

اتوکلاو – استریل کننده با بخار تحت فشار

اتوکلاو (Autoclave) یا استریل کننده با بخار تحت فشار، یکی از حیاتی ترین تجهیزات در هر آزمایشگاه پزشکی، میکروبیولوژی، دندانپزشکی و صنایع غذایی است. این دستگاه با استفاده از بخار آب داغ تحت فشار، میکروارگانیسمها از جمله مقاومترین هاگهای باکتریایی را از بین می برد.

۱. هدف و کاربرد (Purpose and Applications)

اتوکلاو با ایجاد بخار اشباع در دمای بالا (معمولاً ۱۲۱ تا ۱۳۴ درجه سانتی گراد) و فشار بالا، فرآیند استریلیزاسیون را انجام می دهد. برای اینکه استریلیزاسیون مؤثر باشد، بخار باید به تمام سطوح مواد داخل دستگاه نفوذ کند. کاربردهای اصلی در آزمایشگاه:

کاربرد	زمینه
استریل کردن ظروف شیشه ای، محیط های کشت، لوازم پلاستیکی مقاوم به حرارت	علوم آزمایشگاهی
غیرفعال سازی زباله های زیستی (بیوهزارد)، اتوکلاو کردن کیسه های زباله حاوی نمونه های آلوده	میکروبیولوژی
استریل کردن وسایل جراحی، ابزارهای دندانپزشکی، لوازم قابل استفاده مجدد	پزشکی و دندانپزشکی
استریل کردن لباس های آزمایشگاهی، وسایل کشت سلولی، زباله های بیمارستانی	علوم دامی و تحقیقاتی
استریل کردن محصولات کنسروی، محیط های کشت میکروبی	صنایع غذایی

مواردی که هرگز نباید در اتوکلاو قرار داد :

- ✗ ظروف دربسته و محکم بسته شده (خطر انفجار)
- ✗ مواد شیمیایی خطرناک (فرار، خورنده، سمی مانند الکل، کلروفرم، اسید استیک، فرمالین)
- ✗ بافت های پاتولوژی حجیم (لاشه حیوانات، اندامها) – باید سوزانده شوند
- ✗ مواد رادیواکتیو (نیاز به دفع ویژه دارند)
- ✗ بلیچ خشک شده یا نیتروسولولز (خطر آتش سوزی و انفجار)
- ✗ تیغ و وسایل تیز برنده (نیاز به ظروف مخصوص ضایعات تیز و برنده دارند)

۲. اصول عملکرد و اجزای اصلی (Working Principle & Components)

اصول فیزیکی

اتوکلاو بر اساس قانون گازها کار می کند: با افزایش فشار داخل محفظه بسته، نقطه جوش آب افزایش می یابد. این اجازه را می دهد که بخار آب در دمای بالای ۱۰۰ درجه سانتی گراد (معمولاً ۱۳۴-۱۲۱ درجه) باقی بماند و میکروارگانیسمها را با دنا توره کردن پروتئین ها و تخریب اسیدهای نوکلئیک از بین ببرد.

چرخه استاندارد اتوکلاو

عملکرد	زمان	فشار	دما	مرحله
خارج کردن هوای محفظه (برای نفوذ بهتر بخار)	۳ پالس	PSI ۱۲-	۵۰-۶۰ درجه	(Pre-vacuum خلاء اولیه)
رسیدن به دمای استریلیزاسیون	حداکثر ۸ دقیقه	PSI ۱۵	تا ۱۲۱ درجه	(Heating گرمایش)
حذف میکروارگانیسم‌ها	متغیر (بسته به محتوا)	۱۵-۳۰ PSI	۱۲۱-۱۳۴ درجه	Sterilization (استریلیزاسیون)
کاهش فشار و دما	۷-۱۰ دقیقه	PSI ۰	تا ۱۰۰ درجه	(Exhaust تخلیه بخار)
خشک کردن بار (اختیاری)	۲۵-۴۰ دقیقه	PSI ۱۵-	۸۰-۹۰ درجه	(Drying خشک کردن)

