تکنیک های آسپتیک

در آزمایشگاه میکروب شناسی

گردآوری : ساناز رستگار

دکتری تخصصی باکتری شناسی پزشکی PhD

فهرست

فصل ۱: مقدمه ۵

۱–۱.اهمیت پیشگیری از آلودگی ۶

فصل ۲: انواع تجهیزات حفاظت فردی و کاربرد آن ها ۷

۲–۱. روپوش آزمایشگاهی (Lab Coat) ۷

۲–۲. دستکش (Gloves) ۸

۲–۳. عینک و شیلد محافظ (Goggles & Face Shield) ۱۰

۲–۴. ماسک‌ها و وسایل حفاظت تنفسی (Masks & Respirators) ۱۰

۲–۵. پوشش‌های محافظ پا (Protective Footwear) ۱۲

۲–۶. گان، کلاه و کاورهای یک‌بار مصرف (Disposable Gown, Cap, Shoe Cover) ۱۲

۲–۷. کاربرد کلی تجهیزات حفاظت فردی در آزمایشگاه ۱۳

فصل ۳: اصول استریل‌سازی مواد و تجهیزات ۱۴

۳–۱. روش‌های استریل‌سازی ۱۴

۳–۲. آماده‌سازی محلول‌ها و محیط‌ها قبل از شروع کار ۱۷

۳–۳. استریل‌سازی ابزارهای فلزی و شیشه‌ای ۱۷

فصل ۴: ابزارهای ایجاد محیط آنتی‌سپتیک ۱۸

۴–۱. چراغ بونزن (Bunsen Burner) ۱۸

۴–۲. هودهای آزمایشگاهی و انواع آن ۱۹

۴–۳. تابش فرابنفش UV برای کاهش بار میکروبی ۲۴

۴–۴. مواد و تجهیزات کمکی برای حفظ شرایط آنتی‌سپتیک ۲۵
۴–۶. سیستم‌های دفع زباله میکروبی و ظروف Sharps Box ۲۷
۴–۷. حمل و نقل ،بسته بندی و دفع زباله های عفونی ۲۹
فصل ۵: ایمنی سانتریفیوژ و نکات ضروری در آزمایشگاه میکروبیولوژی ۳۶
۵-۱. اصول استفاده ایمن از سانتریفیوژ ۳۶
۵-۲. تراز و تعادل دستگاه هنگام چرخش ۳۷
۵-۳ . نکات ایمنی مرتبط با ظروف شیشه‌ای و ابزارهای مرتبط ۳۷
۵-۴ . نحوه برخورد با شکستگی لوله در حین سانتریفیوژ ۳۸
۵-۵ . ضدعفونی و نگهداری سانتریفیوژ ۳۸
فصل ۶: پروتکل مدیریت نیدل‌استیک (Needle Stick Injury – NSI) ۳۹
۶–۱. تعریف و اهمیت نیدل‌استیک ۳۹
۶–۲. عوامل شایع بروز نیدل‌استیک ۴۰
۶–۳. مراحل مدیریت فوری نیدل‌استیک ۴۰
۶–۴. پیگیری (Follow-up) ۴۳
۶–۵. راهکارهای پیشگیری از نیدل‌استیک ۴۳
فصل ۷: انواع سطوح ایمنی زیستی (Biological Safety Levels – BSLs) ۴۴
۷–۱. سطح ایمنی زیستی ۱ (BSL-۱) ۴۵
۷–۲. سطح ایمنی زیستی ۲ (BSL-۲) ۴۶
۷–۳. سطح ایمنی زیستی ۳ (BSL-۳) ۴۷
۷–۴. سطح ایمنی زیستی ۴ (BSL-۴) ۴۸
فصل ۸: اقدامات اضطراری در مواجهه با خطر ۴۹
۸–۱. اصول کلی مدیریت شرایط اضطراری ۴۹

۸–۲. مواجهه با ریخت‌وپاش مواد بیولوژیک (Biological Spills) ۵۱
۸–۳. مواجهه با ریختن مواد شیمیایی خطرناک ۵۶
۸–۴. برخورد پوست، چشم و غشاهای مخاطی با مواد خطرناک ۶۰
۸–۵. مواجهه با بریدگی‌ها، زخم‌ها و آسیب‌های مکانیکی ۶۴
۸–۶. مواجهه با آتش‌سوزی و انفجار کوچک آزمایشگاهی ۶۷
۸–۷. نشت گازها یا بخارات سمی ۷۰
۸–۸. قطع برق، خرابی تجهیزات و خطرات ناشی از آن‌ها ۷۵
فصل ۹: علائم ایمنی در آزمایشگاه ۷۹
۹–۱. مقدمه ۷۹
۹–۲. استانداردها، رنگ‌ها و اشکال هندسی ۷۹
۹–۳. علائم دستوری (Mandatory Signs) ۸۱
۹–۴. علائم شرایط ایمن (Safe Condition Signs) ۸۳
۹–۵. علائم بازدارنده (Prohibition Signs) ۸۴
۹–۶. علائم مرتبط با اطفای حریق (Fire Safety Signs) ۸۵
۹–۷. علائم هشدار و خطر (Warning Signs) ۸۶
۹–۸. علائم خطر تشعشع و میدان مغناطیسی ۸۸
۹–۹. علائم زیست‌محیطی و بازیافت ۸۹
۹–۱۰. لوزی خطر NFPA (NFPA Hazard Diamond) ۸۹
منابع : ۹۱

فصل ۱: مقدمه

۱–۱. تعریف تکنیک آنتی‌سپتیک

تکنیک آنتی‌سپتیک (Aseptic Technique) مجموعه‌ای از اصول، روش‌ها و اقدامات عملی است که باهدف پیشگیری از ورود یا انتقال هرگونه میکروارگانیسم ناخواسته به نمونه‌ها، محیط‌های کشت، ابزارها، تجهیزات و فضای کاری در آزمایشگاه انجام می‌شود. این تکنیک تلاش می‌کند تمام مراحل کار در شرایطی انجام شود که

احتمال آلودگی به حداقل برسد؛ زیرا حتی مقدار کمی آلودگی می‌تواند کیفیت، دقت و صحت نتایج آزمایشگاهی را مختل کند.

در این روش، پژوهشگر با استفاده از اقدامات کنترل آلودگی—مانند استریل‌سازی ابزارها، کار در هود لامینار، کاهش زمان باز بودن ظروف، استفاده صحیح از شعله بونزن، رعایت نکات بهداشتی فردی، و چیدمان صحیح وسایل—از ورود میکروارگانیسم‌های محیط، هوا، بدن انسان و ابزارها به نمونه جلوگیری می‌کند.

نکته مهم این است که تکنیک آنتی‌سپتیک تلاش نمی‌کند محیط را کاملاً «استریل» کند (زیرا استریل‌سازی کامل فقط در شرایط جراحی یا دستگاه‌های تخصصی امکان‌پذیر است)، بلکه هدف آن **کاهش مؤثر احتمال آلودگی** تا حدی است که نمونه‌ها بتوانند بدون تداخل عوامل خارجی رشد کرده یا پردازش شوند.

بنابراین، تکنیک آنتی‌سپتیک برای موارد زیر ضروری است:

- کشت باکتری و قارچ
- کار با سلول‌های یوکاریوتی
- تهیه محیط‌های کشت حساس
- انجام آزمایش‌هایی که دقت بالا نیاز دارند
- جلوگیری از انتقال آلودگی بین نمونه‌ها یا به محیط

به‌طور خلاصه، تکنیک آنتی‌سپتیک پایه و اساس کار ایمن و دقیق در هر آزمایشگاه میکروبی یا سلولی است و رعایت دقیق آن تضمین‌کننده **اعتبار علمی و سلامت محیط آزمایشگاه** است.

۱—۲.اهمیت پیشگیری از آلودگی

پیشگیری از آلودگی در محیط آزمایشگاه از اهمیت اساسی برخوردار است، زیرا حتی مقدار اندکی آلودگی می‌تواند باعث به‌هم‌خوردن نتایج، رشد میکروارگانیسم‌های ناخواسته، تخریب نمونه‌ها و کاهش اعتبار علمی آزمایش‌ها شود. وجود آلودگی نه‌تنها موجب خطا در تفسیر داده‌ها می‌شود، بلکه می‌تواند منجر به تکرار آزمایش‌ها، افزایش هزینه و مصرف بی‌رویه مواد شود و در برخی موارد خطرات ایمنی برای کارکنان ایجاد کند. رعایت اصول پیشگیرانه مانند استریل‌سازی مناسب ابزارها، کار صحیح در هود لامینار، ضدعفونی سطوح و استفاده از تجهیزات محافظ فردی، تضمین‌کننده دقت، صحت و قابل‌اعتماد بودن نتایج و همچنین حفظ سلامت افراد در محیط آزمایشگاه است.

فصل ۲: انواع تجهیزات حفاظت فردی و کاربرد آن ها

تجهیزات حفاظت فردی (Personal Protective Equipment; PPE) مجموعه‌ای از وسایل استاندارد است که باهدف کاهش خطر تماس مستقیم کارکنان با عوامل عفونی، مواد شیمیایی، ذرات معلق و خطرات فیزیکی در محیط آزمایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده صحیح و مداوم از این تجهیزات بخش مهمی از سیستم ایمنی زیستی (Biosafety) محسوب می‌شود و برای حفظ سلامت افراد و جلوگیری از انتقال آلودگی ضروری است. در ادامه، مهم‌ترین تجهیزات حفاظت فردی و کاربردهای آن‌ها معرفی می‌شود.

۲–۱. روپوش آزمایشگاهی (Lab Coat)

روپوش آزمایشگاهی اولین لایه محافظ در برابر پاشش مواد شیمیایی، قطرات بیولوژیک و آلودگی‌های سطحی است. این روپوش باید از جنس مقاوم، دارای آستین بلند و دکمه‌دار باشد و تنها در محیط آزمایشگاه مورد استفاده قرار گیرد. روپوش‌های پنبه‌ای یا ترکیبی که قابلیت شست‌وشو و اتوکلاو دارند، مناسب‌ترین گزینه برای کارهای میکروبی و سلولی هستند. تعویض منظم، جلوگیری از تماس با لباس روزانه و بستن کامل روپوش از نکات ضروری در استفاده از آن است.

تصویر۴: روپوش آزمایشگاهی

۲–۲. دستکش (Gloves)

دستکش‌ها از تماس مستقیم پوست با عوامل عفونی، مواد شیمیایی محرک یا خورنده و سطوح آلوده جلوگیری می‌کنند. انواع رایج شامل **نیتریل، لاتکس و وینیل** هستند. دستکش‌های نیتریل به دلیل مقاومت بیشتر در برابر مواد شیمیایی و احتمال کمتر ایجاد حساسیت، بیشتر توصیه می‌شوند. دستکش باید پیش از کار پوشیده شود، در طول فعالیت از تماس با سطوح غیرضروری جلوگیری گردد و بلافاصله پس از آلودگی، پارگی یا پایان کار تعویض شود. شست‌وشوی دست‌ها پس از خارج کردن دستکش‌ها ضروری است.

الف. دستکش نیتریل (Nitrile Gloves)

دستکش نیتریل از پلیمرهای مصنوعی ساخته می‌شود و به دلیل **مقاومت بالا در برابر مواد شیمیایی، سوراخ‌شدن و پارگی** گزینه‌ای ممتاز برای کارهای آزمایشگاهی محسوب می‌شود. این دستکش‌ها فاقد پروتئین‌های لاتکس هستند و بنابراین خطر ایجاد واکنش‌های آلرژیک در آن‌ها بسیار کم است. نیتریل برای کار با مواد شیمیایی خورنده، حلال‌ها، پاتوژن‌های احتمالی و کارهای میکروبی بسیار مناسب است.

ب. دستکش لاتکس (Latex Gloves)

دستکش لاتکس از **پلیمر طبیعی لاستیک** ساخته شده و به دلیل **انعطاف‌پذیری بالا، حس لامسه مناسب و چسبندگی عالی به دست** در کارهای ظریف و نیازمند دقت، مانند میکروبیولوژی و کشت سلولی، کاربرد زیادی دارد. با وجود این مزایا، دستکش لاتکس ممکن است در برخی افراد **واکنش‌های آلرژیک** مانند خارش، قرمزی و حساسیت پوستی ایجاد کند. این دستکش‌ها در برابر بسیاری از میکروارگانیسم‌ها مؤثر هستند ولی مقاومت آن ها در برابر برخی مواد شیمیایی کمتر از نیتریل است.

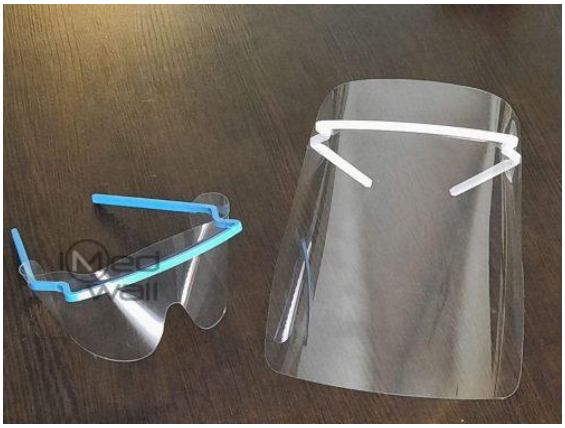
پ. دستکش وینیل (Vinyl Gloves)

دستکش‌های وینیل از PVC ساخته می‌شوند و **هزینه کمتر** اما **مقاومت مکانیکی و کشسانی پایین‌تری** نسبت به نیتریل و لاتکس دارند. این دستکش‌ها برای کارهای سبک، کوتاه‌مدت و فعالیت‌هایی که نیاز به حفاظت بالا در برابر مواد شیمیایی یا عوامل بیولوژیک ندارند مناسب‌اند. به دلیل امکان پارگی سریع و فیت کمتر روی دست، استفاده از آن‌ها برای کارهای حساس میکروبی یا کار با حلال‌های قوی توصیه نمی‌شود.

تصویر ۵: انواع دستکش های مورد استفاده در آزمایشگاه

۲–۳. عینک و شیلد محافظ (Goggles & Face Shield)

عینک ایمنی و شیلد صورت از چشم و صورت در برابر پاشش مایعات آلوده، ذرات معلق، مواد خورنده و تخریب‌کننده محافظت می‌کنند. عینک‌های دارای پوشش جانبی برای جلوگیری از تماس قطرات بسیار مناسب‌اند. در کار با سانتریفیوژ، مایعات تحت فشار، هوموژنایزرها و مواد خورنده باید حتماً از عینک یا شیلد استفاده شود. در شرایطی که خطر پاشش زیاد است، استفاده هم‌زمان از ماسک و شیلد توصیه می‌شود.



تصویر ۶: شیلد محافظ و عینک

۲–۴. ماسک‌ها و وسایل حفاظت تنفسی (Masks & Respirators)

ماسک‌های جراحی برای جلوگیری از انتقال قطرات تنفسی مؤثرند و در کار با کشت‌های بیولوژیک باز توصیه می‌شوند. ماسک‌های فیلتردار مانند **N۹۵** با داشتن قدرت فیلتراسیون بالا، هنگام کار با عوامل بیماری‌زای هوازی، ذرات ریز، بیوسولیدها یا مواد شیمیایی فرّار ضروری‌اند. در محیط‌های BSL-۲ و بالاتر، داشتن ماسک استاندارد بخشی از الزامات ایمنی است (جدول ۱).

تصویر ۷: انواع ماسک های محافظ

جدول ۱ : مقایسه انواع ماسک های محافظتی در محیط آزمایشگاه

نوع ماسک	معایب	مزایا	کاربرد	ویژگی‌ها
ماسک جراحی	محافظت محدود در برابر ذرات ریز	راحتی، قیمت پایین	بیمارستان‌ها، جلوگیری از پخش قطرات	سبک، یکبار مصرف، بدون فیلتر
ماسک سوپاپ‌دار (N95)	عدم محافظت از اطرافیان در صورت سوپاپ	تنفس راحت‌تر، محافظت بالا	محیط‌های آلوده، صنعتی	فیلتر ذرات تا ۹۵٪، دارای سوپاپ
ماسک نیم‌صورت	سنگین‌تر از ماسک‌های ساده	فیلترهای تخصصی، دوام بالا	صنایع شیمیایی، ساختمانی	پوشش بینی و دهان، قابل تعویض فیلتر
ماسک نیم‌صورت	گران‌قیمت، محدودیت دید و حرکت	بیشترین سطح حفاظت	محیط‌های سمی، آزمایشگاه‌ها	پوشش کامل صورت، محافظت از چشم

۲–۵. پوشش‌های محافظ پا (Protective Footwear)

کفش‌های بسته، مقاوم و ضد لغزش از پاها در برابر ریزش مواد شیمیایی، قطعات شیشه و وسایل تیز محافظت می‌کنند. دمپایی یا کفش باز به‌هیچ‌وجه مجاز نیست. در محیط‌های با ریسک بالا می‌توان از کاورهای یک‌بار مصرف کفش استفاده کرد.

