به‌صورت دو نفره.
- عدم چرخش ناگهانی بدن در هنگام بلند کردن اجسام.

**۴-۱-۶-۳ - نور و صدای نامناسب (Lighting & Noise)**

- **نمونه‌ها:** نور زیاد یا کم در زیر هود یا هنگام کار با میکروسکوپ، صدای مداوم سانتریفیوژ یا پمپ خلأ.

- **پیامدها:**

- خستگی چشم، سردرد، یا کاهش دقت دید.
- تحریک‌پذیری عصبی، اضطراب یا خستگی ذهنی.

- **پیشگیری:**

- استفاده از نور یکنواخت و ملایم با شدت مناسب کار.
- تمیز نگه‌داشتن سطح لنزها و صفحه‌های کار برای بازتاب بهتر نور.
- کنترل منبع صدا یا نصب دیواره جاذب صوتی برای کاهش نویز محیطی.

**۵-۱-۶-۳ - فشار کاری و استرس شغلی(Workload & Stress)**

- **منشأ:** حجم زیاد کار، محدودیت زمانی، مسئولیت بالا، یا ترس از اشتباه و سرزنش.

**پیامدها:**

- اضطراب، خستگی ذهنی، کاهش تمرکز.
- افزایش احتمال خطا در اندازه‌گیری و آزمایش‌ها.
- بی‌خوابی، تحریک‌پذیری و کاهش عملکرد شناختی.

**پیشگیری:**

- تقسیم منطقی وظایف و تعیین اولویت‌ها.
- ایجاد فرهنگ حمایتی و بازخورد مثبت بین کارکنان.
- برگزاری جلسات مشاوره یا گفتگوهای گروهی برای کاهش تنش.
- تشویق کارکنان به مرخصی و استراحت منظم.

**۶-۱-۶-۳ - شیفت‌های طولانی و بی‌نظمی ساعت کاری**

- **پیامدها:** خستگی، بی‌خوابی، کاهش هوشیاری، افزایش احتمال حادثه.

- **پیشگیری:**

- برنامه‌ریزی چرخشی شیفت‌ها و اجتناب از بیش از ۸ ساعت کار پیوسته.
- استراحت کوتاه بین شیفت‌ها و وعده غذایی منظم.
- پایش علائم خستگی در کارکنان آزمایشگاه.

## ۲-۶-۳ - اثرات خطرات ارگونومیک و روانی بر سلامت

- دردهای عضلانی و مفصلی مزمن.
- سردرد و خستگی چشم.
- اضطراب، افسردگی یا کاهش رضایت شغلی.
- کاهش تمرکز، خطای انسانی و بروز حوادث آزمایشگاهی.

## ۳-۶-۳ - اقدامات کلی پیشگیرانه

- طراحی محیط کار بر اساس اصول ارگونومی انسانی.
- تنظیم ارتفاع میز، صندلی و هود متناسب با قد کاربر.

- استفاده از ابزارهای ارگونومیک مانند پیپت خودکار، پشتی کمری و زیرپایی.
- انجام حرکات کششی ساده برای گردن، شانه، و دست‌ها در بین کار.
- استفاده از کف‌پوش نرم در محل‌های ایستاده طولانی.
- ایجاد فرهنگ ارتباطی مثبت، حمایت روانی، و احترام متقابل در تیم کاری.
- تشویق کارکنان به گزارش علائم جسمی یا روانی بدون ترس از توبیخ.
- برگزاری کارگاه‌های آموزشی در زمینه مدیریت استرس و پیشگیری از فرسودگی شغلی.

### ۴-۶-۳ - واکنش اضطراری یا اقدامات اصلاحی

- در صورت بروز درد یا بی‌حسی در اندام‌ها، کار باید بلافاصله متوقف شود و وضعیت بدن اصلاح گردد.
- در صورت بروز نشانه‌های استرس یا اضطراب شدید، فرد باید به واحد مشاوره سلامت شغلی ارجاع داده شود.
- ارزیابی محیط کار توسط کارشناس ارگونومی یا ایمنی شغلی برای اصلاح چیدمان تجهیزات.
- ثبت و بررسی هر مورد از آسیب‌های اسکلتی–عضلانی یا روانی جهت پیشگیری از تکرار.

## ۴ - قوانین عمومی ایمنی در آزمایشگاه

قوانین عمومی ایمنی در آزمایشگاه تنها به مرحله‌ی آغاز کار محدود نمی‌شوند، بلکه تمام چرخه‌ی فعالیت آزمایشگاهی را شامل می‌شوند. برخی از آن‌ها به پیش از شروع کار مربوط‌اند، مانند آگاهی از خطرات، بررسی سلامت تجهیزات و آماده‌سازی محیط؛ برخی دیگر مخصوص حین انجام کار هستند، مانند رعایت رفتار ایمن، استفاده از وسایل حفاظت فردی و جلوگیری از آلودگی یا ریخت‌وپاش مواد؛ و گروهی نیز به پایان کار مربوط می‌شوند، از جمله پاک‌سازی محل، دفع ایمن پسماندها و ثبت گزارش فعالیت‌ها. افزون بر این، بخشی از قوانین به دانشجویان (در زمینه آموزش رفتار ایمن و کار تحت نظارت) اختصاص دارد، در حالی‌که مجموعه‌ای از مقررات تخصصی‌تر برای کارشناسان و کارکنان دائم آزمایشگاه تدوین شده تا مسئولیت نگهداری، ایمنی فنی و کنترل مواد خطرناک را بر عهده داشته باشند.

## ۱-۴ - قوانین کلی پیش، حین و پس از کار در آزمایشگاه

- ورود به آزمایشگاه فقط برای افراد آموزش‌دیده و دارای مجوز مجاز است.
- حضور افراد غیرمرتبط، بازدیدکنندگان یا کودکان در آزمایشگاه ممنوع است.
- پیش از شروع کار، دستورالعمل‌ها (SOPs) و برگه‌های اطلاعات ایمنی (SDS) باید مطالعه شوند.
- هیچ‌گاه بدون آگاهی از خطرات، با ماده یا وسیله‌ای کار نکنید.
- محل خروج اضطراری، دوش ایمنی، چشم‌شوی، جعبه کمک‌های اولیه و کپسول آتش‌نشانی را بشناسید.
- همیشه نظم، تمیزی و انضباط کاری را حفظ کنید؛ محیط آزمایشگاه نباید شلوغ یا آشفته باشد.
- هیچ‌گاه مواد غذایی، نوشیدنی یا ظروف غیرآزمایشگاهی در محیط نگهداری نکنید.
- هرگونه حادثه، تماس پوستی، نشت یا آسیب باید فوراً گزارش شود، حتی اگر جزئی باشد.
- قبل از ترک آزمایشگاه، دست‌ها با آب و صابون شسته شوند.
- پوشیدن روپوش آزمایشگاهی الزامی است؛ باید آستین‌بلند، پنبه‌ای و دکمه‌دار باشد.
- روپوش باید کاملاً بسته شود (دکمه‌ها یا زیپ بسته باشند).
- کفش باید بسته و مقاوم باشد (صندل، دمپایی یا کفش باز ممنوع است).
- استفاده از شلوار بلند الزامی است (پوشیدن شلوارک یا دامن کوتاه ممنوع).
- موهای بلند باید بسته و داخل روپوش یا پشت سر جمع شوند.
- استفاده از دستکش مناسب نوع کار (نیتریل، لاتکس، PVC) الزامی است.
- هنگام کار با مواد خورنده، فرار یا پاشیدنی، عینک ایمنی یا محافظ صورت استفاده شود.
- در فعالیت‌هایی با احتمال تولید آئروسل یا بخارات سمی، ماسک فیلتردار یا N95 مورد استفاده قرار گیرد.
- وسایل حفاظت فردی نباید خارج از محیط آزمایشگاه پوشیده یا جابجا شوند.
- لباس‌های آلوده باید در محل تعیین‌شده جمع‌آوری و شست‌وشو شوند.
- پیپت‌کردن با دهان به‌طور کامل ممنوع است؛ از پیپتور یا پیپت‌بال استفاده شود.
- از خوردن، نوشیدن، آدامس جویدن و استعمال دخانیات در آزمایشگاه خودداری شود.
- هرگز از ظروف آزمایشگاهی برای نگهداری مواد خوراکی استفاده نکنید.

- هرگز با دست برهنه درپوش یا شیشه شکسته را لمس نکنید.
- برچسب تمام ظروف باید خوانا، دقیق و شامل نام ماده، غلظت و تاریخ باشد.
- هرگز مواد شیمیایی یا بیولوژیکی ناشناخته را بو نکشید یا مزه نکنید.
- برای بوییدن مواد، از روش دست‌زدن و هدایت بخار به بینی (wafting) استفاده کنید.
- همیشه در محل کار خود بایستید؛ از تکیه دادن یا نشستن روی میز کار پرهیز کنید.
- محل کار را تمیز و خشک نگه دارید؛ هرگونه نشت فوراً تمیز شود.
- ابزارها را بلافاصله پس از استفاده تمیز و در محل مناسب قرار دهید.
- در حین کار تمرکز کامل داشته باشید؛ صحبت یا شوخی در نزدیکی مواد خطرناک ممنوع است.
- قبل از استفاده از هر ماده، SDS آن را بخوانید و خطرات (خورندگی، اشتعال، سمیت) را بشناسید.
- مواد شیمیایی ناسازگار (اسید و باز، اکسیدکننده و آلی‌ها، فلزات و آب) جدا از هم نگهداری شوند.
- اسیدها همیشه باید به‌آرامی به آب اضافه شوند (نه برعکس).
- بطری‌ها و ظروف باید در زمان حمل با هر دو دست گرفته شوند.
- مواد فرار یا سمی باید در هود شیمیایی استفاده شوند.
- از گرم‌کردن مستقیم با شعله خودداری کنید مگر با تایید ایمنی.
- پسماندهای شیمیایی در ظروف مشخص، با برچسب نوع ماده جمع‌آوری شوند.
- هرگز مواد شیمیایی را در سینک خالی نریزید مگر طبق دستورالعمل مشخص.
- پیش از شروع، سطح کار با ضدعفونی‌کننده مناسب (مثلاً هیپوکلریت سدیم یا اتانول ۷۰٪) تمیز شود.
- نمونه‌ها باید در ظروف مقاوم در برابر نشت و با برچسب Biohazard نگهداری شوند.
- هنگام کار با نمونه‌های عفونی یا تولیدکننده آئروسل از هود بیولوژیکال کلاس II استفاده کنید.
- هرگونه نشت، تماس یا آسیب با نمونه باید فوراً گزارش و محل ضدعفونی شود.
- دستکش‌های آلوده نباید با وسایل عمومی (در، تلفن، قلم) تماس داشته باشند.
- زباله‌های زیستی باید در کیسه‌های نارنجی یا قرمز مخصوص با علامت بیوهازارد جمع‌آوری و اتوکلاو شوند.
- خروج مواد زیستی از آزمایشگاه باید با مجوز و بسته‌بندی دو لایه انجام شود.
- فقط افرادی که آموزش دیده‌اند مجاز به استفاده از وسایل (سانتریفیوژ، اتوکلاو، میکروسکوپ، هود و ...) هستند.