اجزای اصلی دستگاه

توضیح و عملکرد	جزء
فضای استیل ضدزنگ که مواد در آن قرار می‌گیرند	محفظه داخلی (Chamber)
مجهز به قفل ایمنی که تا زمانی که فشار به صفر نرسد، باز نمی‌شود	درب (Door)
تولید بخار اشباع از آب دیونیزه	ژنراتور بخار
خارج کردن هوای محفظه قبل از ورود بخار	سیستم خلاء (Vacuum System)
برای انتخاب برنامه، زمان و دما	کنترل پنل
ثبت پارامترهای هر سیکل برای کنترل کیفیت	سیستم چاپگر/ثبت داده
منبع آب برای تولید بخار (در مدل‌های رومیزی)	مخزن آب
جلوگیری از گرفتگی لوله تخلیه	صافی تخلیه (Drain Screen)

۳. انواع بار و برنامه‌ها (Cycle Types)

اکثر اتوکلاوها برنامه‌های از پیش تعیین شده برای انواع بار دارند:

نوع برنامه	کاربرد	دمای استاندارد	زمان استاندارد	نوع تخلیه بخار
(Gravity گرانشی)	زباله‌های زیستی، وسایل خشک (پارچه، فولاد ضدزنگ)	۱۲۱ درجه	۶۰-۱۲۰ دقیقه	سریع (Fast)
(Liquids مایعات)	محیط‌های کشت، محلول‌های بافر، مایعات حساس	۱۲۱ درجه	۲۲ دقیقه (< ۱۰۰ mL) ۴۰ دقیقه (> ۱۰۰ mL)	آهسته (Slow)
Pre-vacuum (دارای خلاء)	وسایل بسته‌بندی شده، ابزار جراحی	۱۳۲-۱۳۴ درجه	۳-۴ دقیقه	سریع همراه با خشک‌کن
(Waste زباله)	زباله‌های عفونی و بیولوژیک	۱۲۱ درجه	تا ۱۲۰ دقیقه	آهسته

۴. روش کار گام به گام (Step-by-Step Procedure)

این روش بر اساس SOP های استاندارد دانشگاه ایلینوی و WHO تهیه شده است.

مرحله ۰: نکات ایمنی (مهم ترین بخش)

اتوکلاو با فشار و حرارت بسیار بالا کار می کند. رعایت نکات ایمنی اجباری است.

خطر	راهکار ایمنی
سوختگی با بخار داغ	هرگز در مقابل درب اتوکلاو نایستید. درب را ابتدا کمی باز کنید تا بخار خارج شود.
انفجار ظروف دربسته	هرگز ظروف دربسته را اتوکلاو نکنید. درب بطری ها را شل ببندید یا از درپوش های دارای منفذ استفاده کنید.
سوختگی با مایع فوق داغ (Superheating)	مایعات خارج شده از اتوکلاو بسیار ناپایدارند. حداقل ۱۰ دقیقه صبر کنید تا خنک شوند. هم زدن ناگهانی باعث جوشیدن ناگهانی و پرتاب مایع داغ می شود.
نشت مایع عفونی	از ظروف بدون نشتی و مقاوم به حرارت استفاده کنید. کیسه های زباله را بیش از حد پر نکنید.
فشار باقیمانده در محفظه	تا زمانی که نمایشگر فشار صفر را نشان ندهد و دما به زیر ۱۲۱ درجه نرسیده، درب را باز نکنید.

تجهیزات حفاظت فردی (PPE) اجباری :

- ✓ دستکش ضد حرارت (Heat-resistant gloves)
- ✓ روپوش آزمایشگاهی آستین بلند
- ✓ عینک ایمنی (Safety goggles)
- ✓ کفش بسته و ضد ضربه (Closed-toe shoes)

□ مرحله ۱: آماده سازی بار (Load Preparation)

برای زباله های زیستی: (Biohazard waste)

- از کیسه های مخصوص اتوکلاو (اتوکلاو بیگ) استفاده کنید.
- کیسه را تا حداکثر $\frac{3}{4}$ پر کنید.
- دهانه کیسه را باز بگذارید یا حداقل ۲ اینچ باز باشد تا بخار بتواند نفوذ کند.
- کیسه را درون یک سینی عمیق ضد نشتی از جنس استیل یا پلی پروپیلن مقاوم به حرارت قرار دهید.
- اگر کیسه دارای علامت خطر زیستی (Biohazard symbol) است، پس از اتوکلاو، حتماً در یک کیسه زباله معمولی مشکی (over-bag) قرار دهید تا به زباله عادی منتقل شود.