تصویر ۸: کاور و کفش مناسب مورد استفاده در محیط آزمایشگاه

۲–۶. گان، کلاه و کاورهای یک‌بار مصرف (Disposable Gown, Cap, Shoe Cover)

در کار با نمونه‌های بالینی، محیط‌های با ریسک آلودگی بالا یا هنگام ورود به اتاق‌های کشت سلولی حساس، استفاده از پوشش‌های کامل بدن ضروری است. این وسایل از انتقال آلودگی بین محیط‌های کاری جلوگیری می‌کنند و پس از هر بار استفاده باید به‌درستی امحا شوند.

تصویر ۹: گان پزشکی یکبار مصرف پزشکیبه همراه کلاه و کاور کفش

۲–۷. کاربرد کلی تجهیزات حفاظت فردی در آزمایشگاه

هر یک از وسایل حفاظت فردی مکمل دیگری است و استفاده از آن ها باید بر اساس ماهیت فعالیت آزمایشگاهی تعیین شود. در کارهای میکروبی و سلولی، ترکیبی از روپوش، دستکش، عینک و ماسک حداقل سطح حفاظت را ایجاد می‌کند. تجهیزات حفاظت فردی نه‌تنها از فرد مقابل آلودگی محافظت می‌کنند، بلکه از انتقال آلودگی به نمونه‌ها نیز جلوگیری می‌کنند و بخشی جدایی‌ناپذیر از رعایت اصول آنتی‌سپسی و ایمنی زیستی هستند.

- پیش از ورود به آزمایشگاه، تمام تجهیزات را به ترتیب و کامل بپوشید.
- **دستکش** باید آخرین وسیله‌ای باشد که پوشیده می‌شود و اولین وسیله‌ای که در پایان کار خارج می‌شود.
- **روپوش** را هنگام خروج از آزمایشگاه در محل مخصوص قرار دهید.
- **ماسک‌ها** را به‌طور منظم تعویض کرده و در صورت مرطوب شدن، بلافاصله جایگزین کنید.
- تجهیزات یکبار مصرف را **هرگز** مجدداً استفاده نکنید.
- از تماس دست‌های آلوده با صورت، چشم و دهان خودداری کنید.

❖ پس از پایان کار، دست‌ها را با آب و صابون یا محلول ضدعفونی‌کننده بشویید.

فصل ۳: اصول استریل‌سازی مواد و تجهیزات

۳–۱. روش‌های استریل‌سازی

الف) اتوکلاو

اتوکلاو یکی از مؤثرترین و رایج‌ترین روش‌های استریل‌سازی در آزمایشگاه است و بر پایه اعمال **بخار تحت فشار** عمل می‌کند. تنظیمات استاندارد—۱۲۱ درجه سانتی‌گراد، فشار ۱۵ psi و زمان حداقل ۱۵ تا ۲۰ دقیقه—قادر است تمامی اشکال میکروبی، از جمله اسپورهای مقاوم، را غیرفعال کند. این روش برای استریل‌سازی محیط‌های کشت، شیشه‌آلات، ابزارهای فلزی و زباله‌های عفونی مناسب است. رعایت اصول بارگذاری صحیح، استفاده از ظروف مقاوم به حرارت و باز گذاشتن نسبی درب‌ها برای جلوگیری از ترکیدن ظروف از ضروریات کار با اتوکلاو است.

تصویر ۱: اتوکلاو

ب) فیلتر استریل(Filter Sterilization)

برای محلول‌ها و ترکیباتی که **به حرارت حساس هستند**—مانند آنتی‌بیوتیک‌ها، ویتامین‌ها و برخی مواد بیولوژیک—استفاده از فیلترهای با قطر منافذ ۰.۲۲ میکرون توصیه می‌شود. این فیلترها می‌توانند باکتری‌ها را حذف کنند، هرچند ویروس‌ها معمولاً از آن‌ها عبور می‌کنند. فیلتراسیون باید در شرایط آنتی‌سپتیک و ترجیحاً در زیر هود لامینار انجام شود تا احتمال آلودگی ثانویه کاهش یابد.

تصویر۲ : سرنگ و فیلتر

پ) آون خشک(Dry Heat)

آون خشک بر اساس حرارت خشک و دمای بالا عمل می‌کند و معمولاً در دمای ۱۶۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت یک تا دو ساعت استفاده می‌شود. این روش برای استریل‌سازی ابزارهای فلزی، شیشه‌آلات مقاوم به حرارت و پودرهای حساس به رطوبت مناسب است. با توجه به نفوذ کمتر حرارت خشک نسبت به بخار، زمان بیشتری برای حصول استریل کامل لازم است.

تصویر۳ : فور یا اون

ت) مواد غیرقابل اتوکلاو

برخی مواد مانند الکل‌ها، حلال‌های آلی، اسیدها، بازها و پلاستیک‌های حساس به دما را نمی‌توان با اتوکلاو استریل کرد. برای این مواد از روش‌های جایگزین مانند فیلتراسیون، اشعه فرابنفش، گازهای ضدعفونی‌کننده یا محلول‌های ضدعفونی‌کننده سازگار با ماهیت ترکیب استفاده می‌شود. انتخاب روش باید بر اساس ماهیت شیمیایی و حساسیت ماده انجام شود.

ث) نکات ایمنی در استریل‌سازی

رعایت اصول ایمنی هنگام کار با دستگاه‌های استریل‌سازی ضروری است. در اتوکلاو باید از دستکش حرارتی، عینک محافظ و کفش بسته استفاده شود و هرگز نباید ظرف‌های حاوی مایعات داغ را بلافاصله پس از چرخه استریل جابه‌جا کرد. در استفاده از فیلتر و آون نیز باید خطرات احتمالی مانند شکستن ظروف، سوختگی یا انتشار بخارات شیمیایی در نظر گرفته شود. رعایت دقیق دستورالعمل‌های سازنده و کنترل دوره‌ای تجهیزات، تضمین‌کننده ایمنی و کیفیت استریل‌سازی است.

۳–۲. آماده‌سازی محلول‌ها و محیط‌ها قبل از شروع کار

برای تهیه محلول‌ها و محیط‌های کشت، رعایت روش تهیه استاندارد ضروری است. ابتدا باید تمامی مواد اولیه با دقت اندازه‌گیری و محلول‌ها به درستی حل شوند. سپس، در صورت نیاز به استریل‌سازی، محلول‌ها در ظروف مقاوم و مناسب تقسیم شده و درب آن ها کمی باز گذاشته می‌شود تا طی اتوکلاو از تغییر فشار داخلی جلوگیری شود. محلول‌های حرارت‌حساس باید پس از تهیه، از فیلتر استریل عبور داده شوند. تمامی محلول‌ها باید قبل از استفاده از نظر شفافیت، نبود رسوب و عدم وجود آلودگی بررسی شوند. همچنین مناسب است محلول‌ها در حجم‌های کوچک (Aliquot) آماده شوند تا خطر آلودگی کاهش یابد و امکان استفاده طولانی‌مدت فراهم شود.

۳–۳. استریل‌سازی ابزارهای فلزی و شیشه‌ای

ابزارهای فلزی مانند لوپ، سوزن تلقیح و پنس را می‌توان با حرارت مستقیم و عبور دادن آن‌ها از شعله بونزن تا سرخ شدن کامل، استریل کرد. این روش سریع، قابل‌اعتماد و مناسب برای استفاده‌های مکرر در طول کار است. شیشه‌آلات آزمایشگاهی مانند پلیت‌های شیشه‌ای، بالن، ارلن و لوله‌های شیشه‌ای معمولاً با آون خشک یا اتوکلاو استریل می‌شوند. برای جلوگیری از آلودگی پس از استریل‌سازی، دهانه شیشه‌آلات با فویل آلومینیوم پوشانده

می‌شود. قبل از هر استفاده نیز باید از سالم و بدون ترک بودن شیشه‌آلات مطمئن شد، زیرا شکستگی‌ها می‌توانند استریل‌سازی را مختل کرده و خطر ایمنی ایجاد کنند.

فصل ۴: ابزارهای ایجاد محیط آنتی‌سپتیک

ایجاد یک محیط کار ایمن و عاری از آلودگی، نیازمند به‌کارگیری مجموعه‌ای از ابزارها و تجهیزات تخصصی است که نقش مهمی در کنترل ورود میکروارگانیسم‌ها به فضای آزمایشگاهی دارند. این ابزارها نه‌تنها باعث حفظ سلامت نمونه‌ها و صحت نتایج می‌شوند، بلکه از کارکنان نیز در برابر عوامل عفونی محافظت می‌کنند. در این فصل، مهم‌ترین ابزارهای ایجاد شرایط آنتی‌سپتیک معرفی و کاربردهای آن‌ها شرح داده می‌شود.

۴–۱. چراغ بونزن (Bunsen Burner)

چراغ بونزن یکی از ابزارهای سنتی و پرکاربرد در آزمایشگاه‌های میکروبی است که با تولید شعله‌ای پایدار، امکان استریل‌کردن سریع و مستقیم ابزارهای فلزی مانند لوپ و سوزن تلقیح را فراهم می‌کند. علاوه‌بر این، شعله بونزن جریان هوای گرم روبه‌بالا ایجاد می‌کند که می‌تواند احتمال ورود ذرات و میکروارگانیسم‌ها به فضای کاری نزدیک دهانه لوله‌ها یا پلیت‌های نیمه‌باز را کاهش دهد. با این حال، استفاده از بونزن نیازمند رعایت دقیق نکات ایمنی است؛ زیرا خطر سوختگی، آتش‌سوزی و تبخیر سریع مواد قابل اشتعال در کنار شعله وجود دارد. همچنین در هود لامینار کلاس II نباید از شعله بونزن استفاده کرد، زیرا جریان حرارت، عملکرد سیستم تهویه را مختل می‌کند.

تصویر ۱۰: چراغ بونزن

۴–۲. هودهای آزمایشگاهی و انواع آن

آزمایشگاه‌های میکروبیولوژی و شیمی محیط‌هایی هستند که در آن‌ها انواع فرآیندهای بیولوژیک، شیمیایی و فیزیکی انجام می‌شود و به‌طور طبیعی با خطرات بالقوه همراه‌اند. برای کنترل این خطرات، حفظ سلامت کاربران و جلوگیری از انتشار مواد سمی، ذرات میکروبی و بخارات شیمیایی، استفاده از هود آزمایشگاهی یک ضرورت اساسی است. هودها با ایجاد جریان هوای کنترل‌شده، حذف یا به دام‌انداختن آلاینده‌ها و محافظت از نمونه، محیط و کاربر، نقش حیاتی در ایمنی و کیفیت آزمایش‌ها دارند.

کاربرد هود آزمایشگاهی

هودها در آزمایشگاه‌های صنعتی، پزشکی، پژوهشی و میکروبی به دلایل زیر ضروری‌اند:

- جلوگیری از تماس نمونه‌ها با هوای محیط و جلوگیری از فساد یا تجزیه آن‌ها.
- محافظت از محیط آزمایشگاه در برابر انتشار آلودگی‌های میکروبی، بخارات شیمیایی یا سموم معلق.
- ایجاد یک فضای نیمه‌بسته که کاربر را در برابر واکنش‌های خطرناک، میکروارگانیسم‌ها و بخارات سمی محافظت می‌کند.

- جلوگیری از سوختگی‌های حرارتی و شیمیایی و محدودکردن انتشار ذرات آئروسل.
- برخی هودها با داشتن فن و خروجی، هوای آلوده را از محیط خارج می‌کنند و کیفیت هوای آزمایشگاه را بهبود می‌بخشند.

بنابراین استفاده از هود آزمایشگاهی در اغلب محیط‌های میکروبی و شیمیایی **یک الزام ایمنی و سلامت** است.

۴–۱. انواع هودهای آزمایشگاهی

هودهای آزمایشگاهی بر اساس نوع فعالیت و هدف ایمنی به چند گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

۱. هود شیمیایی (Chemical Fume Hood)

این هودها برای کنترل بخارات و گازهای سمی ناشی از واکنش‌های شیمیایی استفاده می‌شوند. فیلترهای مناسب و سیستم تهویه قوی از انتشار بخارات خطرناک جلوگیری می‌کنند. این هودها برای کارهای میکروبی مناسب نیستند، زیرا جریان هوای آن‌ها استریل نیست.

۲. هود میکروبی (Laminar Flow Hood / Biological Hood)

هودهای لامینار برای ایجاد جریان هوای تمیز و یکنواخت از طریق فیلتر HEPA طراحی شده‌اند و مهم‌ترین ابزار در محیط‌های کشت سلولی و میکروبیولوژی هستند. این هودها آلودگی محیطی را از فضای کار حذف کرده و کیفیت شرایط استریل را حفظ می‌کنند.

طبقه‌بندی هودهای بیولوژیک(Biological Safety Cabinets)

۱. هود بیولوژیک کلاس I

این هودها از **کاربر و محیط حفاظت می‌کنند اما از محصول حفاظت نمی‌کنند**؛ زیرا هوا بدون فیلتراسیون وارد فضای کار می‌شود. برای مواد بیولوژیک کم‌خطر مناسب‌اند.

ویژگی‌ها:

- حفاظت در برابر ذرات ۰/۳< میکرون
- فاقد حفاظت برای نمونه
- مناسب نمونه‌های غیرخطرناک
- عدم حفاظت در برابر بخارات شیمیایی

۲. هود بیولوژیک کلاس II

رایج‌ترین نوع هود در آزمایشگاه‌های میکروبیولوژی.

این هودها **از کاربر، محیط و محصول به‌طور همزمان محافظت می‌کنند.**

کلاس II خود شامل چند زیرگروه است:

نوعA2

- ۷۰ ٪هوای چرخشی، ۳۰٪ هوای خروجی
- مناسب کارهای روتین میکروبی و سلولی

نوع B1

- جریان عمودی از بالا به پایین
- حداقل ۷۰٪ هوا تخلیه از HEPA
- مناسب کشت باکتری و عملیات خطر متوسط

نوع B2 (Exhaust Total)

- تقریباً ۱۰۰٪ هوا از طریق HEPA تخلیه کامل می‌شود
- مناسب کار با مواد سمی، مواد شیمیایی همراه مواد بیولوژیک

نوع C1

- ترکیبی از گردش و تخلیه کامل
- مناسب شرایطی که نیاز به انعطاف‌پذیری وجود دارد

نوع C2

- حفاظت بسیار بالا
- ۹۹.۹۹٪ هوای خروجی فیلتر می‌شود
- مناسب کارهای با خطر بیولوژیک بالا

نکته:

در هیچ‌یک از انواع کلاس II نباید از **شعله بونزن** استفاده شود زیرا سیستم جریان هوا را مختل کرده و خطر آتش‌سوزی ایجاد می‌کند.

۳. هود بیولوژیک کلاس III

بالاترین سطح ایمنی زیستی را ایجاد می‌کند.

این هودها کاملاً بسته‌اند و کاربر از طریق دستکش‌های ثابت به داخل کابین دسترسی دارد.

ویژگی‌ها:

- فشار منفی
- دو مرحله فیلتراسیونHEPA
- محافظت کامل برای محصول، کاربر و محیط
- مناسب کارهای BSL-3 وBSL-4
- مورد استفاده در ویروس‌شناسی پیشرفته، توکسین‌ها، باکتری‌های خطرناک

سایر انواع هودها

هود کانوپی(Canopy Hood)

در بالای فضا نصب می‌شود و وظیفه آن خروج بخارات سبک و حرارت است.

برای تجهیزات حرارتی یا دستگاه‌هایی که بخار تولید می‌کنند استفاده می‌شود.