- قبل از روشن‌کردن دستگاه، دفترچه راهنما را بخوانید و از سلامت اتصالات مطمئن شوید.
- وسایل برقی نباید با دست مرطوب لمس شوند.
- سیم‌های آسیب‌دیده یا کابل‌های فرسوده فوراً گزارش و تعویض شوند.
- سانتریفیوژ باید همیشه با لوله‌های متعادل روشن شود.
- لامپ‌های UV فقط در حالت بسته یا بدون حضور افراد روشن شوند.
- ابزار شیشه‌ای ترک‌دار یا شکسته نباید استفاده شود.
- شیشه شکسته در ظرف مخصوص "Broken Glass" جمع‌آوری شود، نه در سطل معمولی.
- منابع آتش‌زا (شعله باز، بخاری، هیتر) از مواد اشتعال‌پذیر دور نگه داشته شوند.
- هیچ‌گاه مواد فرار (اتانول، استون، اتر) را در نزدیکی شعله باز استفاده نکنید.
- بدانید کدام نوع کپسول آتش‌نشانی برای چه نوع آتش استفاده می‌شود ($CO_2$ ، پودر خشک، فوم).
- هنگام آتش گرفتن لباس، از پتو آتش‌نشانی (Fire Blanket) استفاده کنید، نه دویدن.
- مسیر خروج اضطراری همیشه باید باز باشد.
- در صورت نشت یا تماس پوستی، محل آلوده را فوراً با آب فراوان شست‌وشو دهید.
- تماس چشمی با مواد: چشم‌ها را حداقل ۱۵ دقیقه با آب بشویید.
- در صورت سوختگی، خونریزی یا آسیب، فوراً به سرپرست یا مسئول ایمنی اطلاع دهید.
- محل حادثه را ترک نکنید مگر در صورت خطر فوری؛ در را ببندید تا آلودگی گسترش نیابد.
- در آتش‌سوزی بزرگ، برق اصلی را قطع و ساختمان را از نزدیک‌ترین خروجی ترک کنید.
- هرگز در آزمایشگاه کار انفرادی انجام ندهید؛ حداقل دو نفر باید در محیط باشند.
- آرامش خود را در هنگام بروز حادثه حفظ کنید.
- به ایمنی دیگران نیز توجه داشته باشید، نه فقط ایمنی خودتان.
- همیشه قبل از شروع کار جدید، ارزیابی ریسک انجام دهید.
- در صورت شک یا سؤال، از مسئول ایمنی یا استاد راهنما کمک بگیرید.

## ۴-۲ - قوانین ویژه برای ایمنی کار با تجهیزات پرکاربرد

### ۴-۲-۱ - سانتریفیوژ

- بالانس کامل نمونه‌ها از نظر حجم، وزن و نوع لوله الزامی است.
- از روتورهای دارای درپوش و لوله‌های سالم بدون ترک استفاده کنید.
- پس از شروع کار، درب دستگاه را قفل کنید و هرگز در حال چرخش درب را باز نکنید.
- در صورت شکست لوله یا صدای غیرعادی، دستگاه را فوراً خاموش و از برق جدا کنید.
- روتور را هر چند ماه یک‌بار از نظر خوردگی و ترک بررسی کنید.

### ۴-۲-۲ - اتوکلاو

- فقط افراد آموزش‌دیده مجاز به استفاده هستند.
- هرگز ظروف کاملاً بسته را داخل اتوکلاو نگذارید.
- از آب مقطر برای پر کردن مخزن آب اتوکلاو استفاده شود.
- سطوح داخلی نباید بیش از ظرفیت پر شود؛ جریان بخار باید آزاد باشد.
- بعد از پایان سیکل، ۵ تا ۱۰ دقیقه صبر کنید تا فشار بخار آب تخلیه و درجه نشان دهنده فشار کاهش و سپس درب اتوکلاو را نیمه‌باز کنید.
- از دو نشانگر ایمنی استفاده کنید:
  - **نشانگر شیمیایی (نوار رنگی)** برای اطمینان از رسیدن حرارت.
  - **نشانگر بیولوژیکی** (اسپور باسیلوس) برای اعتبار عملکرد.

### ۴-۲-۳ - میکروسکوپ نوری و فلورسانس

- هنگام کار طولانی، ارتفاع و وضعیت نشستن ارگونومیک را تنظیم کنید تا خستگی عضلانی ایجاد نشود.
- در میکروسکوپ فلورسانس، از فیلتر و شیلد UV برای محافظت از چشم استفاده کنید.
- لامپ جیوه را فقط در صورت تهویه مناسب و طبق دستورالعمل تعویض کنید (بخار جیوه سمی است).

### ۴-۲-۴ - فریزرها و تانک‌های نیتروژن

- هرگز تانک نیتروژن را در فضای بسته بدون تهویه قرار ندهید (خطر خفگی).
- برای کار با فریزر ۸۰°-، از دستکش عایق و عینک ایمنی استفاده کنید.
- در زمان باز کردن تانک نیتروژن، ابتدا فشار را به‌آرامی آزاد کنید.

### ۴-۲-۵ - شیکر و هموژنایزر

- ظرف نمونه را محکم ببندید تا آئروسل یا نشت ایجاد نشود.
- پیش از روشن‌کردن، مطمئن شوید دستگاه روی سطح پایدار است.
- در صورت صدای غیرعادی، فوراً دستگاه را خاموش و بررسی کنید.

### ۴-۲-۶ - کابینت بیولوژیکی

- فیلتر HEPA را طبق برنامه تعویض کنید.
- پیش از شروع کار، دستگاه را ۱۰ تا ۱۵ دقیقه روشن بگذارید تا جریان هوا تثبیت شود.
- پس از اتمام کار، سطوح داخلی را با اتانول یا هیپوکلریت تمیز کنید و ۱۰ دقیقه دیگر روشن بماند.

## ۵ - تجهیزات حفاظت فردی (PPE)، تعریف، اهمیت و اصول استفاده از آن‌ها

یکی از ارکان اساسی نظام ایمنی در محیط‌های آزمایشگاهی، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (Personal Protective Equipment – PPE) است. تجهیزات حفاظت فردی مجموعه‌ای از وسایل طراحی‌شده برای محافظت از پوست، چشم، دستگاه تنفسی و بدن انسان در برابر مواجهه با خطرات آزمایشگاهی است (شکل شماره ۱۱). PPE شامل وسایل عمومی مانند روپوش آزمایشگاه و دستکش، و نیز تجهیزات تخصصی‌تر مانند ماسک‌های فیلتردار، شیلدهای صورت، یا عینک‌های مقاوم در برابر مواد شیمیایی است. بر اساس استانداردهای جهانی، انتخاب PPE باید بر اساس نوع خطر، مسیر تماس (پوستی، تنفسی، چشمی یا خوراکی)، و مدت زمان مواجهه انجام گیرد. تجهیزات حفاظت فردی به‌عنوان آخرین خط دفاعی در برابر خطرات شیمیایی، بیولوژیکی،

فیزیکی و مکانیکی عمل می‌کنند و زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که حذف کامل خطر یا کنترل مهندسی آن ممکن نباشد. هدف از به‌کارگیری PPE کاهش تماس مستقیم بدن با مواد خطرناک، جلوگیری از انتقال عوامل عفونی و پیشگیری از صدمات ناشی از حرارت، فشار یا اشعه است. در یک سیستم ایمنی استاندارد، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی باید با اصول زیر همراه باشد:

۱. انتخاب وسایل متناسب با نوع خطر،
۲. آموزش صحیح نحوه استفاده،
۳. نگهداری و نظافت منظم،
۴. جایگزینی در صورت فرسودگی یا آلودگی.

**شکل- ۱۱: برخی وسایل حفاظت فردی یا PPE.**

## ۱-۵ - اهمیت و نقش تجهیزات حفاظت فردی در ایمنی آزمایشگاه

در بسیاری از محیط‌های آزمایشگاهی، کنترل‌های مهندسی (مانند هود شیمیایی یا کابینت ایمنی زیستی) کافی نیستند و ممکن است کاربر مستقیماً در معرض ماده خطرناک قرار گیرد. در چنین شرایطی، PPE به‌عنوان سد محافظتی نهایی از بدن انسان در برابر تماس ناگهانی یا تصادفی با خطر عمل می‌کند. اهمیت تجهیزات حفاظت فردی را می‌توان در سه محور اصلی خلاصه کرد:

۱. **پیشگیری از تماس مستقیم با مواد خطرناک:** جلوگیری از سوختگی‌های شیمیایی، تحریکات پوستی و عفونت‌ها.
۲. **کاهش انتقال آلودگی از محیط به کاربر و بالعکس:** به‌ویژه در کار با نمونه‌های عفونی یا حیوانی.
۳. **ایجاد انضباط رفتاری و فرهنگ ایمنی:** پوشیدن روپوش و PPE ذهنیت حرفه‌ای و احساس مسئولیت را تقویت می‌کند.

## ۵-۲ - اجزای اصلی تجهیزات حفاظت فردی

در یک محیط آزمایشگاهی استاندارد، تجهیزات حفاظت فردی شامل چند گروه اصلی است:

### ۵-۲-۱ - روپوش و لباس آزمایشگاه (Laboratory Coat)

- **وظیفه:** محافظت از پوست و لباس شخصی در برابر پاشش مواد شیمیایی، نمونه‌های زیستی یا ذرات جامد.

- **ویژگی‌ها و اصول انتخاب:**

- جنس پارچه باید از پلی‌استر–کاتن ضدآب و مقاوم در برابر شعله باشد.
- در کار با مواد اسیدی یا باز قوی، از روپوش با روکش PVC یا نایلونی استفاده شود.
- در کار با مواد قابل اشتعال (مانند حلال‌های آلی)، استفاده از روپوش‌های صددرصد پنبه‌ای توصیه می‌شود زیرا الیاف مصنوعی در حرارت ذوب می‌شوند.
- آستین‌ها باید بلند و دارای کش‌بند باشند تا پوست باز نماند.
- در محیط‌های عفونی، روپوش باید اختصاصی همان بخش باشد و نباید از آن در فضای عمومی استفاده شود.

- **نگهداری و شست‌وشو:**

روپوش‌های آلوده به مواد شیمیایی یا نمونه‌های زیستی باید به‌صورت جداگانه شسته یا در صورت آلودگی شدید معدوم شوند. استفاده از روپوش تمیز یکی از شاخص‌های رعایت ایمنی محسوب می‌شود.

### ۵-۲-۲ - دستکش (Gloves)

- **وظیفه:** جلوگیری از تماس پوست دست با مواد شیمیایی، نمونه‌های بیولوژیک، حرارت یا اجسام تیز.

- **اصول استفاده:**

- قبل از استفاده از سلامت و عدم سوراخ بودن دستکش اطمینان حاصل شود.

- هنگام کار با مواد فرّار، از دستکش‌هایی استفاده شود که به آن ماده نفوذپذیر نیستند (بر اساس جدول نفوذپذیری سازنده).
- از تماس دستکش آلوده با وسایل عمومی مانند تلفن یا دسته در اجتناب شود.
- دستکش یک‌بارمصرف باید بلافاصله پس از آلودگی دور انداخته شود.

### ۱-۲-۲-۵ - انواع اصلی دستکش در آزمایشگاه و ویژگی‌های آن‌ها

دستکش‌های آزمایشگاهی برای جلوگیری از تماس مستقیم پوست با مواد شیمیایی خورنده، سمّی یا حساسیت‌زا، نمونه‌های بیولوژیک، حیوانات آزمایشگاهی و ابزار تیز طراحی شده‌اند. هیچ نوع دستکشی برای تمام شرایط مناسب نیست؛ هر جنس، میزان خاصی از مقاومت در برابر نفوذ مواد دارد. انتخاب صحیح دستکش باید بر اساس ماهیت ماده مورد استفاده (شیمیایی، بیولوژیک، حرارتی یا مکانیکی) انجام گیرد.

#### ۱-۱-۲-۲-۵- دستکش لاتکس (Latex Gloves)

دستکش‌های لاتکس از لاتکس طبیعی (صمغ درخت *Hevea brasiliensis*) ساخته می‌شوند و به‌دلیل انعطاف‌پذیری بالا، حساسیت لمسی عالی و چسبندگی مناسب، سال‌ها گزینه اول در آزمایشگاه‌های زیستی و پزشکی بوده‌اند. مزیت بزرگ آن‌ها، احساس لمسی دقیق است که برای کارهایی مانند تزریق، پیپت کردن یا جراحی حیوانات اهمیت دارد. اما ایراد اصلی‌شان، احتمال بروز آلرژی به پروتئین‌های لاتکس طبیعی در برخی افراد است. جهت جلوگیری از بروز آلرژی مجدد، باید از دستکش‌های بدون پودر و یا دستکش‌های ساخته شده از جنس نیتریل، پلی اتیلن و یا مواد دیگر استفاده نمود .در تماس طولانی با حلال‌های آلی (مانند استون، اتر، کلروفرم، تولوئن) این دستکش‌ها به‌سرعت تخریب می‌شوند و نباید برای کار با مواد شیمیایی استفاده شوند.

**- ویژگی‌ها:**

- مقاومت متوسط در برابر اسیدها و بازهای رقیق
- مقاومت ضعیف در برابر حلال‌های آلی
- انعطاف‌پذیر و فیت عالی روی دست
- خطر آلرژی پوستی (در حدود ۵–۱۰٪ از افراد حساس)
- معمولاً یک‌بار مصرف

### ۲-۱-۲-۵- ستکش نیتریل (Nitrile Gloves)

نیتریل از لاستیک مصنوعی ساخته شده و فاقد پروتئین‌های حساسیت‌زای لاتکس است. این نوع دستکش‌ها مقاومت بسیار خوبی در برابر سوراخ شدن، پارگی و نفوذ مواد شیمیایی دارند، به‌ویژه در برابر حلال‌های آلی، روغن‌ها و برخی اسیدهای غلیظ. از نظر ایمنی شیمیایی، نیتریل بهترین گزینه برای بیشتر کارهای آزمایشگاهی عمومی محسوب می‌شود.

**- ویژگی‌ها:**

- مقاوم در برابر استون، کلروفرم، تولوئن، DMSO و اتر
- دوام بالا در تماس‌های طولانی
- فاقد لاتکس و ضد آلرژی
- قابلیت کشسانی کمتر از لاتکس، اما مقاوم‌تر در برابر سوراخ شدن
- یک‌بار مصرف یا چندبار مصرف (در ضخامت بالا)

نیتریل با الکل‌های معمولی (اتانول و ایزوپروپانول) واکنش شیمیایی خاصی ندارد، اما مالش مکرر با الکل می‌تواند سطح آن را خشک، شکننده و نفوذپذیرتر کند .بنابراین توصیه می‌شود برای ضدعفونی دستکش، الکل زیاد و مکرر استفاده نشود و در صورت تماس زیاد، تعویض گردد.

### ۳-۱-۲-۵- دستکش وینیل (Vinyl Gloves / PVC)

این نوع از پلی‌وینیل‌کلراید (PVC) ساخته شده و از نظر قیمت اقتصادی‌تر است، اما در برابر پارگی و نفوذ حلال‌های آلی مقاومت کمتری دارد. مناسب برای کارهای سبک، نمونه‌گیری‌های غیرعفونی یا کارهای آموزشی هستند ولی برای کار با مواد بیولوژیک یا شیمیایی خطرناک توصیه نمی‌شوند.

**- ویژگی‌ها:**

- ارزان و ضد آلرژی
- مقاومت مکانیکی و شیمیایی پایین‌تر از نیتریل و لاتکس

- چسبندگی کمتر به دست (احساس لغزش در انگشتان)
- نفوذپذیری بالا در برابر حلال‌ها و مواد نفتی

**- کاربرد مناسب:**

کارهای غیرخطرناک، مانند آماده‌سازی محلول‌ها، تمیزکاری یا آموزش دانشجویی.

**۴-۱-۲-۲-۵- دستکش نئوپرن (Neoprene Gloves)**

از لاستیک مصنوعی نئوپرن ساخته می‌شود و در برابر اسیدها، بازها و حلال‌های آلی مقاومت شیمیایی خوبی دارد. برای کارهای نیمه‌سنگین شیمیایی یا تماس طولانی با مواد خورنده استفاده می‌شود.

**- ویژگی‌ها:**

- مقاومت بالا در برابر اسیدها و بازهای غلیظ
- انعطاف متوسط، ضخامت بالا
- قابل استفاده چندباره
- مناسب برای اتاق‌های شیمیایی و کار با مواد خورنده مانند HCl ، $H_2SO_4$، NaOH

**۵-۱-۲-۲-۵- دستکش بوتیل (Butyl Rubber) و نیتریل سنگین**

این نوع‌ها برای کار با مواد بسیار سمی و نفوذی مثل استونیتریل، متانول، پرکلریک اسید یا فرمالدهید استفاده می‌شوند. بوتیل تقریباً غیرقابل نفوذ در برابر گازها و بخارات است و در سطح BSL-3 و BSL-4 یا کار با مواد شیمیایی سمی صنعتی استفاده می‌شود.

**۶-۱-۲-۲-۵- دستکش‌های مخصوص دما و برودت**

- **دستکش حرارتی (Heat-resistant gloves):** ساخته‌شده از آلومینیوم، آزبست یا آرامید(Kevlar) ، مقاوم در برابر شعله و آون تا ۳۰۰ درجه سانتی گراد.

- **دستکش سرما (Cryogenic gloves):** از لایه‌های چندگانه با نایلون و فوم عایق، مقاوم تا دمای نیتروژن مایع (−196°C).

### ۵-۲-۲-۲ - انتخاب صحیح دستکش بر اساس نوع خطر

انتخاب دستکش باید بر اساس معیارهای زیر باشد:

۱. **ماهیت ماده:** اسید، باز، حلال، ماده سمی یا نمونه بیولوژیک.
۲. **مدت تماس:** تماس کوتاه (چند دقیقه) یا طولانی (بیش از نیم ساعت).
۳. **نوع کار:** کار دقیق (نیاز به لمس ظریف) یا کار مکانیکی (نیاز به ضخامت).
۴. **سطح خطر:** کار عمومی (BSL-2) یا خطر بالا (BSL-3) مواد سمی

در محیط‌های بیولوژیک، نیتریل و لاتکس رایج‌ترین انتخاب‌اند؛ در محیط‌های شیمیایی، نیتریل، نئوپرن و بوتیل ترجیح داده می‌شوند.

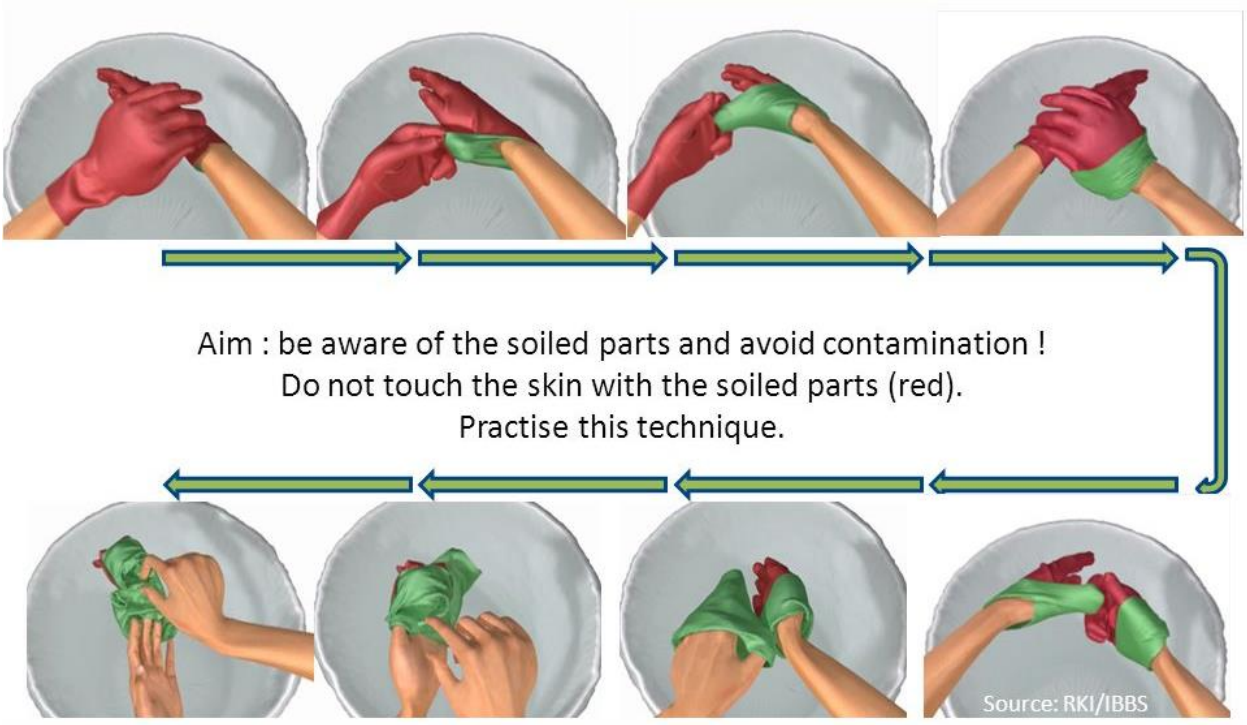
### ۵-۲-۲-۳ - نکات ایمنی در استفاده از دستکش‌ها

- همیشه پیش از پوشیدن دستکش، دست‌ها باید خشک و تمیز باشند.
- هرگز از یک جفت دستکش برای چند کار یا چند نوع ماده استفاده نکنید.
- اگر دستکش با ماده شیمیایی آلوده شد، فوراً تعویض شود.
- دستکش را قبل از خروج از اتاق آزمایش دربیاورید تا آلودگی منتقل نشود.
- هرگز دستکش آلوده را روی سطوح عمومی، کلیدها یا تلفن لمس نکنید.
- دستکش‌های یک‌بار مصرف نباید شسته یا ضدعفونی شوند. تماس مکرر با الکل، هیپوکلریت سدیم یا سایر ضدعفونی‌کننده‌ها باعث تخریب پلیمر سطحی و کاهش مقاومت مکانیکی می‌شود.
- بعد از درآوردن دستکش، دست‌ها باید با صابون و آب شسته شوند.