هود بازویی(Flex / Arm Extractor)

دارای بازوی متحرک است و برای جمع‌آوری دود و بخارات در نقاط مختلف میز آزمایش به کار می‌رود.

مناسب آزمایشگاه‌های شیمیایی سبک و کار با حلال‌ها.

تصویر۱۱: انواع هود بیولوژیک

۴–۳. تابش فرابنفش UV برای کاهش بار میکروبی

اشعهUV ، به‌ویژه طیف **UV-C** با طول‌موج حدود ۲۵۴ نانومتر، یکی از ابزارهای مؤثر در کاهش بار میکروبی در محیط‌های آزمایشگاهی است UV-C .با ایجاد **پیوندهای دایمر تیمین (Thymine Dimers)** در ساختار DNAمیکروارگانیسم‌ها، موجب اختلال در همانندسازی و عملکرد ژنتیکی آن‌ها شده و در نهایت سبب مرگ سلولی یا عدم توانایی تکثیر می‌شود. به همین دلیل، UV-C در بسیاری از هودهای لامینار و اتاق‌های کشت برای کاهش آلودگی سطحی و هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کاربرد UV در محیط‌های میکروبی عمدتاً **قبل و پس از انجام کشت** انجام می‌شود. پیش از آغاز کار، روشن‌کردن UV در داخل هود یا اتاق کشت باعث کاهش سطحی آلودگی و حذف میکروارگانیسم‌های باقی‌مانده از فعالیت‌های قبلی می‌شود. پس از پایان کار نیز تابش UV به‌عنوان یک مرحله تکمیلی ضدعفونی، سطح میز و فضای داخلی هود را برای استفاده بعدی آماده می‌کند. با این حال، UVجایگزین کامل روش‌های استریل‌سازی یا ضدعفونی شیمیایی نیست و تنها به‌عنوان یک ابزار کمکی برای حفظ شرایط آنتی‌سپتیک استفاده می‌شود.

با وجود کارایی بالایUV-C ، این روش **دارای محدودیت‌های مهمی** است. نخست آنکه توان نفوذ اشعه UV-C بسیار کم است و نمی‌تواند از شیشه، پلاستیک ضخیم، کاغذ و حتی سایه اجسام عبور کند. بنابراین تنها سطوحی که در معرض مستقیم تابش قرار دارند ضدعفونی می‌شوند. این محدودیت سبب می‌شود که UV برای ضدعفونی حجم‌بالای محیط، نواحی پنهان، زیر تجهیزات یا مواد چندلایه مناسب نباشد. همچنین قدرت ضدعفونی UV تحت تأثیر عواملی مانند فاصله، مدت تابش، شدت لامپ و تمیزی سطح قرار دارد. به دلیل آثار مخرب UV-C بر بافت‌های انسانی، رعایت **نکات ایمنی** هنگام استفاده از این سیستم ضروری است. تابش UV-C می‌تواند موجب سوختگی پوست، التهاب و آسیب شدید چشمی مانند کراتیت و کاتاراکت شود. از این رو، هنگام روشن بودنUV، هیچ فردی نباید در اتاق یا در مقابل هود حضور داشته باشد. استفاده از محافظهایUV، خاموش‌کردن کامل لامپ قبل از ورود به محیط، سرویس دوره‌ای لامپ‌ها و اطمینان از بسته بودن درب هود یا اتاق کشت از الزامات ایمنی هنگام کار با UV است.

۴–۴. مواد و تجهیزات کمکی برای حفظ شرایط آنتی‌سپتیک

برای ایجاد یک محیط کاری ایمن و عاری از آلودگی در آزمایشگاه میکروبیولوژی، استفاده از مواد و تجهیزات کمکی، علاوه بر ابزارهای اصلی، ضروری است. این وسایل امکان پاک‌سازی، حفاظت و حفظ شرایط آسپتیک را در تمام مراحل کار فراهم می‌سازند. در ادامه، این تجهیزات در چهار گروه اصلی طبقه‌بندی شده و معرفی می‌شوند.

۱. مواد ضدعفونی‌کننده شیمیایی

مواد ضدعفونی‌کننده از پایه‌های اصلی کنترل آلودگی در محیط‌های آزمایشگاهی هستند. **الکل ۷۰ درصد** به دلیل اثرگذاری قوی بر غشای میکروبی و قدرت نفوذ مناسب، پرکاربردترین ماده برای پاک‌سازی فوری سطوح و

دستکش‌ها است و اثر بهتری نسبت به غلظت‌های بالاتر الکل دارد. **هیپوکلریت سدیم (۱۰٪)** یکی از قوی‌ترین گندزداهاست و برای ضدعفونی محیط‌های آلوده، پسماندهای بیولوژیک و سطوح با خطر بالا استفاده می‌شود. در کنار این دو، **محلول‌های ضدعفونی سریع** شامل ترکیبات الکلی و آمونیوم چهار ظرفیتی، برای پاک‌سازی هود لامینار، میزهای کار و وسایل کوچک کاربرد دارند و به‌دلیل سرعت اثر بالا، در کارهای روزمره آزمایشگاهی اهمیت زیادی دارند.

۲. تجهیزات پاک‌سازی و آماده‌سازی سطوح

پاک‌سازی اصولی سطوح بدون بر جای گذاشتن ذرات یا الیاف، یکی از مراحل کلیدی حفظ شرایط آنتی‌سپتیک است. **دستمال‌های بدون پرز (Lint-free wipes)** به دلیل عدم ریزش الیاف و قدرت جذب بالا، بهترین گزینه برای استفاده همراه محلول‌های ضدعفونی‌کننده هستند و مانع ایجاد آلودگی ثانویه می‌شوند. در کنار دستمال‌ها، **اسپری‌ها و پی ست آزمایشگاهی** ابزارهای مهمی هستند که امکان توزیع یکنواخت محلول ضدعفونی را فراهم کرده و میزان تماس دست با سطوح آلوده را کاهش می‌دهند. این تجهیزات برای تمیزکردن هود، میز کار، سطح ظروف و تجهیزات کوچک به‌طور مداوم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳. ابزارهای حفظ استریل بودن ظروف و تجهیزات

برای جلوگیری از ورود آلودگی به ظروف استریل، استفاده از تجهیزات حفاظتی ضروری است. **فویل آلومینیوم** به‌عنوان یک پوشش مقاوم در برابر حرارت، برای پوشاندن دهانه ارلن‌ها، بالن‌ها و لوله‌های کشت به‌کار می‌رود و می‌تواند همراه ظروف در اتوکلاو استریل شود. همچنین **کاورها و روکش‌های استریل** برای محافظت طولانی‌مدت ظروف آماده‌سازی‌شده و ابزار حساس استفاده می‌شوند. این پوشش‌ها جریان هوا و ذرات معلق را از محل تماس با ظروف دور نگه می‌دارند و شرایط آسپتیک را تا زمان مصرف حفظ می‌کنند.

۴. ابزارهای یک‌بارمصرف استریل

استفاده از ابزارهای یک‌بارمصرف استریل یکی از مؤثرترین روش‌ها برای جلوگیری از آلودگی متقاطع در محیط‌های میکروبی است. **لوپ‌های یک‌بارمصرف** نیاز به شعله‌گذاری مکرر را حذف کرده و ایمنی بیشتری به‌ویژه در کنار هودهای لامینار فراهم می‌کنند. این لوپ‌ها به‌صورت کاملاً استریل بسته‌بندی شده و برای انتقال نمونه، تلقیح و کشت‌های میکروبی بسیار مناسب‌اند. در کنار آن‌ها، **پیپت‌های یک‌بارمصرف استریل** انتقال دقیق و ایمن مایعات را بدون نیاز به استریل‌سازی مجدد امکان‌پذیر می‌کنند و خطر انتقال آلودگی بین نمونه‌ها را حذف می‌سازند..

۴–۶. سیستم‌های دفع زباله میکروبی و ظروف Sharps Box

مدیریت صحیح پسماندهای میکروبی در آزمایشگاه میکروبیولوژی یکی از ارکان اصلی ایمنی زیستی است. در جریان فعالیت‌های کشت باکتری، کار با نمونه‌های کلینیکی و عملیات انتقال یا جداسازی مواد بیولوژیک، انواع پسماندهای آلوده تولید می‌شود که در صورت دفع نامناسب، می‌تواند موجب انتشار عوامل بیماری‌زا، آلودگی محیطی و ایجاد خطر برای کارکنان شود. اجرای یک سیستم استاندارد و چندلایه برای جمع‌آوری، جداسازی، بی‌خطرسازی و دفع این زباله‌ها، از مهم‌ترین الزامات هر آزمایشگاه می‌باشد.

نخست، ظروف دفع پسماند بیولوژیک باید از جنس مقاوم، نشتی‌ناپذیر، درب‌دار و به رنگ مشخص—معمولاً قرمز یا زرد—باشند تا به‌وضوح از سایر زباله‌ها تفکیک شوند. این ظروف در محیط‌های کشت باید در دسترس و نزدیک محل کار قرار گیرند تا امکان تماس مستقیم کارکنان با مواد آلوده به حداقل برسد. پسماندهایی مانند پلیت‌های کشت، نوک پیپت‌ها، دستکش‌های آلوده، کاغذهای جذب‌کننده و وسایل مصرفی آلوده باید بلافاصله در این ظروف قرار داده و سپس پیش از خروج از آزمایشگاه، توسط اتوکلاو در دمای استاندارد (۱۲۱°C، فشار ۱۵ psi) بی‌خطرسازی شوند. تنها پس از این مرحله است که زباله‌ها می‌توانند مطابق مقررات پسماندهای عفونی دفع شوند.

دسته دوم پسماندهای آزمایشگاهی—ابزارهای تیز—خطرناک‌تر بوده و نیاز به مدیریت کاملاً جداگانه دارند. ظروف Sharps Box برای جمع‌آوری سوزن‌ها، اسکالپل‌ها، تیغه‌ها، لوله‌های شیشه‌ای شکسته و هر نوع جسم نوک‌تیز به‌کار می‌روند. این ظروف باید از جنس مقاوم، غیرقابل سوراخ‌شدن و دارای درب‌های با طراحی ایمن باشند تا امکان برداشتن یا تماس مجدد با محتویات فراهم نشود. دفع ابزار تیز در ظروف عمومی یا پسماندهای معمولی ممنوع است، زیرا کوچک‌ترین تماس می‌تواند منجر به نیدل‌استیک، بریدگی و انتقال احتمالی عوامل عفونی خطرناک گردد. در آزمایشگاه میکروبی، هیچ سوزنی نباید مجدداً درپوش‌گذاری شود، بلکه باید بدون تماس با دست بلافاصله در ظرف Sharps انداخته شود.

از مهم‌ترین دلایل ضرورت سیستم دفع اصولی، جلوگیری از آلودگی متقاطع است. تماس ناخواسته وسایل، سطوح یا افراد با پسماندهای آلوده می‌تواند موجب انتقال عوامل بیماری‌زا، انتشار آلودگی بین بخش‌های مختلف آزمایشگاه و تداخل در نتایج آزمایش‌ها شود. مدیریت نادرست پسماندها همچنین می‌تواند موجب تشکیل آئروسل‌های آلوده و انتشار باکتری‌ها در هوا گردد. از این رو، رعایت زنجیره کامل جداسازی، جمع‌آوری، بی‌خطرسازی، بسته‌بندی و دفع نهایی پسماندهای میکروبی، جزء جدایی‌ناپذیر استانداردهای ایمنی زیستی (Biosafety Levels) است.

به طور کلی، کارایی آزمایشگاه میکروبیولوژی تنها زمانی تضمین می‌شود که علاوه بر کشت و آزمایش‌های دقیق، سیستم دفع پسماندهای بیولوژیک و ابزارهای تیز نیز مطابق استانداردهای بین‌المللی اجرا شود. این رویکرد سلامت کارکنان، ایمنی محیط و کیفیت علمی نتایج را در بالاترین سطح حفظ می‌کند.

تصویر۱۳ : Sharps Box مخصوص مخصوص جمع‌آوری ابزارهای تیز

۴–۷. حمل و نقل ،بسته بندی و دفع زباله های عفونی

زباله زیستی شامل هر ماده‌ای است که حاوی عوامل بیماری‌زا (ویروس، باکتری، قارچ، انگل) بوده و در صورت تماس یا انتشار می‌تواند سلامت انسان یا حیوان را تهدید کند (جدول۲).

اهمیت مدیریت صحیح زباله زیستی

- جلوگیری از انتقال بیماری‌های عفونی
- حفظ ایمنی کارکنان، دانشجویان و محیط آزمایشگاه
- رعایت قوانین بهداشتی و زیست‌محیطی
- پیشگیری از آلودگی متقاطع و انتشار آئروسل‌های خطرناک

جدول ۲: طبقه‌بندی زباله‌های زیستی در آزمایشگاه

نوع پسماند زیستی	نمونه‌ها	نحوه جمع‌آوری و ظروف مناسب	روش بی‌خطرسازی / دفع نهایی
۱. پسماندهای تیز و برنده آلوده (Sharps)	سوزن و سرنگ، لوله مویین، تیغ جراحی، تیغ میکروتوم، لام و لامل آلوده، شیشه شکسته آلوده	جمع‌آوری در **ظروف ایمن (Safety Box)** مقاوم، نشت‌ناپذیر، قابل اتوکلاو	اتوکلاو پس از پر شدن تا ¾ ظرف، سپس دفع بهداشتی
۲. پسماندهای پی‌پت و نوک سمپلر آلوده	پی‌پت‌های آلوده به خون یا عوامل عفونی، نوک سمپلر آلوده	قرار دادن در ظرف مخصوص **pipette biohazard** و سپس داخل کیسه اتوکلاو	اتوکلاو و سپس دفع در زباله‌های غیرقابل بازیافت
۳. پسماندهای میکروبی (کشت‌ها و محیط‌ها)	محیط‌های کشت باکتریایی، کشت قارچی، لوله‌های حاوی خون یا مایع آلوده	کیسه‌های مخصوص اتوکلاو (زرد، علامت بیولوژیک)، ظروف مقاوم	اتوکلاو استاندارد یا گندزدایی شیمیایی؛ سپس رهاسازی در کیسه زباله ضخیم سیاه
۴. پسماندهای مواد خطرناک زیست‌محیطی	نمونه‌های خون، ادرار، مدفوع، خلط، CSF، نمونه حیوانات آلوده	نمونه‌ها در ظروف درب‌دار؛ پس از اتوکلاو یا گندزدایی، در زباله عمومی قرار می‌گیرند	اتوکلاو یا ضدعفونی با سفیدکننده؛ برخی (مانند بافت حیوان) نیازمند سوزاندن
۵. اقلام آلوده کوچک	دستکش آلوده، پنبه و گاز آلوده، سواب، اپلیکاتور، سرسمپلر، دیسک آنتی‌بیوگرام	کیسه مخصوص اتوکلاو با علامت خطر زیستی	اتوکلاو و سپس دفع در کیسه سیاه یا زرد بسته به نوع انتقال
۶. پسماندهای مدفوع و نمونه‌های انگلی	مدفوع آلوده یا مشکوک به انگل	ظرف زرد درب‌دار با علامت بیولوژیک؛ افزودن فرمالین ۵–۱۰٪ نسبت ۱:۳	سوزاندن یا دفع توسط شهرداری پس از تثبیت با فرمالین
۷. پسماندهای کشت بافت (Cell Culture)	فلاسک‌ها، پلیت‌ها، محیط‌های کشت سلولی آلوده	کیسه اتوکلاو یا ظروف مقاوم	اتوکلاو کامل؛ سپس دفع بهداشتی
۸. پسماند بخش آناتومی	قطعات و اجزای بدن انسان	کیسه مقاوم با علامت خطر زیستی	دفع طبق موازین شرعی (دفن بهداشتی)
۹. پسماندهای آسیب‌شناسی تشریحی	بافت‌ها، اندام‌ها، نمونه‌های بزرگ	ظروف پلاستیکی محکم (زرد)، برچسب کامل	دفع بهداشتی طبق مقررات شرعی و سازمانی
۱۰. پسماندهای شیشه‌ای غیرعفونی	شیشه‌های شکسته غیرآلوده	جمع‌آوری در جعبه غیرقابل نفوذ با برچسب «غیرعفونی»	دفع بهداشتی (بدون اتوکلاو)

-مراحل دفع ایمن زباله‌های زیستی

دفع ایمن زباله‌های زیستی یکی از مهم‌ترین ارکان ایمنی زیستی (Biosafety) در آزمایشگاه‌های میکروبیولوژی است. پسماندهای عفونی، ابزارهای تیز، مواد شیمیایی خطرناک و پسماندهای دارویی در صورت مدیریت نادرست، می‌توانند منجر به انتشار عوامل بیماری‌زا، آلودگی محیطی، انتقال عفونت و افزایش خطر مواجهه کارکنان شوند. اجرای یک نظام دقیق مبتنی بر تفکیک، بسته‌بندی، برچسب‌گذاری، حمل‌ونقل و بی‌خطرسازی، تضمین‌کننده سلامت کارکنان و رعایت استانداردهای ایمنی در محیط آزمایشگاه است. در ادامه مراحل دفع ایمن زباله‌های زیستی به‌صورت آکادمیک تشریح شده است.