### ۵-۲-۲-۴ - نحوه صحیح پوشیدن و درآوردن دستکش

- پیش از پوشیدن: دست‌ها باید خشک باشند، دستکش را از لبه مچ بگیرید و بدون تماس با بیرون آن بپوشید.

- هنگام درآوردن: ابتدا انگشت یک دست را زیر لبه مچ دستکش دیگر ببرید، بدون تماس با پوست بیرون بیاورید و سپس دستکش دوم را از داخل برگردانده خارج کنید.
- در پایان: هر دو دستکش را در سطل زرد پسماند بیولوژیک (Biohazard) بیندازید. شکل شماره ۱۲ نشان دهنده مراحل پوشیدن و خارج نمودن دستکش از دستان را نشان می دهد.




**شکل- ۱۲: نحوه خارج کردن دستکش به صورت ایمن.**

### ۳-۲-۵ - محافظ چشم و صورت (Eye and Face Protection)

وظیفه این وسایل، محافظت از چشم‌ها در برابر پاشش مواد شیمیایی، ذرات جامد یا تابش‌های نوری می باشد. لازم به ذکر است عینک‌های طبی شخصی جایگزین عینک ایمنی نیستند. هنگام استفاده از عینک ایمنی باید فریم و لنز دارای استاندارد ANSI Z87 یا معادل آن باشند.

#### ۱-۳-۲-۵ - انواع تجهیزات محافظتی

- **عینک ایمنی (Safety Goggles):** دارای پوشش جانبی، برای کار با اسیدها، بازها و مواد خورنده.

- **عینک UV یا لیزر:** دارای فیلتر مخصوص برای جلوگیری از تابش اشعه فرابنفش یا لیزر.
- **شیلد محافظ صورت (Face Shield):** هنگام احتمال پاشش زیاد مواد یا کار با سانتریفیوژ باز استفاده می‌شود.

### ۵-۲-۴ - حفاظت تنفسی (Respiratory Protection)

این وسایل جهت جلوگیری از استنشاق بخارات، گازها، ذرات معلق یا عوامل میکروبی استفاده می گردد. انواع ماسک در جدول ۳ خلاصه شده است:

**جدول ۳- انواع ماسک و ویژگی‌ها و کاربرد آن‌ها**

| نوع ماسک | کاربرد | ویژگی |
|---|---|---|
| **ماسک جراحی** | محیط‌های عمومی یا کار با نمونه‌های کم‌خطر. | فیلتراسیون قطرات درشت، حفاظت محدود |
| **ماسکN95/N99** | کار با آئروسل‌های زیستی یا پودرها. | فیلتراسیون ذرات ریز تا ۰/۳ میکرومتر |
| **ماسک نیم‌صورت با فیلتر شیمیایی (Cartridge Respirator)** | کار با حلال‌ها، فرمالدهید، آمونیاک و غیره. | دارای فیلتر مخصوص بخارات آلی یا اسیدی |
| **هود تنفسی یا ماسک تمام‌صورت** | برای خطرات زیاد یا محیط‌های بسته. | پوشش کامل و فیلتر چندگانه |

**- اصول استفاده:**

- ماسک باید به‌درستی روی صورت (fit test) قرار گیرد.
- فیلترها باید بر اساس نوع آلاینده انتخاب شوند.
- ماسک‌های یک‌بارمصرف پس از مرطوب شدن یا استفاده طولانی باید تعویض شوند.

### ۵-۲-۵ - حفاظت پا و بدن (Foot and Body Protection)

- کفش آزمایشگاهی باید پوشیده، ضدلغزش و بدون سوراخ یا جلو باز باشد. دمپایی و صندل ممنوع است.

- در محیط‌های شیمیایی، از کفش‌های با روکش لاستیکی یا PVC استفاده شود.
- در کار با مواد بیولوژیکی، استفاده از پوشش‌های یک‌بارمصرف (Over-shoe cover) الزامی است.
- برای جلوگیری از پاشش یا آلودگی گسترده، گاهی از پیش‌بند PVC ، لباس ضدآب یا لباس یک‌بارمصرف استفاده می‌شود.

### ۵-۲-۶ - محافظ شنوایی (Hearing Protection)

در آزمایشگاه‌هایی که صدای تجهیزات از ۸۵ دسی‌بل فراتر می‌رود (مانند هموژنایزر یا سونیکاتور صنعتی)، استفاده از گوشی ایمنی یا Ear Plug ضروری است تا از آسیب شنوایی مزمن جلوگیری شود.

## ۵-۳ - انتخاب و ارزیابی تجهیزات حفاظت فردی

انتخاب PPE باید بر پایه اصول علمی و ارزیابی خطر (Risk Assessment) صورت گیرد. برای هر فعالیت آزمایشگاهی باید سه پرسش اساسی پاسخ داده شود:

۱. ماهیت خطر چیست؟ (شیمیایی، بیولوژیکی، فیزیکی یا ترکیبی)
۲. مسیر تماس احتمالی کدام است؟ (پوستی، چشمی، تنفسی)
۳. مدت و شدت مواجهه چقدر است؟

بر اساس پاسخ‌ها، مناسب‌ترین نوع PPE انتخاب می‌شود. استفاده از PPE نامناسب گاهی خطرناک‌تر از استفاده نکردن است؛ برای مثال، دستکش لاتکس در برابر تولوئن نفوذپذیر است و استفاده از آن احساس امنیت کاذب ایجاد می‌کند.

## ۵-۴ - نگهداری، تمیزسازی و انبارش

- تجهیزات باید پس از هر استفاده بررسی و در صورت آلودگی شیمیایی یا زیستی، طبق دستورالعمل مخصوص تمیز شوند.
- عینک و ماسک باید در محیط خشک و بدون گرد و غبار نگهداری شوند.
- وسایل آسیب‌دیده یا فرسوده باید فوراً تعویض شوند.
- PPE های آلوده به عوامل عفونی باید طبق ضوابط پسماند عفونی معدوم گردند.

### ۵-۵ - محدودیت‌ها و خطاهای رایج در استفاده از PPE

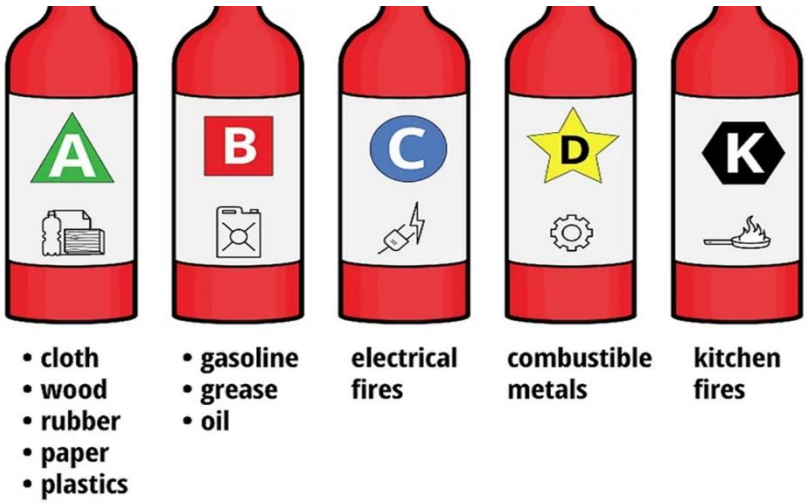
۱. **اعتماد بیش از حد به PPE:** تجهیزات حفاظت فردی جایگزین کنترل مهندسی (مثل هود) نیستند.
۲. **استفاده نادرست یا ناقص:** پوشیدن نادرست ماسک یا عدم بستن کامل آستین روپوش موجب بی‌اثر شدن حفاظت می‌شود.
۳. **عدم آموزش و نظارت:** بسیاری از حوادث به‌دلیل عدم آشنایی کارکنان با نحوه صحیح استفاده از PPE رخ می‌دهد.
۴. **فرسودگی یا آلودگی:** استفاده از تجهیزات آلوده یا آسیب‌دیده می‌تواند خود منبع آلودگی ثانویه باشد.

## ۶ - خاموش‌کننده‌های آتش، دوش ایمنی، چشم‌شوی و جعبه کمک‌های اولیه

دانستن نحوه استفاده از خاموش‌کننده‌های آتش، دوش ایمنی، چشم‌شوی و جعبه کمک‌های اولیه از مهم‌ترین مهارت‌های پایه‌ای در ایمنی آزمایشگاه است و باید پیش از شروع هر فعالیت عملی به تمام دانشجویان و کارکنان آموزش داده شود. آتش، نشت مواد شیمیایی و تماس تصادفی با مواد خورنده یا سمی، از شایع‌ترین حوادث در محیط‌های آزمایشگاهی هستند، و در چنین شرایطی واکنش سریع و درست، تفاوت بین یک حادثه کوچک و یک فاجعه جدی را رقم می‌زند.

### ۱-۶ - انواع آتش و طبقه‌بندی آن‌ها

آتش‌سوزی‌ها بر اساس ماهیت ماده سوختنی و نوع واکنش شیمیایی به چند گروه تقسیم می‌شوند. شناخت نوع آتش به ما می‌گوید که از چه نوع خاموش‌کننده‌ای باید استفاده کنیم، زیرا هر خاموش‌کننده فقط برای برخی از انواع آتش مؤثر است و در سایر موارد ممکن است حتی خطرناک باشد (شکل شماره ۱۳).




**شکل- ۱۳: انواع کلاس آتش.**

### ۱-۱-۱ - کلاس A (مواد جامد قابل احتراق)

این نوع آتش مربوط به مواد جامدی است که در اثر گرما سوخته و خاکستر تولید می‌کنند، مانند کاغذ، چوب، پارچه، پلاستیک یا زباله‌های معمولی.

- **ویژگی:** سوختن سطحی و درونی با باقی‌ماندن ذغال یا خاکستر.

- **روش اطفاء:** استفاده از آب یا کف (Foam) برای خنک‌کردن و قطع گرما.

- **مثال آزمایشگاهی:** آتش‌گرفتن دستمال کاغذی، جعبه مقوا یا روپوش آلوده به الکل خشک‌شده.

### ۶-۱-۲ - کلاس B (مایعات و گازهای قابل اشتعال)

این نوع آتش مربوط به مایعات و گازهایی است که بخارات قابل اشتعال تولید می‌کنند، مانند اتانول، استون، بنزن، بنزین، زایلن، اتر یا پروپان.

- **ویژگی:** شعله‌های سریع، گسترش سطحی و احتمال انفجار بخار.

- **روش اطفاء:** خفه‌کردن شعله و جلوگیری از تماس اکسیژن با سوخت، نه خنک‌کردن.

- **خاموش‌کننده مناسب:** $CO_2$، فوم، یا پودر خشک (Dry Chemical)

**هشدار:** هرگز نباید از آب برای خاموش‌کردن آتش کلاس B استفاده کرد، چون موجب پخش مایع اشتعال‌پذیر می‌شود.

### ۶-۱-۳ - کلاس C (آتش‌سوزی‌های الکتریکی)

این نوع آتش در اثر وسایل و مدارهای برقی ایجاد می‌شود، مثل هیتر، انکوباتور، سانتریفیوژ یا پریزهای برق.

**ویژگی:** خطر برق‌گرفتگی در صورت تماس با آب یا کف رسانا.

**روش اطفاء:** قطع برق و سپس خفه‌کردن شعله با ماده‌ای غیررسانا.

**خاموش‌کننده مناسب:** $CO_2$یا پودر خشک (Dry Chemical)

**نکته:** در صورت امکان، برق منبع قبل از استفاده از خاموش‌کننده باید قطع شود.

### ۶-۱-۴ - کلاس D (فلزات قابل اشتعال)

این نوع آتش مربوط به فلزات واکنش‌پذیر مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، تیتانیوم یا آلومینیوم پودر شده است.

- **ویژگی:** واکنش شدید با آب و تولید حرارت زیاد یا انفجار.

- **روش اطفاء:** استفاده از پودر خشک مخصوص فلزات (Metal Fire Powder) که معمولاً حاوی کلرید سدیم یا گرافیت است و شعله را خفه می‌کند.

**هشدار:** استفاده از آب یا $CO_2$ در این نوع آتش ممنوع است، زیرا باعث گسترش یا انفجار می‌شود.

### ۶-۱-۵ - کلاس K یا F (روغن‌ها و چربی‌های آشپزی)

این نوع آتش بیشتر در محیط‌های آشپزخانه صنعتی یا کار با روغن‌های آلی رخ می‌دهد و شامل روغن‌های نباتی یا حیوانی داغ است.

- **ویژگی:** دمای بالا و گسترش سریع شعله با تماس با آب.

- **خاموش‌کننده مناسب:** کپسول مخصوص کلاس K که حاوی محلول‌های قلیایی (مانند استات یا کربنات پتاسیم) است و با ایجاد صابون روی سطح روغن، شعله را خفه می‌کند.

در آزمایشگاه‌ها، این نوع آتش معمولاً در کار با روغن‌های گیاهی یا استخراج با حلال‌های آلی دیده می‌شود.

## ۶-۲ - خاموش کننده ها (Fire Extinguishers)

در مورد خاموش‌کننده‌ها، هر آزمایشگاه باید انواع مناسب آن را بسته به نوع مواد مورد استفاده در دسترس داشته باشد (شکل شماره ۱۴). خاموش‌کننده‌های پودر خشک (Dry Chemical) برای بیشتر آتش‌سوزی‌های عمومی مانند مواد جامد یا مایعات آلی مناسب‌اند. خاموش‌کننده‌های $CO_2$ برای آتش ناشی از وسایل برقی و مایعات اشتعال‌پذیر به کار می‌روند، زیرا بدون باقی‌گذاشتن رسوب، شعله را خفه می‌کنند. خاموش‌کننده‌های فوم و آب معمولاً برای مواد آتش‌گیر معمولی مانند کاغذ یا چوب استفاده می‌شوند و نباید روی وسایل برقی یا مواد واکنش‌پذیر با آب به کار روند. در آموزش ایمنی، روش استفاده از خاموش‌کننده را بر اساس قاعده PASS می باشد: Pull کشیدن ضامن، Aim به معنی نشانه‌گیری به پایه شعله، Squeeze به معنی فشار دادن دسته، و Sweep یعنی حرکت جارویی از پهلو به پهلو. همچنین لازم است افراد بدانند چه زمانی نباید خاموش‌کننده را استفاده کنند (مثلاً در آتش‌سوزی گسترده یا زمانی که خروج از محیط ایمن‌تر است).

**شکل- ۱۴: نحوه اطفاء حریق با کپسول آتشنشانی بر اساس پروتکل PASS**

### ۶-۲-۱ - خاموش‌کننده آبی (Water Extinguisher)

**عملکرد:** خنک‌کردن شعله با کاهش دما.

**کاربرد:** فقط برای آتش کلاس A یا مواد جامد.

**محدودیت:** هرگز نباید برای آتش‌های الکتریکی یا مایعات قابل اشتعال استفاده شود.

**نکته:** ارزان و مؤثر است اما خطر برق‌گرفتگی یا پخش سوخت دارد.

### ۶-۲-۲ - خاموش‌کننده فوم (Foam Extinguisher)

کپسول فوم حاوی محلولی از آب، مواد کف‌ساز و پایدارکننده است که با فشار گاز معمولاً نیتروژن یا $CO_2$ از نازل خارج می‌شود و پس از پاشش روی آتش، لایه‌ای از حباب‌های کف روی سطح مایع آتش‌گیر تشکیل می‌دهد. این لایه مانع رسیدن اکسیژن به سوخت شده و هم‌زمان سطح سوخت را خنک می‌کند. به این ترتیب، فوم با خفه‌کردن شعله و کاهش دما موجب خاموش‌شدن آتش می‌شود. فوم برای آتش‌های کلاس A (مواد جامد مانند کاغذ و چوب) و B (مایعات قابل اشتعال مانند اتانول و بنزین) مناسب است، اما برای وسایل برقی و فلزات واکنش‌پذیر نباید استفاده شود

**عملکرد:** ایجاد لایه‌ای از کف روی سطح مایع که مانع تماس اکسیژن با سوخت می‌شود.

**کاربرد:** آتش‌های کلاس A و B (جامدات و مایعات قابل اشتعال).

**محدودیت:** برای آتش‌سوزی‌های برقی و فلزی مناسب نیست.

**ویژگی:** در آزمایشگاه‌های دارای حلال‌های آلی و سوخت‌های مایع بسیار مؤثر است.

### ۶-۲-۳ - خاموش‌کننده دی‌اکسید کربن ($CO_2$ Extinguisher)

**عملکرد:** خفه‌کردن شعله با جایگزینی $CO_2$ به‌جای اکسیژن در اطراف آتش.

**کاربرد:** آتش کلاس B وC (مایعات قابل اشتعال و وسایل برقی).

**ویژگی:** پس از استفاده، هیچ اثری باقی نمی‌گذارد و برای وسایل الکترونیکی ایده‌آل است.

**احتیاط:** $CO_2$ در فضاهای بسته می‌تواند موجب خفگی شود؛ پس باید تهویه مناسب وجود داشته باشد. همچنین نازل فلزی آن هنگام خروج گاز بسیار سرد می‌شود و نباید با دست خالی لمس شود.

### ۶-۲-۴ - خاموش‌کننده پودر خشک (Dry Chemical Extinguisher)

خاموش‌کننده پودر خشک حاوی ترکیبات جامد معدنی مانند بی‌کربنات سدیم، بی‌کربنات پتاسیم یا فسفات آمونیوم است. این پودر هنگام پاشیده‌شدن روی شعله، در اثر حرارت تجزیه شده و گاز $CO_2$ آزاد می‌کند که اکسیژن را کاهش می‌دهد، اما مهم‌تر از آن، با خنثی‌کردن رادیکال‌های آزاد در واکنش احتراق، زنجیره شیمیایی آتش را متوقف می‌کند. بنابراین، پودر خشک از طریق مکانیسم شیمیایی آتش را مهار می‌کند، نه فقط با خفه‌سازی فیزیکی. این نوع خاموش‌کننده چندمنظوره است و برای آتش‌های کلاس A، B و C (شامل وسایل برقی) کاربرد دارد.

**عملکرد:** قطع واکنش زنجیره‌ای احتراق با ایجاد لایه‌ای از پودر غیرقابل اشتعال روی سوخت.

**کاربرد:** چندمنظوره و مؤثر برای آتش‌های کلاسA ، B و C

**ویژگی:** رایج‌ترین نوع در آزمایشگاه‌ها.

**محدودیت:** پودر می‌تواند در دستگاه‌های ظریف و الکترونیکی ایجاد آلودگی کند و تمیزکاری دشوار دارد.

### ۶-۲-۵ - خاموش‌کننده فلزات (Class D Extinguisher)

**عملکرد:** خفه‌کردن شعله با مواد معدنی خشک (مانند گرافیت یا کلرید سدیم) که گرما را جذب می‌کنند.

**کاربرد:** آتش فلزات واکنش‌پذیر مانند سدیم و منیزیم.

**ویژگی:** فقط برای فلزات طراحی شده؛ در سایر انواع آتش کارایی ندارد.

**نکته:** این خاموش‌کننده‌ها در آزمایشگاه‌های شیمی معدنی یا کار با فلزات قلیایی ضروری‌اند.

### ۶-۲-۶ - خاموش‌کننده کلاس K یا F

**عملکرد:** واکنش شیمیایی قلیایی با روغن‌های داغ برای ایجاد لایه صابونی (Saponification) که شعله را خفه می‌کند.

**کاربرد:** آتش چربی‌ها و روغن‌های آشپزی یا آلی.

**ویژگی:** در آزمایشگاه‌هایی که کار با روغن‌های گیاهی یا استخراج آلی انجام می‌شود مفید است.

**محدودیت:** برای هیچ نوع آتش دیگر کاربرد ندارد.

### ۶-۲-۷ - نکات کلیدی ایمنی در استفاده از خاموش‌کننده‌ها

۱. قبل از استفاده از هر کپسول، ابتدا نوع آتش را شناسایی کنید.
۲. فقط زمانی اقدام به اطفاء کنید که خروج اضطراری پشت سر شما باز باشد.
۳. فاصله ایمن (حدود ۲ تا ۳ متر) را حفظ کرده و از قاعده **PASS** استفاده کنید:

Pull ضامن را بکش، Aim به پایه شعله نشانه بگیر، Squeeze دسته را فشار بده، Sweep از طرفی به طرف دیگر حرکت بده.