مرحله ۱: تفکیک زباله‌ها

تفکیک صحیح زباله‌های زیستی نقطه آغازین و مهم‌ترین مرحله در مدیریت ایمن پسماندهای بیمارستانی و آزمایشگاهی است. انجام این مرحله بلافاصله در محل تولید پسماند، از انتشار عوامل بیماری‌زا، کاهش خطرات شغلی، جلوگیری از آلودگی محیط زیست و افزایش کارایی مراحل بعدی دفع جلوگیری می‌کند. ابزار اصلی تفکیک، **کیسه‌ها و ظروف استاندارد با رنگ‌بندی مشخص** هستند که مطابق دستورالعمل‌های جهانی طراحی شده‌اند و هر کدام برای نوع مشخصی از پسماند مورد استفاده قرار می‌گیرند.

الف .کیسه‌های مخصوص پسماند غیرعفونی (رنگ‌های مشکی یا سفید)

پسماندهای غیرعفونی شامل کاغذ، پلاستیک، بسته‌بندی‌ها و مواد غیرخطرناک هستند. این مواد در کیسه‌های **سیاه یا سفید** جمع‌آوری می‌شوند.

ویژگی‌های این کیسه‌ها:

- استحکام مناسب برای جمع‌آوری زباله‌های معمولی
- عدم نیاز به مقاومت حرارتی یا شیمیایی بالا
- مناسب برای بخش‌های اداری، فضاهای عمومی و اتاق‌های غیرآلوده

این کیسه‌ها نباید برای پسماندهای عفونی یا خطرناک استفاده شوند.

ب .کیسه‌های مخصوص پسماند عفونی (رنگ‌های زرد، قرمز یا نارنجی)

پسماندهای عفونی شامل **خون، سرم، بافت‌های آلوده، پلیت‌های کشت، سواب‌ها، پانسمآن‌ها، دستکش آلوده و هر گونه ماده بیولوژیک خطرناک** هستند. این دسته از پسماندها باید در کیسه‌های **زرد، قرمز یا نارنجی** با علامت بین‌المللی **BIOHAZARD** بسته‌بندی شوند.

ویژگی‌های کیسه‌های عفونی:

- **مقاومت بسیار بالا** در برابر پارگی و نشت
- تولید شده از پلاستیک‌های باکیفیت و **بدون مواد بازیافتی**
- قابلیت تحمل وزن زیاد
- برخی مدل‌ها دارای **مقاومت حرارتی تا** $\mathbf{^{\circ}C}$ ۱۳۰برای اتوکلاوکردن هستند

این کیسه‌ها ابزار اصلی کنترل عفونت در محیط‌های میکروبیولوژیک هستند.

پ .کیسه‌ها و ظروف مخصوص امحای البسه و منسوجات آلوده

این کیسه‌ها برای امحاء **پارچه‌ها، گآن‌ها، ملحفه‌ها و هرگونه منسوج آلوده به خون یا مواد بیولوژیک** استفاده می‌شوند.

خصوصیات این کیسه‌ها:

- ساخته‌شده از **پلاستیک مقاوم به حرارت** جهت تحمل فرآیند اتوکلاو
- دارای **نماد هشدار زیستی**
- جلوگیری از نشت مایعات در طول نگهداری یا حمل‌ونقل

این گروه نقش اساسی در کنترل آلودگی متقاطع در بخش‌های میکروبی، کلینیکی و مراکز درمانی دارد.

تصویر۱۳: انواع کیسه زباله بیمارستانی

مرحله ۲: بسته‌بندی ایمن

پس از تفکیک، زباله‌ها باید در ظروف و کیسه‌های مقاوم به نشت بسته‌بندی شوند:

- استفاده از **کیسه‌های ضخیم و نشتی‌ناپذیر** دارای نماد بین‌المللی خطر زیستی (☣) برای زباله‌های عفونی
- استفاده از **ظروف Sharps Box** برای وسایل تیز؛ این ظروف باید تا خط مشخص‌شده و حداکثر ۲/۳ حجم پر شوند
- بسته‌شدن دهانه کیسه‌ها با **بست‌های ایمن و غیرقابل بازگشت**
- ممنوعیت فشرده‌سازی یا فشردن محتویات کیسه‌ها برای جلوگیری از ایجاد آئروسل یا پارگی

این مرحله از نشت، پارگی و مواجهه مستقیم کارکنان با مواد عفونی جلوگیری می‌کند.

مرحله ۳: برچسب‌گذاری(Labeling)

تمام بسته‌های پسماند زیستی باید پیش از خروج از آزمایشگاه **به‌صورت استاندارد برچسب‌گذاری شوند** .

اطلاعات الزامی شامل:

- **نوع زباله :**عفونی، شیمیایی، دارویی، تیز و برنده
- **تاریخ جمع‌آوری :**ثبت زمان برای مدیریت صحیح چرخه دفع
- **نام بخش تولیدکننده :**مانند «کشت باکتری»، «کشت سلولی»
- **نام یا کد مسئول جمع‌آوری :**جهت پاسخگویی و ردیابی

برچسب‌گذاری صحیح امکان نظارت، مدیریت دقیق و جلوگیری از اختلاط پسماندها را فراهم می‌سازد.

مرحله ۴: حمل‌ونقل داخلی

برای انتقال زباله‌ها از آزمایشگاه به محل بی‌خطرسازی باید از وسایل استاندارد استفاده شود:

- **چرخ‌دستی یا کانتینر درب‌دار، محکم و قابل شست‌وشو**
- مسیر حمل باید **اختصاصی** بوده و از مسیرهای عمومی یا محل عبور کارکنان و ارباب‌رجوع جدا باشد
- پس از هر بار حمل، تجهیزات انتقال باید با محلول‌هایی مانند هیپوکلریت سدیم یا الکل ضدعفونی شوند
- از پرتاب یا ضربه‌زدن به بسته‌ها جلوگیری شود

این مرحله احتمال انتشار آلودگی در محیط را به حداقل کاهش می‌دهد.

مرحله ۵: بی‌خطرسازی و دفع نهایی

بی‌خطرسازی مرحله نهایی مدیریت پسماندهای زیستی است و بسته به نوع زباله، روش‌های متفاوتی دارد:

۱. اتوکلاو (Sterilization by Steam Under Pressure)

- مؤثرترین روش برای بی‌خطرسازی زباله‌های باکتریایی و ویروسی
- مناسب برای پلیت‌ها، محیط‌های کشت، پارچه‌های آلوده و ابزار غیرتیز

۲. سوزاندن در کوره‌های مخصوص (Incineration)

- مناسب زباله‌های غیرقابل بازیافت، اجسام تیز اتوکلاو نشده و پسماندهای دارویی
- زباله‌ها در دمای بسیار بالا (بیش از ۱۰۰۰ درجه) کاملاً تخریب و بی‌خطر می‌شوند

۳. بی‌اثرسازی شیمیایی

- استفاده از محلول‌های قدرتمند مانند:
  - **هیپوکلریت سدیم ۰.۵%**
  - **گلوتارآلدئید ۲%**
  - **فنول و ترکیبات چهارظرفیتی آمونیوم**
- مناسب سطوح آلوده، محلول‌های آزمایشگاهی یا وسایل غیرقابل اتوکلاو

انتخاب روش بی‌خطرسازی باید متناسب با **نوع پسماند، سطح خطر زیستی، سازگاری مواد و استانداردهای سازمانی** انجام شود.

فصل ۵: ایمنی سانتریفیوژ و نکات ضروری در آزمایشگاه میکروبیولوژی

سانتریفیوژ یکی از مهم‌ترین تجهیزات آزمایشگاهی است که در بسیاری از فرایندهای جداسازی، تغلیظ یا رسوب‌گذاری نمونه‌های میکروبی، شیمیایی و بالینی به کار می‌رود. با این حال، استفاده نادرست از سانتریفیوژ می‌تواند منجر به ایجاد آئروسل‌های آلوده، شکستگی لوله‌ها، انتشار مواد بیولوژیک خطرناک و آسیب‌های مکانیکی شود. به همین دلیل، رعایت اصول ایمنی هنگام استفاده از انواع سانتریفیوژ در محیط‌های میکروبی الزامی است. در این بخش، نکات اساسی مرتبط با ایمنی سانتریفیوژ، نحوه برخورد با شکستگی لوله، کنترل آئروسل‌های آلوده و نگهداری مناسب دستگاه به‌صورت آکادمیک و ساختارمند ارائه شده است.

۵-۱. اصول استفاده ایمن از سانتریفیوژ

اولین اصل ایمنی هنگام استفاده از سانتریفیوژ، **کاهش تولید آئروسل** است. آئروسل‌ها ذرات معلق حاوی میکروارگانیسم هستند که به‌سادگی در اثر چرخش سریع، بازکردن لوله‌ها، پیپتاژ شدید یا نشت نمونه ایجاد می‌شوند. برای جلوگیری از ایجاد آئروسل، باید از لوله‌ها و محفظه‌هایی استفاده شود که درپوش محکم دارند و از

سانتریفیوژهای درب‌دار و روتورهای ایمن بهره گرفته شود. همیشه باید پیش از روشن کردن دستگاه از بسته‌بودن کامل درب سانتریفیوژ اطمینان حاصل کرد؛ زیرا بازبودن درب در هنگام چرخش با سرعت بالا، خطر جدی برای کاربر و محیط ایجاد می‌کند.

یکی از نکات اساسی ایمنی در سانتریفیوژ کردن نمونه‌های عفونی یا کلینیکی این است که **هرگز نباید نمونه‌هایی مانند خون، ادرار، خلط یا سایر مایعات بالقوه خطرناک بدون درپوش سانتریفیوژ شوند**. همچنین هنگام کار با کشت‌های باکتریایی یا نمونه‌هایی که پتانسیل ایجاد آئروسل عفونی دارند، استفاده از محفظه‌های سانتریفیوژ با درب‌های کاملاً محکم (Sealed Buckets) ضروری است.

۵-۲. تراز و تعادل دستگاه هنگام چرخش

تراز بودن نمونه‌ها در روتور یکی از مهم‌ترین اصول ایمنی است. **عدم تعادل سانتریفیوژ** موجب ارتعاش شدید، آسیب به روتور، کاهش طول عمر دستگاه و افزایش خطر شکستگی لوله‌ها می‌شود. بنابراین پیش از شروع کار باید از وزن برابر نمونه‌ها، ارتفاع یکسان لوله‌ها و قرارگیری صحیح آن‌ها در سطل‌ها اطمینان حاصل شود. در صورت مشاهده ارتعاش شدید، دستگاه باید فوراً خاموش شود.

۵-۳ . نکات ایمنی مرتبط با ظروف شیشه‌ای و ابزارهای مرتبط

در کار با سانتریفیوژ و سایر تجهیزات، استفاده از ظروف شیشه‌ای شکسته یا حتی ترک‌خورده ممنوع است و چنین ظروفی باید بلافاصله دور ریخته شوند. بازکردن درب ظروف شیشه‌ای با فشار زیاد نیز می‌تواند منجر به شکستگی و بریدگی شود؛ بنابراین درب‌های چسبیده باید با ابزار مناسب و برش کنترل‌شده باز شوند. شیشه‌آلات آلوده باید پیش از شست‌وشو ضدعفونی اولیه شوند و جابه‌جایی ظروف داغ باید با دستکش مقاوم در برابر حرارت انجام گیرد. همچنین ظروف شکسته باید تنها با ابزارهای مکانیکی (نه با دست) جمع‌آوری شوند.

۵-۴ . نحوه برخورد با شکستگی لوله در حین سانتریفیوژ

در صورتی‌که لوله‌ای در حین سانتریفیوژ بشکند یا حتی مشکوک به شکستگی باشد،کاربر **نباید بلافاصله درب سانتریفیوژ را باز کند**. ابتدا باید دستگاه خاموش شده و دست‌کم **۳۰ دقیقه** برای ته‌نشینی آئروسل‌های احتمالی صبر کرد. اگر پس از این مدت شکستگی لوله تایید شد، باید دوباره درب دستگاه بسته شود و ۳۰ دقیقه دیگر صبر شود تا ذرات معلق کاملاً رسوب کنند. سپس محفظه باید مطابق با دستورالعمل‌های ضدعفونی مواد عفونی با محلول مناسب—مانند هیپوکلریت سدیم ۱:۱۰—ضدعفونی شود و مواد آلوده یا قطعات شیشه‌ای طبق مقررات ایمنی جمع‌آوری شوند.

۵-۵ . ضدعفونی و نگهداری سانتریفیوژ

تمیزکردن و ضدعفونی سانتریفیوژ باید به‌طور منظم انجام شود. استفاده از **هیپوکلریت سدیم با رقت ۱:۱۰** یا محلول‌های مناسب دیگر برای پاک‌سازی سطح داخلی و خارجی دستگاه توصیه می‌شود. سانتریفیوژ، مانند سایر تجهیزات آزمایشگاهی نظیر بن‌ماری، یخچال و فریزر، نیازمند برنامه نگهداری منظم است که شامل تمیزکاری روزانه، بررسی سلامت روتورها و کنترل عملکرد سیستم ایمنی درب است. همچنین تجهیزات پیش از ارسال برای تعمیر باید با مواد مناسب ضدعفونی شوند و سپس تحویل داده شوند.

تصویر۱۲ : سانتریفیوژ

فصل ۶: پروتکل مدیریت نیدل‌استیک (Needle Stick Injury – NSI)

نیدل‌استیک یکی از مهم‌ترین مخاطرات شغلی در محیط‌های درمانی و آزمایشگاهی است و می‌تواند باعث انتقال عوامل بیماری‌زای خون‌منتقل‌شونده مانند **HBV، HCV و HIV** شود. براساس داده‌های منتشرشده در فایل آموزشی N-SIP، سالانه میلیون‌ها نفر از کارکنان حوزه سلامت در سراسر جهان در معرض NSI قرار می‌گیرند و بسیاری از موارد نیز **گزارش نمی‌شوند** . این مسئله اهمیت وجود یک پروتکل استاندارد، قابل اجرا و آگاهی نسبت به روش برخورد صحیح پس از آسیب را دوچندان می‌کند.

پروتکل زیر، مراحل استاندارد مدیریت نیدل‌استیک را بر اساس اصول ایمنی زیستی، توصیه‌های CDC، و محتوای ماژول N-SIP تهیه شده است.

۶–۱. تعریف و اهمیت نیدل‌استیک

نیدل‌استیک به هرگونه **سوراخ‌شدگی پوست** توسط سوزن، ابزار نوک‌تیز یا هر جسم آلوده به خون یا مایعات بیولوژیک اطلاق می‌شود. این آسیب‌ها از جمله خطرات اصلی در محیط‌های کشت میکروبی، نمونه‌برداری خون، تزریق، کار با لوله‌های شیشه‌ای و دفع پسماند تیز هستند.

اهمیت NSI در این است که:

- راه مستقیم انتقال ویروس‌های HBV، HCV و HIV است.
- می‌تواند منجر به اضطراب، مشکلات روحی و هزینه‌های درمانی شود.

- در بسیاری از کشورها ۲۰–۴۰ ٪ موارد **هرگز گزارش نمی‌شود** که این امر مدیریت خطر را دشوار می‌کند .
- رعایت نکردن Standard Precautions مهم‌ترین عامل بروز NSI شناخته شده است.