۴. هرگز پشت به آتش نایستید یا وارد فضای بسته بدون تهویه نشوید.
۵. بعد از اطفاء، ناحیه باید تا سرد شدن کامل سوخت تحت نظر باشد.
۶. کپسول‌ها باید ماهانه از نظر فشار و سالم‌بودن نازل بررسی و سالانه سرویس شوند.

## ۶-۳ - دوش ایمنی (Safety Shower)

دوش ایمنی برای شست‌وشوی فوری بدن در صورت پاشیده شدن مواد شیمیایی خورنده یا سمی طراحی شده است. استفاده از آن باید بلافاصله و بدون درنگ انجام گیرد؛ تأخیر حتی چند ثانیه می‌تواند باعث سوختگی شیمیایی عمیق شود. هنگام استفاده، فرد باید تمام لباس‌های آلوده را فوراً درآورده و حداقل به مدت ۱۵ دقیقه زیر جریان مداوم آب بماند. مسیر دسترسی به دوش باید همیشه آزاد باشد، فشار آب کافی باشد و به‌طور دوره‌ای آزمایش شود تا از عملکرد آن اطمینان حاصل گردد.

## ۶-۴ - چشم‌شوی اضطراری (Eye Wash Station)

چشم شور اضطراری نیز یکی از تجهیزات حیاتی است. در تماس چشم با اسید، باز، یا حلال‌های آلی، باید بلافاصله پلک‌ها باز نگه داشته شوند و جریان ملایم آب یا محلول شست‌وشوی تمیز حداقل به مدت ۱۵ دقیقه ادامه یابد. هدف، رقیق کردن و شست‌وشوی کامل ماده از سطح چشم است. هرگونه تأخیر ممکن است باعث کدورت قرنیه یا آسیب دائمی بینایی شود. چشم‌شوی باید در فاصله‌ای حداکثر ده ثانیه‌ای از محل کار نصب شده باشد و هیچ مانعی در مسیر دسترسی آن وجود نداشته باشد (شکل شماره ۱۵).

**شکل- ۱۵: نحوه استفاده از دوش و چشم شور اضطراری.**

## ۵-۶ - جعبه کمک های اولیه

در نهایت، جعبه کمک‌های اولیه (First Aid Kit) باید در تمام آزمایشگاه‌ها به‌صورت کامل و در دسترس باشد. محتویات آن باید شامل پانسمان‌های استریل، گاز و باند، محلول ضدعفونی (مانند بتادین)، چسب زخم، پماد سوختگی، سرم شست‌وشو، قیچی، دستکش یک‌بارمصرف و دفترچه راهنمای کمک‌های اولیه باشد. هر آزمایشگاه باید فرد یا افرادی آموزش‌دیده در کمک‌های اولیه داشته باشد تا در صورت بروز جراحت، خون‌ریزی یا بی‌هوشی، بتوانند اقدامات فوری پیش از رسیدن تیم امداد را انجام دهند. لازم به ذکر است داشتن تجهیزات ایمنی به‌تنهایی کافی نیست؛ آموزش استفاده صحیح و تمرین عملی اهمیت اصلی را دارد. کارکنان باید بدانند این وسایل کجا قرار دارند، چگونه فعال می‌شوند، و چه اقداماتی بلافاصله پس از استفاده باید انجام دهند. هدف از آموزش این نیست که کاربر وسایل را فقط بشناسد، بلکه بتواند در لحظه خطر، بدون تردید و به‌درستی از آن‌ها استفاده کند.

## ۷ - ثبت و گزارش حوادث

گزارش‌دادن هرگونه حادثه، نشت، یا ریخت‌وپاش مواد شیمیایی در آزمایشگاه یکی از اصول بنیادی ایمنی است که نباید هرگز نادیده گرفته شود. حتی کوچک‌ترین اتفاق مانند شکستن یک بالن حاوی اسید یا ریختن چند میلی‌لیتر حلال می‌تواند در صورت عدم گزارش، به حادثه‌ای بزرگ‌تر منجر شود. در محیط‌های علمی و دانشگاهی، فرهنگ گزارش بدون ترس یکی از شاخص‌های بلوغ ایمنی محسوب می‌شود، زیرا هدف از گزارش، تنبیه یا سرزنش نیست، بلکه پیشگیری از تکرار و حفظ سلامت افراد و محیط است.

زمانی که ماده‌ای در آزمایشگاه نشت می‌کند یا فردی در معرض تماس با مادهٔ خطرناک قرار می‌گیرد، اولین واکنش باید حفاظت از جان و ایمنی افراد حاضر باشد. پیش از هر اقدام دیگر، باید محل نشت ایزوله شود، منبع خطر (مانند شعله یا برق) قطع گردد، و از نزدیک‌شدن افراد غیرمسئول جلوگیری شود. در صورتی که ماده خورنده، سمی یا قابل اشتعال است، باید بلافاصله مسئول ایمنی یا سرپرست آزمایشگاه اطلاع پیدا کند تا ارزیابی خطر انجام شود. گزارش سریع حادثه کمک می‌کند تا پاسخ اضطراری شامل تهویه، تخلیه، یا خنثی‌سازی ماده به‌صورت اصولی انجام گیرد.

مسئول ایمنی آزمایشگاه وظیفه دارد با توجه به نوع ماده و مقیاس نشت، تصمیم بگیرد آیا پاک‌سازی باید توسط کاربر انجام شود یا نیاز به مداخله تیم ایمنی و تجهیزات تخصصی وجود دارد. برای مثال، نشت مقدار کمی از اتانول یا استون ممکن است با تهویه و جذب توسط مواد جاذب (مانند ورقه‌های زئولیت یا کاغذ جاذب) قابل مدیریت باشد؛ اما در صورت ریختن اسید سولفوریک، فرمالدهید یا جیوه، کاربر نباید خود اقدام کند و باید بلافاصله محیط را ترک کرده و به مسئول ایمنی اطلاع دهد.

در هنگام گزارش حادثه، باید اطلاعات دقیق و مستند ارائه شود: نوع ماده، مقدار، زمان وقوع، مکان دقیق، افراد حاضر در محل، و اقدامات اولیه انجام‌شده. ثبت این داده‌ها در فرم گزارش حادثه (Incident Report Form) اهمیت زیادی دارد، زیرا مبنای بررسی علت ریشه‌ای و طراحی اقدامات اصلاحی بعدی است. علاوه‌براین، گزارش باید شامل اثرات احتمالی بر سلامت افراد باشد؛ مثلاً اگر کسی در معرض بخار یا تماس پوستی قرار گرفته است، لازم است به بهداری یا مرکز فوریت‌های پزشکی ارجاع داده شود، حتی اگر در لحظه علائم خاصی مشاهده نشود.

پاک‌سازی محیط آلوده باید فقط پس از تشخیص ایمن‌بودن محل انجام شود. در این مرحله، باید از تجهیزات حفاظت فردی مناسب استفاده شود: دستکش مقاوم، عینک، ماسک و روپوش. مواد ریخته‌شده باید با جاذب‌های مخصوص جمع‌آوری و در ظروف مجزا با برچسب «پسماند آلوده» نگهداری شوند تا به‌درستی دفع گردند. هرگز نباید پسماند ناشی از حادثه در سطل زباله یا فاضلاب ریخته شود. در مورد نشت مواد فرار، تهویه سریع محیط و جلوگیری از ایجاد جرقه یا شعله حیاتی است.

گزارش حادثه تنها به منظور ثبت رخداد انجام نمی‌شود، بلکه بخشی از سیستم یادگیری ایمنی (Safety Learning System) است. بررسی هر حادثه فرصتی برای شناسایی نقاط ضعف در آموزش، تجهیزات یا طراحی آزمایشگاه فراهم می‌آورد. بسیاری از حوادث جدی در گذشته به دلیل نادیده‌گرفتن یک نشت کوچک یا عدم اطلاع‌رسانی اولیه رخ داده‌اند. ازاین‌رو، کارکنان و دانشجویان باید بدانند که گزارش حادثه نشانه مسئولیت‌پذیری است، نه خطا. مدیر ایمنی نیز موظف است محیطی بدون ترس از سرزنش ایجاد کند تا همه افراد به‌محض مشاهده خطر، آن را اعلام کنند.

در نهایت، هر حادثه باید با یک جلسه بازنگری ایمنی (Safety Review Meeting) دنبال شود تا علت‌ها، واکنش‌ها و راهکارهای پیشگیری در آینده مورد بحث قرار گیرد. نتایج این بررسی‌ها باید در قالب دستورالعمل یا پوستر آموزشی در آزمایشگاه نصب شود تا به دانشجویان و کارکنان یادآوری کند که هر نشت، هرچند کوچک، حامل درسی بزرگ درباره اهمیت پیشگیری و پاسخ سریع است.

در واقع، گزارش به‌موقع حادثه نه‌تنها از بروز آسیب‌های انسانی جلوگیری می‌کند، بلکه پایه‌گذار فرهنگی است که در آن ایمنی، مسئولیت جمعی همه افراد آزمایشگاه است.

## ۸ - دفع ایمن پسماندهای آزمایشگاهی

مدیریت پسماند در آزمایشگاه تنها شامل جمع‌آوری زباله نیست، بلکه فرآیندی نظام‌مند برای شناسایی، جداسازی، بی‌خطرسازی، ذخیره و دفع نهایی مواد خطرناک است. هدف این فرآیند، جلوگیری از تماس انسان با مواد سمی یا عفونی، پیشگیری از آلودگی محیط، و رعایت مقررات قانونی است. هر آزمایشگاه باید دارای دستورالعمل مدون مدیریت پسماند و کد رنگی یکسان برای سطل‌ها و ظروف باشد تا همه کارکنان بتوانند به‌صورت یکپارچه و ایمن عمل کنند.

### ۸-۱ - اصول کلی تفکیک و برچسب‌گذاری

پسماندها باید از لحظه تولید، در محل تولید و پیش از اختلاط با سایر مواد جداسازی شوند. هر ظرف یا سطل زباله باید دارای:

- رنگ و نماد مشخص خطر؛
- برچسب شامل نام ماده، تاریخ، و نام فرد تولیدکننده؛
- درپوش ایمن و مقاوم در برابر نشت یا سوراخ شدن باشد.