۶–۲. عوامل شایع بروز نیدل‌استیک

طبق گزارش‌های موجود در فایل، بیشترین عوامل موثر در وقوع NSI شامل موارد زیر است:

- **Recapping** یا درپوش‌گذاری مجدد سوزن (رفتاری که از سال ۱۹۸۷ ممنوع شده است)
- عجله، خستگی، حجم کاری بالا
- دفع نادرست وسایل تیز
- نداشتن آموزش رسمی درباره NSI
- کار با نمونه‌های آلوده در محیط‌های فاقد استانداردهای حفاظتی
- رعایت نکردن Universal Precautions

۶–۳. مراحل مدیریت فوری نیدل‌استیک

این مراحل باید **بلافاصله و بدون تأخیر** انجام شوند:

مرحله اول: کمک‌های اولیه

۱. **قطع نکنید و فشار ندهید.**

۲. محل آسیب را زیر آب جاری به‌مدت ۳۰–۶۰ ثانیه شست‌وشو دهید.

۳. از فشار دادن زخم خودداری کنید.

٤. برای بریدگی‌ها از صابون ملایم استفاده کنید.

٥. برای تماس با چشم، بینی یا دهان، از شست‌وشوی فوری با آب فراوان استفاده کنید.

مرحله دوم: گزارش حادثه (Reporting)

مطابق توصیه‌های N-SIP، گزارش سریع حادثه یکی از مهم‌ترین بخش‌های کنترل خطر است، زیرا بسیاری از موارد به دلیل **کم‌اهمیت شمردن خطر** گزارش نمی‌شوند و این یک مشکل رایج است .

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

- زمان و مکان حادثه
- نوع نمونه آلوده (خون، سرم، محیط کشت)
- نوع وسیله (سوزن خالی، سرسوزن، اسکالپل و...)
- وضعیت واکسیناسیون HBV کاربر
- مشخصات فرد آسیب‌دیده
- مشخصات منبع احتمالی (Patient source)

مرحله سوم: ارزیابی خطر (Risk Assessment)

این مرحله توسط پزشک کنترل عفونت یا مسئول ایمنی زیستی انجام می‌شود.

موارد ارزیابی:

- نوع آسیب (سطحی یا عمیق)
- میزان خون یا مایع انتقال‌یافته

- نوع وسیله (توخالی/توپر، یکبارمصرف/استریل)
- وضعیت آلودگی منبع (HBV، HCV، HIV)
- وضعیت واکسیناسیون فرد آسیب‌دیده

طبق محتوای فایل، **درک پایین از خطر و تصور اشتباه از بی‌خطر بودن بیمار** باعث افزایش NSI می‌شود و دقت در ارزیابی ضروری است .

مرحله چهارم: آزمایش‌های لازم

برای فرد آسیب‌دیده:

- HBsAg، Anti-HBs، Anti-HBc
- Anti-HCV
- HIV Ag/Ab

برای فرد منبع (در صورت امکان): همان آزمایش‌ها با رضایت آگاهانه.

مرحله پنجم: شروع پروفیلاکسی پس از تماس (Post-Exposure Prophylaxis – PEP)

برای HBV

- اگر فرد واکسینه نشده باشد: **HBIG** + **شروع واکسیناسیون HBV**
- اگر واکسیناسیون ناقص باشد: HBIG + تکمیل دوزها
- اگر فرد ایمنی کافی دارد (Anti-HBs >۱۰): نیاز به PEP نیست

برای HIV

- شروع PEP حداکثر تا **۲ ساعت اول**
- مصرف داروی ضد رتروویروس به مدت ۲۸ روز
- پیگیری در هفته ۶، هفته ۱۲ و ماه ۶

برای HCV

- PEP مؤثر وجود ندارد
- پیگیری با آزمایش دوره‌ای

۶–۴. پیگیری (Follow-up)

فرد آسیب‌دیده باید طی یک برنامه پیگیری کامل، شامل آزمایش‌های دوره‌ای، مراجعه پزشکی، ارزیابی روانشناختی و حمایت سازمانی قرار گیرد.

پرونده NSI باید در سیستم ایمنی زیستی ثبت و تحلیل شود.

۶–۵. راهکارهای پیشگیری از نیدل‌استیک

بر اساس داده‌های فایل N-SIP، تنها آموزش و آگاهی کافی نیست؛ رفتار صحیح، رعایت Standard Precautions و استفاده از ابزار ایمن ضروری است .

اصول پیشگیری:

- ممنوعیت Recapping
- استفاده از وسایل ایمنی‌دار مانند Safety-Needles
- دفع فوری سوزن بدون تماس دست در Sharps Box
- عدم پر کردن ظروف Sharps بیش از **⅔ حجم**
- رعایت PPE (دستکش، ماسک، محافظ چشم)
- آرام‌سازی شرایط کار، کاهش عجله و خستگی
- آموزش منظم کارکنان

مطابق یافته‌های N-SIP، **آموزش منظم، اجرای ماژول‌های پیشگیرانه و افزایش آگاهی نسبت به خطر NSI** باعث کاهش چشمگیر میزان آسیب می‌شود.

در یک مطالعه، اجرای برنامه آموزشی باعث افزایش چشمگیر دانش و رفتار صحیح پرسنل شد، و این موضوع در فایل نیز مورد تأیید قرار گرفته اس

فصل ۷: انواع سطوح ایمنی زیستی(Biological Safety Levels – BSLs)

سطوح ایمنی زیستی (BSLs) چارچوبی استاندارد برای طراحی، سازمان‌دهی و اجرای عملیات آزمایشگاهی در حضور عوامل بیولوژیک هستند. این سطوح بر اساس **میزان خطر میکروارگانیسم‌ها، راه‌های انتقال، شدت بیماری‌زایی و قابلیت درمان یا پیشگیری** تنظیم شده‌اند.

هدف اصلیBSL ها، ایجاد یک محیط ایمن برای کارکنان، جلوگیری از انتشار عوامل خطرناک و تضمین

کیفیت فعالیت‌های آزمایشگاهی است.

BSL ها در چهار سطح طبقه‌بندی می‌شوند:**BSL-1، BSL-2، BSL-3 و BSL-4** (جدول ۳).

۱–۷ .سطح ایمنی زیستی ۱(BSL-1)

BSL-1 پایه‌ای‌ترین سطح ایمنی زیستی است و برای کار با میکروارگانیسم‌هایی به‌کار می‌رود که **خطر کم دارند** و معمولاً در افراد سالم بیماری جدی ایجاد نمی‌کنند. این موجودات به‌ندرت باعث بیماری می‌شوند و خطر انتقال کم است.

نمونه میکروارگانیسم‌های:BSL-1

- (*Escherichia coli* غیرپاتوژن)
- *Bacillus subtilis*
- برخی گونه‌های *Lactobacillus*

اقدامات ایمنی اصلی:

- عدم نیاز به تجهیزات خاص؛ کار در فضای باز آزمایشگاهی
- استفاده از دستکش، گان و رعایت اصول اولیه آسپتیک
- شست‌وشوی دست پس از انجام کار
- ممنوعیت خوردن و آشامیدن در محیط آزمایش
- سطوح باید قابل شست‌وشو و ضدعفونی باشند

کاربرد:

- آزمایشگاه‌های آموزشی
- پژوهش‌های پایه روی میکروارگانیسم‌های غیر بیماری‌زا

۷–۲. سطح ایمنی زیستی ۲(BSL-2)

BSL-2 رایج‌ترین سطح در آزمایشگاه‌های میکروبیولوژی است و برای کار با پاتوژن‌های **خطر متوسط** که می‌توانند در انسان بیماری ایجاد کنند، استفاده می‌شود. این عوامل معمولاً از طریق **تماس مستقیم، سوزن‌زدگی، ترشحات و بلع** منتقل می‌شوند.

نمونه میکروارگانیسم‌های:BSL-2

- *Salmonella spp.*
- *Klebsiella pneumoniae*
- HCV ،HBV
- (HIV در مراحل خاص)

اقدامات ایمنی اصلی:

- استفاده از **هود بیولوژیک کلاس II** برای کارهای مولد آئروسل
- رعایت کامل PPE: دستکش، گان، گاهی محافظ چشم
- دفع زباله‌های عفونی در ظروف استاندارد
- محدودیت دسترسی به افراد آموزش‌دیده
- وجود سیستم شست‌وشوی چشم(Eye-wash)

کاربرد:

- آزمایشگاه‌های میکروبی تشخیصی
- مراکز کنترل عفونت
- آزمایشگاه‌های کشت سلول

۳–۷ .سطح ایمنی زیستی ۳(BSL-3)

BSL-3برای کار با میکروارگانیسم‌هایی با **خطر بالا** طراحی شده است؛ این پاتوژن‌ها می‌توانند باعث بیماری‌های شدید یا بالقوه مرگبار شوند، اغلب از طریق **آئروسل** منتقل می‌شوند و ممکن است واکسن یا درمان قطعی نداشته باشند.

نمونه پاتوژن‌های BSL-3:

- *Mycobacterium tuberculosis*
- MERS-CoV ،SARS-CoV
- *Brucella spp.*
- *Coxiella burnetii*

اقدامات ایمنی اصلی:

- کار فقط در **هود بیولوژیک کلاس II یاIII**
- استفاده از PPE شامل ماسک N95 یا سیستم تنفسیPAPR
- ورود و خروج کنترل‌شده با قفل دوگانه
- اتاق با **فشار منفی** نسبت به راهرو

- فیلتر HEPA روی هوای خروجی
- آموزش ویژه و ثبت ورود و خروج کارکنان

کاربرد:

- پژوهش بیماری‌های خطرناک و هوازی
- آزمایشگاه‌های مرجع(Reference Labs)
- تحقیقات واکسیناسیون و پاتوژنز

۴–۷ .سطح ایمنی زیستی ۴(BSL-4)

این سطح بالاترین رده ایمنی زیستی است و برای کار با عوامل بیولوژیکی **بسیار خطرناک، ناشناخته و اغلب کشنده** که انتقال‌پذیری بالا دارند و درمان یا واکسن مؤثری برای آن‌ها وجود ندارد استفاده می‌شود.

نمونه پاتوژن‌های BSL-4:

- ویروس ابولا
- ویروس ماربورگ
- ویروس لاسا
- نیپا و هِندرا

اقدامات ایمنی اصلی:

- کار در **هود بیولوژیک کلاس III** یا با **لباس فشار مثبت(Positive-pressure suit)**
- ورود از طریق اتاق دوش و خروج از طریق سیستم دوش هوا/آب

- سیستم تهویه کاملاً مستقل با دو فیلتر HEPA
- ساختمان جداگانه و کاملاً ایزوله
- کنترل شدید رفت‌وآمد و نظارت دائمی

کاربرد:

- مراکز تحقیقاتی ویروس‌های بسیار خطرناک
- آزمایشگاه‌های سطح ملی یا بین‌المللی با استاندارد خاص

جدول۳. سطوح BSL

سطح	نمونه کاربرد	نوع هود	تجهیزات اصلی	نوع پاتوژن
BSL-1	آموزش دانشگاهی	نیاز ندارد	PPE پایه	**غیرپاتوژن یا کم‌خطر**
BSL-2	کشت سلولی، تشخیص میکروبی	BSC کلاسII	PPE کامل + سیستم دفع ایمن	**خطر متوسط**
BSL-3	TB، SARS، Brucella	BSC II یاIII	PPE ویژه + تعبیه فشار منفی	**خطر بالا، آئروسل‌زا**
BSL-4	ابولا، ماربورگ	BSC III	لباس فشار مثبت + سیستم ایزوله	**بسیار خطرناک**

فصل ۸: اقدامات اضطراری در مواجهه با خطر

۸–۱. اصول کلی مدیریت شرایط اضطراری

تعریف وضعیت اضطراری

وضعیت اضطراری در آزمایشگاه به هر حادثه یا رویدادی گفته می‌شود که سلامت و ایمنی کارکنان، نمونه‌ها یا تجهیزات را تهدید کند و نیازمند **اقدام فوری، کنترل‌شده و مبتنی بر دستورالعمل** باشد. این وضعیت می‌تواند

ناشی از ریخت‌وپاش مواد عفونی، تماس با عوامل شیمیایی، ایجاد آئروسل‌های خطرناک، نیدل‌استیک، آتش‌سوزی، نشت گاز، خرابی تجهیزات یا هر رخداد پیش‌بینی‌نشده دیگری باشد. ویژگی اصلی یک وضعیت اضطراری در آزمایشگاه، **غیرمنتظره بودن، سرعت گسترش خطر و نیاز به تصمیم‌گیری سریع** است.

زنجیره اقدامات اضطراری(Alert – Act – Report)

مدیریت موثر شرایط اضطراری در آزمایشگاه بر اساس یک مسیر استاندارد سه‌مرحله‌ای انجام می‌شود که به آن **زنجیره اقدامات اضطراری (A–A–R)** گفته می‌شود:

۱ – Alert .هشدار و شناسایی

- تشخیص سریع حادثه یا خطر
- آگاه کردن افراد حاضر و دورکردن کارکنان از محل
- فعال‌سازی هشدارهای صوتی یا تماس با مسئول ایمنی
- ارزیابی اولیه نوع خطر (بیولوژیک، شیمیایی، حرارتی، مکانیکی)

۲ – Act .اقدام فوری

- اجرای پروتکل‌های عملیاتی متناسب با نوع حادثه
- استفاده از تجهیزات اضطراری شامل: دوش ایمنی، شست‌وشوی چشم، Spill Kit، خاموش‌کننده‌ها
- قرنطینه‌کردن محل حادثه و جلوگیری از گسترش آلودگی
- ارائه کمک‌های اولیه به فرد آسیب‌دیده
- بستن مسیرهای تهویه در حوادث بیولوژیک و باز کردن آن در مواجهه با بخارات شیمیایی (طبق نوع خطر)

۳ – Report .گزارش و مستندسازی

- تکمیل فرم رسمی گزارش حادثه
- اطلاع‌رسانی به مسئول فنی و کمیته ایمنی زیستی
- ثبت نوع حادثه، علت احتمالی، اقدامات انجام‌شده و وضعیت فرد آسیب‌دیده
- تحلیل حادثه برای جلوگیری از وقوع مجدد

این زنجیره تضمین می‌کند که واکنش به حادثه **سریع، کنترل‌شده، علمی و مستند** باشد.

۸–۲. مواجهه با ریخت‌وپاش مواد بیولوژیک (Biological Spills)

ریخت‌وپاش مواد بیولوژیک یکی از شایع‌ترین حوادث آزمایشگاهی است که می‌تواند منجر به ایجاد آئروسل، آلودگی محیطی، تماس پوستی یا انتقال عوامل بیماری‌زا شود. شدت خطر بسته به نوع ماده بیولوژیک، حجم ریختگی و سطح ایمنی زیستی (BSL) متفاوت است. بنابراین برخورد با این حوادث باید مطابق پروتکل‌های استاندارد و با حفظ خونسردی و دقت کامل انجام گیرد.

۱. ریختن مواد عفونی کم‌خطر(BSL-1)

این دسته شامل مواد بیولوژیک غیرپاتوژن یا کم‌خطر است؛ با این حال، رعایت اصول آسپتیک و پاک‌سازی صحیح ضروری است.

اقدامات:

۱. اطلاع‌رسانی به افراد حاضر و جلوگیری از نزدیک‌شدن افراد غیرمسئول.

۲. پوشیدن دستکش، گان و در صورت نیاز محافظ چشم.

۳. خشک‌کردن منطقه با دستمال بدون پرز.

٤. اعمال محلول ضدعفونی (مانند هیپوکلریت ۰.۵٪، الکل ۷۰٪) و گذاشتن حداقل ۱۰ دقیقه.

٥. جمع‌آوری پسماندها در ظرف زباله بیولوژیک.

٦. شست‌وشوی نهایی سطح و تهویه مناسب محیط.

این نوع ریختگی معمولاً خطر آئروسل کم دارد اما نیازمند پاک‌سازی فوری است.

---

۲. ریختن مواد بیولوژیک خطرناک(BSL-2/3)

این موارد شامل خون، سرم، مایعات کلینیکی، محیط کشت پاتوژن‌ها، سوسپانسیون باکتری‌های بیماری‌زا و هر گونه عامل بیولوژیک منتقل‌شونده از راه آئروسل است. مدیریت این حوادث باید **با احتیاط بسیار بالا** انجام شود.

اقدامات:

۱) **ترک فوری محل** و بستن درب اتاق.

۲) **اجازه ته‌نشینی آئروسل‌ها برای حداقل ۳۰ دقیقه** (استاندارد CDC)

۳) پوشیدن PPE کامل:

a. گان، دستکش دولایه، ماسک N95 یاPAPR ، محافظ چشم/شیلد.

۴) پاشیدن دستمال‌های جذب‌کننده روی محل ریختگی بدون ایجاد پاشش.

۵) افزودن محلول ضدعفونی‌کننده قدرتمند (هیپوکلریت ۱۰٪ یا فنول ۵٪) روی دستمال‌ها.

۶) **زمان تماس حداقل ۲۰ دقیقه** برای نابودی میکروارگانیسم‌ها.

۷) جمع‌آوری پسماندها با ابزار مکانیکی(Forceps).

۸) قرار دادن زباله‌ها در ظرف بیولوژیک و اتوکلاوکردن قبل از دفع نهایی.

۹) ضدعفونی نهایی سطح و تهویه کامل اتاق.

۱۰) ثبت حادثه و گزارش به مسئول ایمنی زیستی.

۳. ریختن محیط‌های کشت و سوسپانسیون باکتریایی

این نوع ریختگی بخشی رایج از کار روزانه آزمایشگاه است و بسته به نوع باکتری BSL-1 یا ۲ می‌تواند خطر متفاوتی ایجاد کند.

اقدامات:

۱) ارزیابی خطر براساس سطح پاتوژن.

۲) جلوگیری از ایجاد باد، تهویه شدید یا حرکت سریع که آئروسل را افزایش می‌دهد.

۳) استفاده از دستمال‌های جاذب برای محدودکردن انتشار مایع.

۴) اضافه‌کردن ضدعفونی‌کننده مناسب:

a. BSL-1: الکل ۷۰٪ یا هیپوکلریت ۰.۵%

b. BSL-2: هیپوکلریت ۱۰٪، گلوتارآلدئید یا فنول

۵) تماس محلول با سطح به مدت کافی (۱۰–۲۰ دقیقه).

۶) جمع‌آوری و اتوکلاوکردن پسماندها.

۷) پاک‌سازی نهایی و ضدعفونی سطح میز یا کف.

۴. نحوه قرنطینه‌کردن محل حادثه

قرنطینه‌سازی درست، مهم‌ترین بخش در کنترل انتشار آلودگی است و باید بلافاصله آغاز شود.

اصول قرنطینه:

- خروج فوری افراد غیر مرتبط از اتاق
- بستن درب و قرار دادن **تابلو"Do Not Enter – Spill in Progress"**
- خاموش کردن جریان هوا یا فن‌های ایجادکننده حرکت ذرات
- عدم ورود به اتاق تا زمان ته‌نشینی آئروسل‌ها (حداقل ۳۰ دقیقه)
- ورود فقط افراد آموزش‌دیده با PPE کامل
- جلوگیری از جابه‌جایی تجهیزات تا پاک‌سازی کامل
- ثبت زمان وقوع حادثه برای محاسبه زمان تماس ضدعفونی‌کننده

۵. استفاده از کیت پاک‌سازی (Spill Kit)

کیت پاک‌سازی، ابزاری ضروری برای مدیریت ایمن ریخت‌وپاش مواد بیولوژیک است و باید در تمام آزمایشگاه‌ها قابل‌دسترسی باشد.

اجزای اصلی (Spill Kit)

- دستمال‌ها و پدهای جاذب
- محلول‌های ضدعفونی‌کننده قوی
- اسکوپ و خاک‌انداز یاForceps
- دستکش‌های مقاوم
- گان و شیلد صورت
- کیسه زباله بیولوژیک(Biohazard)
- حوله‌های جاذب
- برچسب "Hazard" یا"Spill Area"

روش استفاده:

۱. بازکردن کیت و پوشیدن PPE کامل
۲. قرار دادن پدهای جاذب روی محل حادثه
۳. اعمال ماده ضدعفونی‌کننده روی پدها
٤. صبر برای زمان تماس
٥. جمع‌آوری مواد آلوده با ابزار مکانیکی
٦. بسته‌بندی پسماند بیولوژیک
۷. ضدعفونی نهایی سطح
۸. ثبت حادثه و اعلام به مسئول ایمنی

۸–۳. مواجهه با ریختن مواد شیمیایی خطرناک

ریخت‌وپاش مواد شیمیایی در آزمایشگاه می‌تواند منجر به سوختگی‌های شدید، مسمومیت، آسیب تنفسی، آتش‌سوزی و تخریب تجهیزات شود. نوع برخورد با حادثه باید براساس ماهیت شیمیایی ماده، مقدار ریختگی، محل انتشار و میزان تهدید برای کارکنان انجام شود. مواد شیمیایی خطرناک در این بخش شامل **اسیدهای قوی، بازهای قوی، حلال‌های آتش‌گیر و ترکیبات خورنده یا سمی** هستند و هرکدام پروتکل واکنش خاص خود را دارند.

۱. اسیدها و بازهای قوی (Strong Acids & Bases)

این مواد به‌دلیل خاصیت خورندگی شدید، می‌توانند باعث آسیب پوستی، سوختگی شیمیایی، آسیب چشمی و بخارات تحریک‌کننده شوند.

اقدامات اضطراری:

۱. هشدار سریع و دورکردن افراد غیرمسئول.

۲. پوشیدن PPE کامل: دستکش نئوپرن یا نیتریل ضخیم، گان، محافظ چشم و شیلد.

۳. خاموش‌کردن فن‌ها یا منبع ایجاد جریان هوا برای جلوگیری از انتشار بخارات تحریک‌کننده.

٤. پاشیدن **مواد جاذب خنثی‌کننده** مناسب:

- برای اسیدها: کربنات سدیم، بی‌کربنات سدیم، خاک خنثی‌کننده اسید
- برای بازها: اسید سیتریک پودری یا بوریک اسید

٥. اجازه دادن به واکنش خنثی‌سازی (حداقل ۱۰ دقیقه).

٦. جمع‌آوری مواد خنثی‌شده با اسپاتول و قرار دادن در ظرف شیمیایی مناسب.

٧. شست‌وشوی نهایی سطح با آب و مواد شوینده.

۲. حلال‌های آتش‌گیر (Flammable Solvents)

شامل اتانول، متانول، استون، اترها، زیلن و سایر ترکیبات با نقطه اشتعال پایین هستند. این مواد علاوه بر خطرات شیمیایی، خطر آتش‌سوزی فوری دارند.

اقدامات اضطراری:

١. **قطع تمامی منابع جرقه یا شعله** (بونزن، تجهیزات الکتریکی).

٢. تهویه ملایم ولی کنترل‌شده (بازکردن درب هود، بدون ایجاد جریان شدید).

٣. استفاده از **مواد جاذب غیر واکنش‌پذیر** مانند ورمی‌کولیت، پودر خشک (dry sand) یا پدهای شیمیایی مخصوص.

٤. جلوگیری از پاشش یا انتشار مایع با محصور کردن سریع محل ریختگی.

٥. جمع‌آوری پسماند در ظروف مقاوم به حلال و دارای درب محکم.

٦. عدم استفاده از هیپوکلریت سدیم یا مواد اکسیدکننده همراه حلال‌ها (خطر انفجار).

در صورت خطر آتش:

- استفاده از خاموش‌کننده CO_2 یا پودر خشک
- تخلیه سریع کارکنان

۳. مواد خورنده و سمی (Corrosive & Toxic Chemicals)

این دسته شامل فرمالین، کلروفرم، فنل، اکسیدکننده‌ها و مواد با بخارات خطرناک است.

اقدامات اضطراری:

۱. خروج فوری افراد از اتاق و بستن درب.

۲. استفاده از ماسک تنفسی مناسب (N95 یا کارتریج مخصوص مواد شیمیایی).

۳. تهویه اتاق از طریق هودهای شیمیایی؛ **هرگز از فن‌های دستی یا جریان شدید هوا استفاده نشود.**

٤. قرار دادن پدهای جاذب روی محل ریختگی و افزودن آرام ماده خنثی‌کننده یا جاذب.

٥. جمع‌آوری کامل پسماند و تحویل به واحد پسماندهای شیمیایی خطرناک.

٦. پاک‌سازی نهایی با ماده شوینده ملایم و آب فراوان.

مواد سمی فرار مانند کلروفرم نیازمند تهویه فوری اما کنترل‌شده هستند تا از انتشار در سایر بخش‌ها جلوگیری شود.

۴. نحوه تهویه و تخلیه اضطراری

تهویه صحیح هنگام ریختن مواد شیمیایی خطرناک نقش حیاتی در کاهش بخارات و جلوگیری از مسمومیت دارد.

اصول تهویه و تخلیه:

- برای **مواد فرار و سمی:**
  - بازکردن آرام هود شیمیایی یا سیستم تهویه مرکزی
  - ممنوعیت استفاده از پنکه‌های پرسرعت (افزایش انتشار بخار)

- برای **اسیدها و بازهای متمرکز:**
  - کاهش جریان هوا برای جلوگیری از تحریک تنفسی
  - باز ماندن درب اتاق و استفاده از تهویه ملایم محیطی
- برای **حوادث بزرگ:**
  - تخلیه کامل آزمایشگاه
  - تماس با واحد ایمنی یا آتش‌نشانی داخلی
  - علامت‌گذاری محیط و بستن مسیر ورود

۵. استفاده از کیت خنثی‌سازی (Chemical Spill Kit)

کیت خنثی‌سازی وسیله‌ای ضروری برای مدیریت ایمن ریخت‌وپاش مواد شیمیایی است. محتویات آن بسته به نوع مواد خطرناک متفاوت است.

اجزای کیت خنثی‌سازی:

- مواد جاذب (پودر جاذب، ورمی‌کولیت)
- پودرهای خنثی‌کننده اسید و باز
- دستکش‌های مقاوم شیمیایی
- ماسک و شیلد
- اسکوپ، کاردک یا برس
- کیسه و ظروف جمع‌آوری شیمیایی

- برچسب هشدار«Chemical Spill»

روش استفاده:

۱. پوشیدن PPE کامل
۲. محصور کردن مایع با جاذب
۳. افزودن خنثی‌کننده ویژه (بسته به اسید یا باز)
٤. صبر برای واکنش کامل
٥. جمع‌آوری مواد آلوده با ابزار مکانیکی
٦. انتقال پسماند به ظروف شیمیایی خطرناک
۷. پاک‌سازی ثانویه سطح
۸. تهویه اتاق تا رفع کامل بوی مواد

۸–۴. برخورد پوست، چشم و غشاهای مخاطی با مواد خطرناک

تماس تصادفی مواد بیولوژیک یا شیمیایی با پوست، چشم و غشاهای مخاطی یکی از شایع‌ترین و خطرناک‌ترین حوادث آزمایشگاهی است. این نوع تماس می‌تواند منجر به انتقال عوامل عفونی، سوختگی شیمیایی، آسیب چشمی، التهاب تنفسی و در موارد شدید تهدید سلامت فرد شود. اقدامات صحیح، فوری و مرحله‌ای نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش شدت آسیب دارند.

۱. تماس با مواد بیولوژیک (Biological Exposure)

مواد بیولوژیک شامل خون، سرم، مایعات کلینیکی، سوسپانسیون‌های باکتریایی، محیط‌های کشت و سایر عوامل زیستی است.

اقدامات فوری:

۱. **توقف کار و دور شدن از محل حادثه.**

۲. شست‌وشوی سریع و آرام محل تماس با **آب جاری و صابون ملایم** به مدت ۱۵ دقیقه.

۳. از **مالش شدید، خراشیدن یا فشار دادن** محل تماس خودداری کنید (خطر گسترش آلودگی).

٤. برداشتن گان، دستکش و هرگونه لباس آلوده.

٥. ضدعفونی سطحی با الکل ۷۰٪ تنها بعد از شست‌وشوی اولیه (برای پوستی که زخم ندارد).

در صورت تماس با زخم یا پوست آسیب‌دیده:

- شست‌وشو با حجم زیاد آب
- عدم استفاده از مواد تحریک‌کننده
- ارجاع سریع جهت بررسی ریسک انتقال HIV، HCV، HBV (مشابه پروتکل نیدل‌استیک)

۲. تماس با مواد شیمیایی (Chemical Exposure)

این مواد شامل اسیدها، بازها، حلال‌های خورنده، ترکیبات سمی و مواد فرار هستند.

اقدامات فوری:

۱. **دور شدن سریع از ماده شیمیایی و محل حادثه.**

۲. شست‌وشوی ناحیه با **آب فراوان** به مدت حداقل ۱۵–۲۰ دقیقه.

۳. خارج‌کردن لباس‌های آلوده در حین شست‌وشو.

٤. عدم استفاده از مواد خنثی‌کننده روی پوست (به‌جز موارد خاص مانند اسید HF).

۵. در صورت احساس سوزش، درد یا قرمزی شدید ← مراجعه فوری به پزشک.

تماس با مواد شیمیایی فرار (کلروفرم، فرمالین، فنل):

- انتقال فرد به هوای آزاد
- شست‌وشو با آب سرد
- ارزیابی علائم تنفسی

۳. نحوه استفاده از دوش ایمنی (Emergency Shower)

دوش ایمنی برای شست‌وشوی سریع بدن در موارد تماس گسترده با مواد شیمیایی یا بیولوژیک استفاده می‌شود.

مراحل استفاده:

۱. **رسیدن به دوش ایمنی در کمتر از ۱۰ ثانیه** (محل آن باید همیشه مشخص و آزاد باشد).

۲. کشیدن اهرم یا زنجیر برای روشن‌کردن جریان آب.

۳. ایستادن مستقیم زیر دوش و شست‌وشوی کل بدن **به مدت حداقل ۱۵ دقیقه.**

٤. برداشتن تمام لباس‌های آلوده در حین شست‌وشو.

۵. عدم قطع آب تا زمانی که پزشک یا مسئول ایمنی اجازه دهد.

٦. درخواست کمک برای جلوگیری از لغزش یا شوک.

۷. پس از شست‌وشو: پوشیدن لباس تمیز و ارجاع به مرکز درمان مناسب.

تصویر ۱۳: دوش ایمنی

۴. نحوه استفاده از شست‌وشوی چشم (Eye-wash Station)

چشم بسیار حساس است و کوچک‌ترین تماس با مواد خطرناک می‌تواند باعث التهاب، سوختگی و کاهش بینایی شود. شست‌وشوی فوری بهترین اقدام درمانی است.

مراحل استفاده:

۱. رساندن فرد به Eye-wash در کوتاه‌ترین زمان (کمتر از ۱۰ ثانیه).

۲. فشار دادن پدال یا اهرم دستگاه برای فعال کردن آب.

۳. باز نگه‌داشتن پلک‌ها با انگشتان و قرار دادن چشم‌ها در مسیر جریان آب.

٤. چرخاندن چشم‌ها در همه جهات برای شست‌وشوی کامل سطح قرنیه و ملتحمه.

٥. شست‌وشوی چشم **حداقل ۱۵ دقیقه** با آب ولرم.

٦. برداشتن لنزهای تماسی اگر وجود دارند (پس از شروع شست‌وشو).

۷. مراجعه فوری به پزشک یا چشم‌پزشک.

نکات مهم:

- هرگز از مواد خنثی‌کننده یا قطره‌های خاص بدون تجویز استفاده نشود.
- در صورت تماس با اسید یا بازهای قوی، زمان شست‌وشو باید **۲۰–۳۰ دقیقه** افزایش یابد.
- پس از سانحه، چشم باید پانسمان نشود (جلوگیری از گرم‌شدن و آسیب بیشتر).

تصویر ۱۴: چشم شوی اضطراری

۸–۵. مواجهه با بریدگی‌ها، زخم‌ها و آسیب‌های مکانیکی

آسیب‌های مکانیکی، به‌ویژه بریدگی‌ها و جراحات ناشی از شیشه‌آلات و ابزار تیز، از شایع‌ترین حوادث در محیط آزمایشگاهی هستند. این آسیب‌ها علاوه‌بر خطر خونریزی و صدمات بافتی، ممکن است موجب انتقال عوامل عفونی یا ورود مواد شیمیایی به داخل زخم شوند. بنابراین برخورد صحیح و سریع با این حوادث برای پیشگیری از عفونت، کاهش آسیب و حفظ ایمنی زیستی ضروری است.