همچنین روی هر سطل باید نوع پسماند به فارسی و انگلیسی نوشته شود (مثلاً پسماند بیولوژیکی Biohazard Waste). اختلاط پسماندهای ناسازگار مانند اسیدها و بازها، یا مواد شیمیایی با پسماندهای عفونی، اکیداً ممنوع است.

### ۸-۲ - رنگ‌بندی سطل‌ها و ظروف پسماند

رنگ‌کدبندی، زبان بین‌المللی مدیریت پسماند است و به کارکنان اجازه می‌دهد در یک نگاه نوع خطر را تشخیص دهند. لازم به ذکر است، سیستم‌های رنگ‌بندی ممکن است در کشورها و حتی مراکز مختلف، متفاوت باشند.

### ۸-۲-۱ - سطل زرد برای پسماندهای بیولوژیکی و عفونی (Biohazard Waste)

پسماندهایی شامل کشت‌های میکروبی، نمونه‌های خون، سرم، بافت انسانی یا حیوانی، وسایل آلوده (مثل لوله‌های آزمایش یا پلیت‌ها) و هر ماده‌ای که احتمال آلودگی میکروبی داشته باشد، باید در کیسه‌ها یا سطل‌های قرمز دفع شوند. این سطل‌ها معمولاً دارای نماد جهانی Biohazard هستند. محتویات آن‌ها قبل از خروج از آزمایشگاه باید اتوکلاو $121^{\circ}C$ به‌مدت ۲۰ دقیقه شوند تا عاری از عامل عفونی شوند. سپس در صورت امکان سوزانده یا به مراکز پسماندهای زیستی تحویل داده می‌شوند.

### ۸-۲-۲ - سطل قرمز برای وسایل تیز و برنده (Sharps Waste)

کلیه ابزارهای تیز و برنده مانند سرسوزن، اسکالپل، شیشه شکسته، تیغ میکروتوم، و لام آلوده باید در ظروف مقاوم به سوراخ‌شدن و دردار قرار گیرند. این ظروف معمولاً از جنس پلاستیک سخت با دیواره ضخیم و رنگ زرد هستند. نباید این وسایل در کیسه‌های معمولی یا سطل‌های باز ریخته شوند، چون خطر جراحت و انتقال بیماری وجود دارد. پس از پر شدن تا سه‌چهارم حجم، درب آن محکم بسته شده و برچسب Sharps Waste یا خطر جراحت زده می‌شود. این پسماندها باید توسط شرکت‌های مجاز جمع‌آوری و با سوزاندن دفع شوند.

### ۸-۲-۳ - سطل آبی برای پسماندهای شیمیایی و دارویی غیرقابل استفاده (Chemical Waste)

سطل آبی مخصوص جمع‌آوری باقی‌مانده مواد شیمیایی، محلول‌های بافر، معرف‌ها، مواد نگهدارنده (فرمالین)، داروهای تاریخ گذشته، آنتی‌بیوتیک‌ها، مواد سیتوتوکسیک و مواد شیمیایی غیرقابل بازیافت، ظروف دارویی خالی یا آلوده (ویال‌ها، آمپول‌ها) می باشد.

### ۸-۲-۴ - سطل سبز برای پسماندهای غیرخطرناک (Non-Hazardous Waste)

این گروه شامل موادی است که هیچ خاصیت سمی، عفونی یا خورنده ندارند، مثل کاغذ، بسته‌بندی مواد غیرشیمیایی، شیشه‌های تمیز و دستکش‌های غیرآلوده. پسماند سبز را می‌توان مشابه زباله شهری دفع کرد. با این حال، باید اطمینان حاصل شود که هیچ آلودگی شیمیایی یا زیستی روی آن‌ها باقی نمانده باشد. در محیط‌های آموزشی، تفکیک پسماندهای سبز از سایر سطل‌ها نقش مهمی در کاهش حجم زباله‌های خطرناک دارد.

## ۸-۳ - مدیریت ویژه برای پسماندهای خاص

برخی مواد نیاز به روش دفع اختصاصی دارند:

- **جیوه و ترکیبات آن:** باید در ظروف درب‌دار شیشه‌ای حاوی آب یا روغن معدنی نگهداری شود تا بخارات سمی آزاد نشود. سپس به مراکز تخصصی بازیافت فلزات سنگین تحویل داده شود.
- **سیتوتوکسیک‌ها و داروهای ضدسرطان:** در ظروف مخصوص مقاوم و برچسب‌دار جمع‌آوری می‌شوند؛ تماس با این مواد حتی در دوزهای کم خطرناک است.
- **پراکسیدها و اکسیدکننده‌ها:** باید جدا از مواد آلی و در ظروف تهویه‌دار نگهداری شوند.
- **پسماندهای حلال‌های کلردار (مثل کلروفرم):** باید از سایر حلال‌ها جدا شوند، چون در ترکیب با مواد آلی می‌توانند واکنش انفجاری ایجاد کنند.

## ۸-۴ - مراحل نهایی دفع پسماند

۱. **جمع‌آوری روزانه:** پسماندها باید حداقل یک‌بار در روز از میز کار به سطل مربوطه منتقل شوند.
۲. **انتقال به انبار موقت:** ظروف پسماند پرشده در محلی دارای تهویه، کف مقاوم و علائم هشدار نگهداری می‌شوند.
۳. **بی‌خطرسازی (در صورت نیاز):** پسماندهای بیولوژیکی اتوکلاو می‌شوند، برخی مواد شیمیایی نیز پیش از خروج از آزمایشگاه خنثی‌سازی می‌گردند.
۴. **تحویل به شرکت مجاز:** در پایان، پسماندها طبق دستورالعمل سازمان محیط زیست یا وزارت بهداشت به پیمانکار رسمی دفع تحویل داده می‌شوند.

## ۸-۵ - آموزش و نظارت

همه کارکنان باید دوره‌های آموزشی در زمینه شناخت رنگ سطل‌ها، جداسازی پسماندها، و واکنش در هنگام نشت را بگذرانند. مسئول ایمنی آزمایشگاه باید به‌صورت هفتگی وضعیت سطل‌ها را بررسی و در صورت مشاهده اختلاط یا برچسب ناقص، تذکر کتبی

صادر کند. همچنین باید دفتر ثبت پسماند (Waste Log Book) برای هر بخش نگهداری شود که شامل نوع پسماند، مقدار، تاریخ جمع‌آوری و امضای تحویل‌دهنده است.

## ۹ - ایمنی در کار با حیوانات آزمایشگاهی

کار با حیوانات آزمایشگاهی بخش مهمی از پژوهش‌های زیست‌پزشکی و دارویی است و به درک مکانیسم بیماری‌ها، اثر داروها، و ارزیابی ایمنی فرآورده‌ها کمک می‌کند. در عین حال، این فعالیت‌ها با خطرات زیستی، فیزیکی و اخلاقی همراه‌اند و رعایت اصول ایمنی در حیوان‌خانه و کار با نمونه‌های حیوانی برای حفظ سلامت انسان، حیوان، و اعتبار علمی تحقیق ضروری است.

### ۹-۱ - شناسایی خطرات در کار با حیوانات

کار با حیوانات آزمایشگاهی ممکن است فرد را در معرض خطرات زیر قرار دهد:

۱. **خطرات بیولوژیکی:**
- انتقال بیماری‌های مشترک بین انسان و حیوان (زئونوزها) مانند لپتوسپیروز، تولارمی، سالمونلوز، هاری، توکسوپلاسموز.
- مواجهه با عوامل عفونی تزریق‌شده یا کشت‌شده در بدن حیوان.

۲. **خطرات آلرژیک:**
- تماس مکرر با موی حیوان، ادرار، بزاق و مدفوع می‌تواند حساسیت تنفسی (Lab Animal Allergy) ایجاد کند.

۳. **خطرات مکانیکی و فیزیکی:**
- گازگرفتگی، خراش، فرار حیوان یا آسیب در حین مهار.

۴. **خطرات شیمیایی و دارویی:**
- تماس با داروهای بی‌هوشی، مواد ضدعفونی‌کننده یا مواد سمی (مانند فرمالین، فنوکسی‌اتانول).

۵. **خطرات روانی و اخلاقی:**
- استرس شغلی ناشی از مواجهه مکرر با مرگ یا عمل روی حیوانات (Compassion Fatigue).

## ۲-۹ - الزامات عمومی ایمنی در حیوان‌خانه

۱. **دسترسی محدود:**

فقط افراد آموزش‌دیده و دارای مجوز اخلاقی مجاز به ورود هستند. ورود بازدیدکنندگان باید با هماهنگی مسئول ایمنی زیستی یا دامپزشک انجام شود.

۲. **ساختار فیزیکی:**

- دیوارها و کف قابل شست‌وشو و ضدآب باشند.
- تهویه با فشار منفی نسبت به محیط بیرونی.
- فیلتر HEPA در خروجی هوا برای کنترل آئروسل‌ها.
- سیستم کنترل دما (۲۰–۲۴ سانتی گراد) و رطوبت (۴۰–۶۰ درصد).

۳. **پوشش حفاظتی (PPE):**

روپوش یا لباس مخصوص حیوان‌خانه، ماسک، دستکش، کفش بسته یا روکش‌دار، و در موارد خاص محافظ صورت. لباس کار حیوان‌خانه نباید به بیرون منتقل شود.

۴. **بهداشت فردی:**

شست‌وشوی دست‌ها قبل و بعد از هر تماس با حیوان یا قفس. ممنوعیت خوردن، نوشیدن، استعمال دخانیات یا استفاده از تلفن همراه در محیط حیوان‌خانه.

۵. **ضدعفونی و کنترل آلودگی:**

استفاده از مواد مؤثر مانند هیپوکلریت سدیم، فنول یا ترکیبات چهارتایی آمونیوم. سطوح کاری باید روزانه تمیز و قفس‌ها طبق برنامه مشخص شسته و استریل شوند.

## ۹-۳ - محورهای اصلی ایمنی در کار با حیوانات آزمایشگاهی

همانطور که گفته شد، کار با حیوانات آزمایشگاهی، به‌ویژه پستانداران کوچک مانند موش، رت، خرگوش یا همستر، مستلزم رعایت مجموعه‌ای از اصول ایمنی است که هدف آن حفاظت از انسان، حیوان و محیط زیست در برابر خطرات زیستی، فیزیکی و شیمیایی احتمالی است. رعایت این اصول نه‌تنها سلامت پرسنل و حیوانات را تضمین می‌کند، بلکه از انتشار عوامل بیماری‌زا، آلودگی متقابل نمونه‌ها، و بروز اختلال در نتایج تحقیقاتی نیز جلوگیری می‌نماید. مبانی ایمنی در این حوزه را می‌توان در سه محور اصلی خلاصه کرد: ایمنی فردی، ایمنی حیوان، و ایمنی محیط زیست.