۱. برخورد با شیشه شکسته

شیشه شکسته یکی از منابع مهم بریدگی و آلودگی ثانویه در آزمایشگاه است. تماس مستقیم با تکه‌های شیشه آلوده می‌تواند خطر انتقال پاتوژن‌ها و وارد شدن مواد شیمیایی را افزایش دهد.

اصول ایمنی در مواجهه با شیشه شکسته:

۱. **عدم لمس شیشه شکسته با دست** حتی در صورت استفاده از دستکش (خطر پارگی دستکش و بریدگی).
۲. استفاده از **انبر، فورسپس، برس و خاک‌انداز** برای جمع‌آوری قطعات شیشه.
۳. ریختن تکه‌های شیشه در ظروف مقاوم مخصوص زباله شیشه‌ای یا Sharps Box (نه در کیسه زباله معمولی).
٤. بررسی سطح برای یافتن قطعات ریز نامرئی و پاک‌سازی محل با یک دستمال مرطوب.
٥. در صورت وجود آلودگی بیولوژیک یا شیمیایی، ابتدا **ضدعفونی سطح** و سپس جمع‌آوری شیشه انجام شود.

۲. اقدامات فوری در بریدگی‌های آزمایشگاهی

در صورت وقوع بریدگی، اقدامات سریع و صحیح می‌تواند از عفونت، انتقال عوامل بیماری‌زا یا آسیب عمیق جلوگیری کند.

گام‌های استاندارد:

۱. **توقف کار و دور شدن از محل حادثه.**
۲. **شست‌وشوی اولیه زخم با آب جاری و صابون** برای حداقل ۶۰ ثانیه.

۳. در صورت خونریزی، اجازه دهید خونریزی خفیف **چند ثانیه ادامه یابد** تا آلودگی سطحی خارج شود.

٤. خشک‌کردن ناحیه با گاز استریل.

٥. استفاده از **آنتی‌سپتیک مناسب** (بتادین یا کلرهگزیدین ۰.۵٪).

٦. پانسمان زخم با **گاز استریل و باند**.

۷. در صورت بریدگی عمیق، مراجعه فوری به مرکز درمانی برای:

- بررسی نیاز به بخیه
- بررسی واکسن کزاز
- ارزیابی خطر آلودگی بیولوژیک (مشابه پروتکل NSI)

در صورت تماس زخم با مواد شیمیایی:

- شست‌وشوی طولانی (۱۵–۲۰ دقیقه)
- عدم استفاده از الکل (افزایش جذب پوستی)
- ارزیابی پزشکی فوری

۳. خطر آلودگی زخم و نحوه پوشش‌دهی

زخم‌های باز در آزمایشگاه یک **مسیر مستقیم ورود پاتوژن‌ها و مواد خطرناک** به بدن هستند؛ بنابراین نحوه پوشش‌دهی و محافظت صحیح آن‌ها بسیار اهمیت دارد.

خطرات اصلی آلودگی زخم:

- ورود باکتری‌ها و ویروس‌های موجود در محیط کشت

- نفوذ مواد شیمیایی خورنده یا تحریک‌کننده
- انتقال عوامل عفونی خون‌منتقل‌شونده
- افزایش خطر عفونت موضعی یا سیستمیک

اصول پوشش‌دهی ایمن زخم:

۱. استفاده از **پانسمان استریل، ضدآب و مقاوم به نفوذ مایعات.**

۲. اطمینان از چسبیدن کامل لایه پوشاننده به پوست برای جلوگیری از تماس محلول‌های آزمایشگاهی.

۳. تعویض پانسمان در صورت خیس شدن، آلودگی یا کنده‌شدن.

٤. در صورت انجام کار با عوامل خطرناک(BSL-2/3) ، استفاده از **دستکش دولایه** در مدت کار.

٥. گزارش زخم به مسئول ایمنی در صورت تماس با ماده عفونی برای پیگیری احتمالیHBV ، HCV، HIV.

۸–۶. مواجهه با آتش‌سوزی و انفجار کوچک آزمایشگاهی

آتش‌سوزی یکی از خطرناک‌ترین حوادث آزمایشگاهی است و معمولاً در اثر استفاده نادرست از شعله باز، حلال‌های آتش‌گیر، اتصالات برق معیوب یا واکنش‌های شیمیایی کنترل‌نشده رخ می‌دهد. واکنش سریع، صحیح و آگاهانه نقش کلیدی در جلوگیری از گسترش حادثه و حفظ ایمنی کارکنان دارد.

۱. کار با بونزن و شعله باز (Open Flame Hazards)

بونزن و سایر منابع شعله باز از رایج‌ترین تجهیزات در آزمایشگاه‌های میکروبی هستند، اما در صورت عدم رعایت اصول ایمنی می‌توانند باعث آتش‌سوزی یا انفجار شوند.

اصول ایمنی هنگام کار با شعله باز:

۱. **دور نگه‌داشتن حلال‌های آتش‌گیر** مانند اتانول، ایزوپروپانول و استون از شعله.

۲. بررسی اتصالات شلنگ گاز و جلوگیری از نشتی.

۳. بستن گاز در پایان کار یا هنگام ترک میز آزمایش.

٤. عدم روشن‌کردن بونزن در هود لامینار (اختلال در جریان هوا و خطر آتش).

٥. ثابت‌کردن مو، آستین‌ها و لباس‌های گشاد.

٦. استفاده از فندک ایمن با فاصله مناسب (نه کبریت دستی).

در صورت شعله‌ور شدن لباس یا مو، فرد باید **STOP – DROP – ROLL** (ایستادن، خوابیدن روی زمین و غلتیدن) را فوراً اجرا کند.

۲. آتش‌سوزی ناشی از الکل

الکل یکی از شایع‌ترین مواد ایجادکننده حریق در آزمایشگاه است به دلیل:

- قابلیت اشتعال بسیار بالا
- بخارات فرّار و قابل اشتعال
- شعله کم‌دید (به‌ویژه در اتانول ۷۰٪)

اقدامات در آتش‌سوزی الکل:

۱. قطع تمامی شعله‌ها و منابع جرقه.

۲. عدم استفاده از آب برای خاموش کردن آتش الکل (گسترش شعله).

۳. استفاده از **خاموش‌کننده CO_2** یا **پودر خشک** بهترین گزینه است.

٤. خارج کردن ظروف الکل از نزدیکی شعله (در صورت ایمن بودن).

٥. تهویه محیط پس از خاموشی حریق برای کاهش بخارات باقی‌مانده.

نکته:

شعله الکل ممکن است نامرئی باشد؛ همیشه به بوی سوختگی یا گرمای غیرطبیعی حساس باشید.

3.نحوه استفاده از خاموش‌کننده‌ها(Fire Extinguishers)

خاموش‌کننده‌ها باید براساس نوع آتش انتخاب شوند (جدول ۴).

جدول۴: انواع آتش و خاموش کننده مناسب

نوع آتش	خاموش‌کننده مناسب	مثال
Class A	آب، پودر خشک	**کاغذ، چوب**
Class B	CO_2، پودر خشک	**الکل، استون، چربی‌ها**
Class C	CO_2، پودر خشک	**تجهیزات برقی**

نکات حیاتی:

- در برابر دود یا شعله نایستید؛ همیشه از سمت باد عمل کنید.
- اگر شعله در ۱۰ ثانیه مهار نشد ← **محیط را ترک کنید.**
- هرگز حریق مواد شیمیایی را با آب خاموش نکنید مگر اینکه کاملاً مطمئن باشید.

۴. تخلیه اضطراری آزمایشگاه (Emergency Evacuation)

در آتش‌سوزی‌هایی که گسترش سریع دارند یا قادر به مهار آن‌ها نیستید، تخلیه فوری ضروری است.

اقدامات استاندارد:

۱. اعلام آتش سوزی یا فعال‌کردن سیستم هشدار آتش.
۲. تخلیه سریع بدون دویدن، با آرامش و از نزدیک‌ترین خروجی.
۳. بستن درب آزمایشگاه هنگام خروج برای جلوگیری از گسترش دود و شعله.
٤. عدم استفاده از آسانسور.
٥. رفتن به نقطه تجمع امن (Assembly Point).
٦. شمارش افراد و گزارش هر فرد جا مانده به تیم ایمنی.
۷. ورود مجدد تنها پس از تأیید واحد آتش‌نشانی یا مسئول ایمنی.

در صورت گیر افتادن در اتاق:

- درب را ببندید و زیر درب را با حوله یا پارچه خیس مسدود کنید.
- از پنجره درخواست کمک کنید یا با تلفن داخلی تماس بگیرید.
- نزدیک سطح زمین حرکت کنید تا از دود دور بمانید.

۸–۷. نشت گازها یا بخارات سمی

نشت گازهای آزمایشگاهی یا انتشار بخارات سمی یکی از خطرناک‌ترین شرایط اضطراری در محیط آزمایشگاه است و می‌تواند منجر به مسمومیت حاد، آسیب تنفسی، بیهوشی، سوختگی شیمیایی، سردرد، تهوع و در موارد

شدید تهدید حیات شود. شدت خطر بسته به نوع ماده، میزان تهویه، مقدار نشت و مدت مواجهه متفاوت است. مدیریت صحیح و سریع این حوادث، نقش حیاتی در حفظ سلامت کارکنان و جلوگیری از انتشار بیشتر آلودگی دارد.

۱. قطع منبع (Source Control)

اولین و مهم‌ترین اقدام، **جلوگیری از ادامه نشت** است.

اقدامات استاندارد:

۱. در صورت ایمن بودن، **بستن شیر گاز** یا قطع منبع از راه دور.
۲. خاموش‌کردن تجهیزات مرتبط با گاز (اجاق آزمایشگاهی، سیستم‌های حرارتی).
۳. عدم روشن‌کردن یا خاموش‌کردن کلیدهای برق نزدیک محل نشت (خطر جرقه).
٤. دور کردن ظروف شکسته یا نشتی حلال‌ها بدون تماس مستقیم.
٥. در صورت نشت زیاد یا ماده بسیار خطرناک ← **خروج فوری** از محیط و تماس با واحد ایمنی یا آتش‌نشانی داخلی.

۲. تهویه فوری (Emergency Ventilation)

تهویه مناسب، سرعت رقیق‌سازی بخارات سمی را افزایش می‌دهد و خطر سمیت تنفسی را کاهش می‌دهد.

اصول تهویه صحیح:

- بازکردن درب و پنجره برای **تهویه طبیعی** (اگر ایمن باشد).

- فعال‌کردن **هود شیمیایی یا سیستم تهویه مرکزی** برای خارج‌کردن بخارات.
- عدم استفاده از پنکه‌های رومیزی یا تهویه با جریان شدید (انتشار بیشتر بخار در اتاق).
- خروج کامل بخارات قبل از ورود مجدد به اتاق.

در مورد گازها یا مواد قابل‌انفجار، تهویه باید **ملایم** باشد تا از ایجاد جرقه جلوگیری شود.

۳. خروج افراد از محیط (Evacuation)

اگر غلظت بخارات ناشی از نشت زیاد باشد یا به‌سرعت پخش شود، تخلیه فوری ضروری است.

مراحل خروج ایمن:

۱. ترک اتاق بدون تأخیر و بدون دویدن.
۲. بستن درب اتاق برای جلوگیری از انتشار بخار به سایر بخش‌ها.
۳. هدایت کارکنان به **منطقه امن یا نقطه تجمع**.
٤. گزارش حادثه به مسئول ایمنی زیستی یا تیم حوادث شیمیایی.
٥. عدم ورود مجدد تا زمان اعلام ایمنی توسط تیم متخصص.

۴. اقدامات در مواجهه با بخارات ناشی از کلروفرم، فرمالین و اتیل‌اتانول

این سه ماده از رایج‌ترین ترکیبات شیمیایی خطرناک در آزمایشگاه‌های میکروبی و بیولوژیک هستند و هر یک خطرات مشخص و متفاوتی دارند.

الف) کلروفرم (Chloroform Vapors)

خطرات:

- سمی و بیهوش‌کننده
- اثرات کبدی و کلیوی
- بخارات سنگین و تجمع در کف اتاق

اقدامات:

۱. خروج فوری فرد مواجهه‌یافته به فضای باز.

۲. تهویه ملایم تا تخلیه کامل بخارات.

۳. پاک‌سازی نشت با دستمال جاذب و قرار دادن در ظرف شیمیایی درب‌دار.

٤. عدم تماس پوستی یا تنفسی مستقیم.

٥. مراجعه فرد مواجهه‌یافته به پزشک در صورت بروز سردرد، تهوع، گیجی.

ب) فرمالین (Formaldehyde/Formalin Vapors)

خطرات:

- سرطان‌زا (Carcinogen – گروه ۱ IARC)
- شدیداً تحریک‌کننده چشم، پوست و مجاری تنفسی
- ایجاد سوختگی شیمیایی

اقدامات:

۱. خروج فوری افراد از محیط و بستن درب.

۲. تهویه کامل توسط هود شیمیایی.

۳. پوشیدن ماسک فیلتر دار (کارتریج فرمالدهید) پیش از پاک‌سازی.

٤. خنثی‌سازی با محلول آمونیاک ۱۰٪ در صورت امکان.

٥. پرهیز از استفاده از الکل‌ها یا اکسیدکننده‌ها (افزایش واکنش).

پ) اتیل‌اتانول (Ethanol Vapors)

خطرات:

- آتش‌گیر بسیار بالا
- قابل انفجار در غلظت‌های مشخص
- تحریک‌کننده تنفسی

اقدامات:

۱. قطع فوری شعله و منابع جرقه (بونزن، برق معیوب).

۲. تهویه سریع اما کنترل‌شده.

۳. استفاده از جاذب‌های غیرقابل اشتعال (ورمی‌کولیت، پودر خشک).

٤. جمع‌آوری با ظروف مقاوم به حلال.

٥. عدم استفاده از آب برای پخش‌کردن نشت.

۸–۸. قطع برق، خرابی تجهیزات و خطرات ناشی از آن‌ها

قطع ناگهانی برق و خرابی تجهیزات آزمایشگاهی از جمله حوادثی هستند که می‌توانند فعالیت‌های میکروبیولوژیک را مختل کرده و خطرات جدی برای نمونه‌ها، کارکنان و محیط آزمایش ایجاد کنند. بسیاری از تجهیزات، از جمله هودهای لامینار، سانتریفیوژها، یخچال‌ها و انکوباتورها، وابسته به تأمین پایدار انرژی هستند و اختلال عملکرد آن‌ها می‌تواند باعث تولید آئروسل، آلودگی متقاطع یا تخریب نمونه‌های حساس شود. مدیریت صحیح این حوادث نیازمند اقدامات فوری و سازمان‌یافته است.

۱. قطع برق در هود لامینار (Laminar Flow Hood Power Failure)

هود لامینار (BSC) یکی از تجهیزات اصلی در حفظ شرایط آسپتیک و جلوگیری از انتشار آئروسل است. قطع برق موجب توقف جریان هوای HEPA و از بین رفتن فوری حفاظت کاربر و نمونه می‌شود.

اقدامات ضروری:

۱. **توقف فوری کار** و بستن درب جلو در هودهای کلاس II.
۲. جلوگیری از هرگونه حرکت سریع یا دستکاری نمونه‌ها (خطر ایجاد آئروسل).
۳. پوشاندن موقت ظروف باز با درپوش یا فویل استریل.
٤. خارج‌نکردن مواد آلوده از هود تا زمان برقراری جریان پایدار هوا (۱۰–۱۵ دقیقه پس از وصل برق).
٥. در صورت طولانی‌شدن قطع برق، انتقال نمونه‌ها به محیط ایمن با حداقل احتمال انتشار (درپوش‌گذاری و بسته‌بندی صحیح).
٦. پس از بازگشت برق:
   - روشن‌کردن هود

- **اجازه کارکرد فن حداقل ۱۰–۱۵ دقیقه جهت بازیابی جریان لامینار**
- ضدعفونی کامل سطح کار با الکل ۷۰٪

قطع برق در BSC می‌تواند سطح ایمنی زیستی را مختل کند؛ بنابراین واکنش سریع و آرام ضروری است.

۲. توقف ناگهانی سانتریفیوژ (Sudden Centrifuge Failure)

توقف ناگهانی ممکن است به‌دلیل قطع برق، شکستگی روتور، عدم تعادل یا مشکلات فنی دستگاه رخ دهد. این وضعیت از خطرناک‌ترین حوادث برای کارکنان است، زیرا می‌تواند موجب **نشت نمونه، شکستگی لوله‌ها و تولید آئروسل‌های آلوده** شود.

اقدامات ضروری:

۱. **عدم بازکردن درب سانتریفیوژ** بلافاصله پس از توقف.

۲. اجازه ته‌نشینی آئروسل احتمالی برای **حداقل ۳۰ دقیقه**.

۳. پس از بازکردن درب، بررسی محتویات با احتیاط کامل و ارزیابی احتمال شکستگی.

٤. در صورت شکستن لوله:

- پوشیدن PPE کامل
- استفاده از ماده ضدعفونی‌کننده قوی (هیپوکلریت ۱۰٪)
- ضدعفونی Basket و روتور

٥. ارسال دستگاه به واحد تعمیرات بدون جابه‌جایی مواد آلوده داخل آن.

توقف ناگهانی سانتریفیوژ، خطر بالقوه‌ای برای انتشار آئروسل ایجاد می‌کند و باید بسیار جدی مدیریت شود.

۳. خرابی یخچال‌ها یا انکوباتورها (Refrigerator/Incubator Failure)

یخچال‌ها و انکوباتورها برای حفظ پایداری شرایط نمونه‌های میکروبی، سلولی و مواد حساس ضروری‌اند. خرابی این تجهیزات می‌تواند به «تخریب نمونه‌ها»، «از دست رفتن کیفیت آزمایش» یا «تغییر شرایط کشت» منجر شود.

در صورت خرابی یخچال:

۱. **بستن درب و جلوگیری از باز و بسته شدن غیرضروری**
۲. تخمین مدت نگهداری بر اساس دمای محیط و حساسیت نمونه:
   - مواد آنزیمی، PCR و RNA ⬅ انتقال فوری به فریزر ۲۰- یا ۸۰-
   - باکتری‌های زنده ⬅ انتقال به یخچال جایگزین
۳. ثبت ساعت خرابی و اطلاع به مسئول آزمایشگاه
٤. انتقال نمونه‌های حساس با **یخ خشک** یا **Ice Box**

در صورت خرابی انکوباتور:

۱. بستن درب برای حفظ دما وCO_2
۲. ارزیابی حساسیت رده سلولی یا گونه باکتریایی به نوسانات دما
۳. انتقال کشت‌های حساس به انکوباتور جایگزین
٤. ثبت تغییرات جهت گزارش در نتایج

۴. مدیریت ایمن نمونه‌های حساس

در حوادث مربوط به قطع برق یا خرابی تجهیزات، نمونه‌ها به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

الف) نمونه‌های باکتریایی

- انتقال به محیط‌های نگهدارنده(Stock Cultures)
- کاهش دما برای جلوگیری از رشد بیش‌ازحد
- در صورت آلودگی محیط، اتوکلاوکردن نمونه

ب) نمونه‌های سلولی

- انتقال سریع به یخچال ۴ °C در زمان قطعCO_2
- جلوگیری از شوک حرارتی یا pH Drop
- استفاده از انکوباتور پشتیبان در اسرع وقت

پ) مواد مولکولی(DNA, RNA, Enzyme Mixes)

- انتقال فوری به فریزر ۲۰ °C- یا ۸۰-
- جلوگیری از دفعات باز و بسته شدن درب فریزر
- ثبت دما و زمان جابه‌جایی

فصل ۹: علائم ایمنی در آزمایشگاه

۹–۱. مقدمه

آزمایشگاه‌های میکروب شناسی به‌دلیل حضور مواد شیمیایی خطرناک، عوامل بیولوژیک، مواد رادیواکتیو، ابزار تیز، ظروف شیشه‌ای و حلال‌های قابل‌اشتعال، محیط‌هایی با پتانسیل خطر بالا محسوب می‌شوند. در چنین محیط‌هایی، صرف اتکا به آموزش شفاهی کافی نیست؛ بنابراین استفاده از **علائم و نمادهای استاندارد ایمنی** به‌عنوان یک زبان بصری یکسان و بین‌المللی، بخش جدایی‌ناپذیر نظام ایمنی محسوب می‌شود

۹–۲. استانداردها، رنگ‌ها و اشکال هندسی

طراحی و طبقه‌بندی علائم ایمنی مبتنی بر استانداردهای بین‌المللی است؛ از جمله:

- **ISO 7010:** استاندارد نمادها و پیکتوگرام‌های ایمنی.
- **ISO 3864:** استاندارد رنگ‌ها، تناسبات و شکل‌های هندسی علائم ایمنی.

در این چارچوب، هر رنگ و شکل هندسی حامل معنای مشخص است:

- **قرمز:** ممنوعیت، توقف، و تجهیزات اطفای حریق (مانند کپسول آتش‌نشانی).
- **زرد:** هشدار نسبت به خطر بالقوه (مواد سمی، خورنده، بیولوژیک، خطر برق‌گرفتگی، سطح داغ و...).
- **سبز:** وضعیت‌ها و مکان‌های ایمن (خروج اضطراری، دوش و چشم‌شوی ایمنی، کمک‌های اولیه، محل تجمع امن).
- **آبی:** دستورات و الزامات ایمنی (استفاده از دستکش، عینک محافظ، لباس و کفش ایمنی و...).

جدول ۵: شکل و رنگ علائم مختلف ایمنی در آزمایشگاه میکروب شناسی

شکل و رنگ علائم مختلف ایمنی در آزمایشگاه

شکل هندسی	کاربرد	مثال
	علائم بازدارنده و نشان‌دهنده‌ی ممنوعیت	• ممنوعیت خوردن و آشامیدن • ممنوعیت استفاده از اشیاء فلزی
	علائم دستوری	• الزام استفاده از کفش محافظ • الزام شستن دست‌ها
	خطر بالقوه (هشدار)	• خطر برق‌گرفتگی • خطر مواد اشتعال‌پذیر
	شرایط ایمن	• جایگاه جعبه‌ی کمک‌های اولیه • جمع‌شدن در مکان امن
	پیشگیری از خطرات آتش‌سوزی	• کپسول آتش‌نشانی

از نظر شکل هندسی:

- **دایره آبی** :الزام به انجام یک اقدام (علائم دستوری).
- **دایره قرمز با خط مورب** :ممنوعیت انجام یک اقدام (علائم بازدارنده).
- **مثلث زرد** :هشدار در مورد یک خطر مشخص (علائم هشدار).

- **مربع/مستطیل سبز یا قرمز** :اطلاعات مربوط به شرایط ایمن یا تجهیزات اطفای حریق و نجات.

این نظام رنگ–شکل، به استانداردسازی درک مخاطره و کاهش ابهام کمک می‌کند.

۹–۳. علائم دستوری (Mandatory Signs)

علائم دستوری، که به‌صورت **دایره آبی‌رنگ** نمایش داده می‌شوند، نشان‌دهنده اقداماتی هستند که رعایت آن‌ها **الزامی** است. نمونه‌های پرکاربرد در آزمایشگاه عبارت‌اند از:

- **استفاده از دستکش محافظ:**

  الزام استفاده از دستکش مناسب در کار با مواد شیمیایی، بیولوژیک و ابزار تیز. نوع دستکش باید متناسب با ماهیت خطر (مقاوم در برابر مواد شیمیایی، حرارت، سوراخ‌شدن و...) انتخاب شود.

- **استفاده از کفش و پوشش محافظ پا:**

  استفاده از کفش‌های جلو بسته و مقاوم در برابر نفوذ مواد شیمیایی، و در صورت نیاز، روکفشی‌های آزمایشگاهی برای کاهش خطر سوختگی و آسیب مکانیکی پاها.

- **استفاده از لباس محافظ (روپوش آزمایشگاهی):**

ضرورت استفاده از لباس‌های ضدحریق نسبی و مقاوم در برابر پاشش مواد، ترجیحاً از الیاف غیرقابل‌ذوب، به‌منظور کاهش آسیب‌های ناشی از مواد خورنده و حریق.

- **استفاده از محافظ چشم :**

حفاظت از چشم در برابر پاشش مواد شیمیایی، خرده‌های شیشه و تابش برخی پرتوها) مانند .(UV جنس و طراحی عینک باید با نوع خطر متناسب باشد.

- **استفاده از ماسک و تجهیزات تنفسی:**

الزام استفاده از ماسک نیم‌صورت یا تمام‌صورت، با یا بدون فیلتر، در مواجهه با بخارات شیمیایی، آئروسل‌های بیولوژیک یا گرد و غبار.

- **استفاده از شیلد صورت و کلاه ایمنی:**

در کارهایی با خطر انفجار، پاشش حجیم مواد یا فشار بالا، شیلد صورت یا کلاه ایمنی برای حفاظت از صورت و سر الزامی است.

- **شست‌وشوی دست‌ها:**

علامت شست‌وشوی دست، یادآور لزوم شست‌وشوی کامل دست پس از تماس با مواد خطرناک، پس از خارج کردن دستکش و پیش از ترک آزمایشگاه است.

۹–۴. علائم شرایط ایمن (Safe Condition Signs)

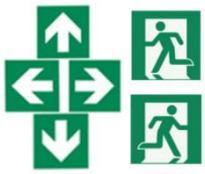
علائم شرایط ایمن معمولاً در قالب **مربع یا مستطیل سبز** طراحی می‌شوند و محل تجهیزات نجات و مسیرهای فرار را مشخص می‌کنند. مهم‌ترین نمونه‌ها شامل:

- محل **چشم‌شوی ایمنی(Eye Wash Station)**

- محل **دوش اضطراری(Emergency Shower)**

- محل **جعبه کمک‌های اولیه**؛

- **مسیرها و درهای خروج اضطراری**؛



- محل **تجمع ایمن(Assembly Point)** ؛

این علائم باید در موقعیت‌هایی نصب شوند که از فاصله مناسب قابل مشاهده باشند و در شرایط اضطراری، دسترسی در زمانی کوتاه (معمولاً کمتر از ۱۰ ثانیه) امکان‌پذیر باشد.

۹–۵. علائم بازدارنده (Prohibition Signs)

علائم بازدارنده با **دایره قرمز و خط مورب** مشخص می‌شوند و بیانگر اقداماتی هستند که انجام آن‌ها در محیط آزمایشگاه **ممنوع** است. نمونه‌های متداول عبارت‌اند از:

- **ممنوعیت خوردن و آشامیدن** در فضای آزمایشگاه

- **ممنوعیت سیگار کشیدن و ایجاد شعله باز**

این علائم به پیشگیری از رفتارهای پرخطر و کاهش خطر آلودگی، حریق و آسیب فیزیکی کمک می‌کنند.

۹–۶. علائم مرتبط با اطفای حریق (Fire Safety Signs)

علائم مرتبط با اطفای حریق عموماً به‌صورت **مربع یا مستطیل قرمز** و همراه با نماد شعله و ابزار مقابله با آتش طراحی می‌شوند. این علائم محل تجهیزات اطفا را مشخص می‌کنند، از جمله:

- **کپسول آتش‌نشانی؛**

- **پتوی اطفای حریق(Fire Blanket)**

- **شلنگ آتش‌نشانی**

این نمادها باید در موقعیت‌های واضح نصب شده و همراه با علائم راهنما باشند تا در شرایط حریق، تجهیزات اطفا بدون اتلاف زمان قابل دسترس باشند.

۹–۷. علائم هشدار و خطر (Warning Signs)

علائم هشدار با **مثلث زرد و نماد مشکی** نمایش داده می‌شوند و وجود یک خطر بالقوه را اعلام می‌کنند. برخی از مهم‌ترین این علائم در آزمایشگاه عبارت‌اند از:

- علامت **هشدار کلی** (علامت تعجب)

- خطر **مواد بیولوژیک** (Biohazard)

- خطر **مواد شیمیایی تحریک‌کننده یا مضر**

- خطر **مواد سمی**

- خطر **مواد شیمیایی خورنده**

- خطر **مواد سرطان‌زا**

- خطر **انفجار**

- خطر **برق‌گرفتگی (ولتاژ بالا)**

- خطر **سطح داغ** یا **دمای بسیار پایین**

- خطر **شیشه شکسته**

وجود این علائم، ضرورت استفاده از PPE مناسب، رعایت فاصله ایمن و پیروی از دستورالعمل‌های ویژه را به‌طور دائم یادآوری می‌کند.

۹–۸. علائم خطر تشعشع و میدان مغناطیسی

در آزمایشگاه‌هایی که از منابع تابشی یا میدآن‌های مغناطیسی قوی استفاده می‌شود، علائم هشدار ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرند، از جمله:

- **خطر تابش پرتو یونیزان (رادیواکتیو)**

- **خطر تابش پرتو غیریونیزان** (لیزر، مادون‌قرمز، فرکانس‌های رادیویی)

این علائم روی تجهیزات و در ورودی اتاق‌های مربوط نصب می‌شوند و لزوم کنترل دسترسی، استفاده از شیلدهای محافظ، عینک‌های تخصصی و محدودیت ورود افراد دارای ایمپلنت یا دستگاه‌های پزشکی را گوشزد می‌کنند.

۹–۹. علائم زیست‌محیطی و بازیافت

برخی نمادها بر جنبه‌های زیست‌محیطی و مدیریت پسماند تأکید دارند، مانند:

- علامت **خطرناک برای محیط زیست** :نشان‌دهنده موادی است که می‌توانند برای آبزیان، خاک و اکوسیستم‌ها مضر یا سمی باشند و نیازمند روش‌های دفع ویژه‌اند.

- علامت **بازیافت** :محل جمع‌آوری مواد قابل بازیافت (مانند بخشی از پلاستیک‌ها و بسته‌بندی‌های غیرآلوده به عوامل بیولوژیک یا رادیواکتیو) را مشخص می‌کند

این علائم استفاده از رویکردهای مسئولانه در مدیریت مواد و پسماندها را تقویت می‌نمایند.

۹–۱۰. لوزی خطر (NFPA Hazard Diamond) NFPA

«لوزی خطر» (NFPA Diamond) یک سیستم کدگذاری تصویری برای توصیف ویژگی‌های خطر مواد شیمیایی است که توسط **National Fire Protection Association (NFPA)** ارائه شده است. این لوزی از چهار قسمت رنگی تشکیل می‌شود:

- **قرمز (بالا)**: درجه اشتعال‌پذیری ماده
- **آبی (چپ)**: خطرات بهداشتی و سلامت
- **زرد (راست)**: میزان واکنش‌پذیری (Reactivity)

- **سفید (پایین)** :خطرات ویژه (مانند اکسیدکنندگی قوی، واکنش با آب و...).

در هر بخش عددی از **۰ تا ۴** درج می‌شود که شدت خطر را نشان می‌دهد:

- ۰: بدون خطر یا خطر ناچیز؛
- ۱: خطر خفیف؛
- ۲: خطر متوسط؛
- ۳: خطر جدی؛
- ۴: خطر بسیار شدید و بالقوه مرگبار.

خواندن صحیح لوزی NFPA به کاربر امکان می‌دهد که پیش از کار با یک ماده شیمیایی، به‌صورت فشرده و استاندارد، پروفایل خطر آن را ارزیابی کرده و تجهیزات حفاظت فردی و شرایط کار مناسب را انتخاب کند.

انواع علائم مهم:

منابع :

1. Azamat, Jafar. "The role and importance of observing safety principles in laboratory work." Research in Chemistry Education 5.4 (2024): 30-42.

2. Kutubudin, Ahmed Farrasyah Mohd, et al. "Development and validation of the needlestick injury prevention (N-SİP) module." *Cureus* 16.7 (2024).

3. Bykowski, Tomasz, Jonathan F. Holt, and Brian Stevenson. "Aseptic technique." Current Protocols Essential Laboratory Techniques 18.1 (2019): e31.

4. Diamond, Jared. "Biosafety levels (BSLS) and biological safety cabinets." Laboratory Safety for Chemistry Students (2016).

5. ISO. Graphical Symbols-Safety Colours and Safety Signs. Part 1: Design Principles for safety Signs in Workplaces and Public Areas, 2002.