### ۹-۳-۱ - ایمنی فردی (Personal Safety)

ایمنی فردی شامل مجموعه اقداماتی است که برای محافظت از کارکنان، پژوهشگران و دانشجویان در برابر عوامل بیماری‌زا، آلرژن‌ها، گازهای بی‌هوشی و آسیب‌های فیزیکی ناشی از تماس مستقیم با حیوانات یا مواد مورد استفاده در آزمایش‌ها انجام می‌شود. در درجه نخست، آگاهی از خطرات زیستی (Biological Hazards) حیوانات ضروری است؛ بسیاری از حیوانات می‌توانند ناقل عوامل زئونوز مانند *Leptospira*، *Salmonella*، *Campylobacter*، *Lymphocytic choriomeningitis virus (LCMV)* و *Toxoplasma gondii* باشند. در چنین شرایطی، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی الزامی است. این تجهیزات شامل روپوش آزمایشگاهی یا گان مخصوص، دستکش نیتریلی یا لاتکس دوبل، ماسک N95 یا Surgical Mask، عینک محافظ و کفش بسته است.

کارکنان باید از تماس مستقیم پوست با ادرار، خون، ترشحات یا مدفوع حیوان اجتناب کنند و هرگونه گزش یا خراش فوراً با آب و صابون شسته و به واحد ایمنی زیستی گزارش شود. هنگام تزریق، خون‌گیری یا انجام جراحی‌های حیوانی، باید از سوزن‌های ایمن استفاده شود و هرگز نباید سرسوزن مجدداً بر روی سرنگ قرار داده شود. تهویه مناسب در اتاق حیوانات و استفاده از هود بیولوژیکی هنگام انجام کارهای مولد آئروسل مانند خردکردن بافت، نمونه‌برداری از اندام‌ها یا کار با سلول‌های آلوده، از نکات حیاتی است.

همچنین باید توجه داشت که حیوانات ممکن است آلرژن‌های قوی (مانند پروتئین‌های ادرار رت و موش) تولید کنند که سبب ایجاد آسم شغلی یا درماتیت می‌شود؛ بنابراین استفاده از ماسک و فیلتر HEPA برای کارکنان با تماس طولانی توصیه می‌شود. واکسیناسیون پرسنل در برابر بیماری‌هایی مانند کزاز (Tetanus) و در صورت لزوم هاری (Rabies) نیز بخشی از برنامه‌های

پیشگیرانه ایمنی فردی است. آموزش منظم پرسنل درباره نحوه رفتار با حیوانات، روش‌های بی‌دردسازی، حمل ایمن، و کنترل زباله‌های زیستی نیز یکی از ارکان اصلی ایمنی فردی محسوب می‌شود.

## ۲-۳-۹ - ایمنی حیوان (Animal Welfare & Safety)

رعایت اصول ایمنی حیوانات نه‌تنها الزام اخلاقی است، بلکه از نظر علمی نیز تضمین‌کنندهٔ صحت و تکرارپذیری نتایج پژوهش‌ها است. استرس، درد یا نگهداری غیراستاندارد می‌تواند به تغییرات فیزیولوژیک و رفتاری در حیوان منجر شود و داده‌های تجربی را بی‌اعتبار کند. اصول بنیادین رفاه حیوانات در قالب قانون بین‌المللی 3R’s (Replacement, Reduction, Refinement) تعریف می‌شود:

۱. **Replacement**: استفاده از جایگزین‌های غیرحیوانی در صورت امکان، مانند مدل‌های سلولی یا شبیه‌سازی‌های کامپیوتری.
۲. **Reduction**: کاهش تعداد حیوانات مورد استفاده از طریق طراحی آماری صحیح و تکرار حداقل آزمایش‌ها.
۳. **Refinement**: اصلاح روش‌های کار به‌گونه‌ای که کمترین میزان درد، رنج و اضطراب برای حیوان ایجاد شود.

شرایط نگهداری حیوانات باید مطابق با استانداردهای مؤسسات معتبر باشد. این شامل کنترل دمای محیط (معمولاً ۲۰–۲۴ درجه سانتی‌گراد)، رطوبت نسبی (۳۰–۷۰٪)، نوردهی متناوب ۱۲ ساعته، و تهویه با حداقل ۱۰–۱۵ تعویض هوا در ساعت است. قفس‌ها باید متناسب با گونه، وزن و تعداد حیوان باشند و دسترسی دائم به آب و غذای تازه وجود داشته باشد. در زمان انجام آزمایش‌ها، باید از روش‌های بی‌هوشی مناسب (Anesthesia) مانند کتامین-زایلازین یا ایزوفلوران استفاده شود تا درد حیوان به حداقل برسد. در مواردی که پایان حیات حیوان ضروری است، انتخاب روش‌های یوتانازی انسانی (Humane Euthanasia) مانند تزریق پنتوباربیتال یا استفاده از $CO_2$ با کنترل نرخ جریان انجام گیرد. در جدول ۴ روش های استاندارد یوتانازی به اختصار آمده است:

**جدول ۴- روش های استاندارد یوتانازی**

| روش | ملاحظات ایمنی | توضیح |
|---|---|---|
| **استنشاق $CO_2$** | باید با جریان تدریجی و کنترل‌شده انجام شود؛ از فشار ناگهانی گاز خودداری کنید. | پرکاربرد برای موش و رت |

| | | |
|---|---|---|
| **تزریق دز کشنده (پنتوباربیتال سدیم)** | نیاز به دوز دقیق؛ مواد باقیمانده باید طبق ضوابط دفع شوند. | داخل صفاقی یا وریدی |
| **بی‌هوشی کامل و قطع مکانیکی سر (Decapitation)** | باید پس از بی‌هوشی کامل انجام شود؛ کاربر باید آموزش دیده باشد. | در حیوانات کوچک، در صورت نیاز به بافت سالم |
| **در حیوانات بزرگ‌تر (مثلاً خرگوش)** | | بی‌هوشی کامل + تزریق مهلک و تأیید مرگ با توقف قلب و تنفس |

همچنین باید از ایجاد استرس اضافی مانند سر و صدای زیاد، بوهای تند، نور شدید یا دستکاری خشن اجتناب شود. حمل‌ونقل حیوانات باید در قفس‌های ایمن و دارای تهویه مناسب صورت گیرد و هرگونه نشانه بیماری، زخم یا تغییر رفتاری به دامپزشک مسئول گزارش گردد. در نهایت، رعایت اخلاق در استفاده از حیوانات مستلزم کسب تأییدیه از کمیته اخلاق در کار با حیوانات پیش از شروع هر پروژه است.

## ۳-۳-۹ - ایمنی محیط زیست (Environmental Safety)

کار با حیوانات آزمایشگاهی علاوه بر خطرات فردی و حیوانی، ممکن است باعث آلودگی محیط زیست نیز شود. این آلودگی می‌تواند از طریق زباله‌های بیولوژیک، لاشه‌ها، بسترهای آلوده یا فاضلاب‌های حاصل از شست‌وشو به محیط منتقل شود. به همین دلیل، رعایت اصول ایمنی زیست‌محیطی ضروری است تا از انتشار عوامل بیماری‌زا و آسیب به اکوسیستم جلوگیری شود.

پسماندهای حیوانی باید بر اساس نوع آلودگی تفکیک شوند:

پسماندهای آلوده به عوامل بیماری‌زا در ظروف درب‌دار زردرنگ با نماد خطر زیستی جمع‌آوری و پیش از دفع نهایی در اتوکلاو با بخار در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۵ psi به‌مدت حداقل ۳۰ دقیقه استریل شوند. لاشه‌ها و بسترهای آلوده باید به‌صورت جداگانه در کیسه‌های مقاوم جمع‌آوری و یا اتوکلاو، یا در کوره‌های مخصوص سوزانده شوند. در صورت نبود دستگاه سوزاننده، دفن بهداشتی در چاله‌های پوشیده با آهک زنده مجاز است، اما هرگز نباید لاشه‌ها در زباله‌های شهری رها شوند. فاضلاب ناشی از شست‌وشوی قفس‌ها یا تجهیزات باید پیش از ورود به سیستم فاضلاب عمومی از طریق مواد گندزدا مانند هیپوکلریت سدیم ۱٪ یا گلوتارآلدئید بی‌خطرسازی شود. در اتاق‌های نگهداری حیوانات باید سیستم تهویه مؤثر با فشار منفی نسبت به راهرو وجود داشته

باشد تا آئروسل‌های احتمالی به محیط دیگر منتقل نشوند. تمام کارکنان موظف‌اند در پایان کار دست‌ها را با مواد ضدعفونی‌کننده شست‌وشو دهند و لباس‌های حفاظتی آلوده را در محل مخصوص تحویل دهند تا جداگانه شسته یا اتوکلاو شوند. رعایت اصول ایمنی محیط زیست نه‌تنها مانع انتشار آلودگی در محیط می‌شود، بلکه سلامت کارکنان دیگر واحدها، حیوانات مجاور و حتی جامعه بیرونی را حفظ می‌کند. در سطح کلان، اجرای دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان حفاظت محیط زیست (EPA) در مدیریت پسماند حیوانات، تضمین‌کننده پایداری زیستی در مؤسسات تحقیقاتی است.

## فهرست منابع


۱. World Health Organization. *Laboratory Biosafety Manual*, 4th ed. Geneva: WHO; 2020.
۲. U.S. Department of Health and Human Services, CDC, NIH. *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories (BMBL)*, 6th ed. 2020.
۳. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). *Laboratory Safety Guidance*. OSHA Publication 3404-11R; 2011.
۴. United Nations. *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)*, 9th rev. ed. 2021.
۵. International Organization for Standardization. *ISO 35001:2019 – Biorisk Management for Laboratories and Other Related Organizations*. Geneva: ISO; 2019.
۶. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. دستورالعمل ایمنی زیستی در آزمایشگاه‌های پزشکی، تهران؛ ۱۳۹۹ .
۷. سازمان ملی استاندارد ایران .استاندارد ملی شماره ۱۲۴۹۲. ایمنی زیستی در آزمایشگاه‌ها . الزامات عمومی. تهران ۱۳۹۸ .
۸. وزارت علوم، تحقیقات و فناوری. آیین‌نامه کمیته ایمنی زیستی و ایمنی شیمیایی در مؤسسات آموزش عالی ۱۳۹۷ .
۹. سازمان حفاظت محیط زیست. دستورالعمل پسماندهای آزمایشگاهی خطرناک ۱۴۰۰.
۱۰. مرکز سلامت محیط و کار، وزارت بهداشت. دستورالعمل ایمنی شیمیایی و SDS در محیط کار ۱۴۰۱.