برای مایعات: (Liquids)

۱. از ظروف شیشه‌ای مقاوم به حرارت (Borosilicate) مانند پیرکس (استفاده کنید).
۲. حداکثر تا ۷۵٪ ظرفیت ظرف را پر کنید (برای کف کردن و جوشیدن).
۳. درب را کاملاً شل ببندید یا از درپوش‌های دارای منفذ (vented closure) استفاده کنید.
۴. بطری‌ها را در سینی عمیق ضد نشت قرار دهید.
۵. کمی آب به کف سینی اضافه کنید تا از شوک حرارتی به شیشه جلوگیری شود.

برای وسایل خشک (Glassware, Instruments):

۱. ظروف را بشویید و آبکشی کنید.
۲. ظروف توخالی (لوله، فلاسک) را وارونه قرار دهید تا آب داخل آن جمع نشود.
۳. ابزارهای فلزی را تمیز و خشک کنید و در سینی بچینید.
۴. اگر وسایل بسته‌بندی شده‌اند (کاغذ کرافت یا کیسه‌های مخصوص)، مطمئن شوید بسته‌بندی برای نفوذ بخار مناسب است.

مرحله ۲: آماده‌سازی دستگاه (Chamber Preparation)

۱. صافی تخلیه (Drain screen) را چک کنید: باید تمیز و عاری از ذرات باشد. گرفتگی صافی یکی از علل شایع Wet Packs و خرابی دستگاه است.
۲. سطح آب را چک کنید: در اتوکلاوهای رومیزی، مخزن آب را پر کنید (طبق دفترچه راهنما). از آب دیونیزه (Deionized water) استفاده کنید.
۳. قفل درب: درب را محکم ببندید. در برخی مدل‌ها دسته را به چپ بچرخانید تا "Lock" روی صفحه ظاهر شود.

مرحله ۳: انتخاب برنامه و راه‌اندازی (Start Cycle)

بر اساس نوع بار خود، برنامه مناسب را انتخاب کنید:

نوع بار	برنامه پیشنهادی	دما	زمان	توضیحات
زباله زیستی	Waste / Gravity	C1۲۱°	۶۰-۱۲۰ دقیقه	بستگی به چگالی و حجم دارد
محیط کشت (مایع)	Liquids	C1۲۱°	۲۲-۴۰ دقیقه	زمان بر اساس حجم
ظروف شیشه‌ای خالی	Gravity + Dry	C1۲۱°	۳۰-۶۰ دقیقه	با چرخه خشک‌کن
وسایل جراحی بسته‌بندی شده	Pre-vacuum	C1۳۴°	۴ دقیقه	نفوذ بخار بهتر

۱. دکمه Start را فشار دهید.
۲. صفحه نمایش یا چاپگر را برای ثبت پارامترها بررسی کنید.
۳. در صورت نیاز، لاگ بوک را تکمیل کنید.

تست روزانه **Bowie-Dick**: قبل از اولین سیکل روزانه، یک تست خلاء (Bowie-Dick test) انجام دهید تا از عملکرد صحیح سیستم خلاء اطمینان حاصل کنید. طبق یک مطالعه، میزان انجام تست Bowie-Dick در مراکز درمانی حدود ۸۰٪ است.

مرحله ۴: پایان سیکل و تخلیه (Unloading)

۱. صبر کنید تا فشار به صفر برسد و دما به زیر ۱۲۱-۵۰ درجه برسد.
۲. PPE (پوشید) دستکش ضد حرارت، عینک، روپوش.
۳. درب را بسیار آرام و فقط چند سانتی متر باز کنید تا بخار باقیمانده خارج شود. هرگز روبروی درب نایستید.
۴. حداقل ۱۰ دقیقه صبر کنید تا بار خنک شود.
۵. بار را خارج کنید.
۶. نوار اتوکلاو (Autoclave tape) را بررسی کنید: نوار باید خطوط تیره و مورب (تغییر رنگ) داشته باشد که نشان دهنده عبور بخار و حرارت است.

مرحله ۵: تمیزکاری و ثبت اطلاعات (Documentation)

تمیزکاری:

۱. سینی‌ها را با آب بشویید و خشک کنید.
۲. هرگونه نشی داخل محفظه را با دستمال تمیز کنید.
۳. درب اتوکلاو را بسته بگذارید (برای حفظ دما و جلوگیری از ورود گرد و غبار).

ثبت اطلاعات (الزامی برای GLP و استانداردهای آزمایشگاهی)

مقدار نمونه	فیلد
	تاریخ و زمان
	نام اپراتور
(مدل دستگاه)	مدل دستگاه
Waste / Gravity	نوع برنامه
۶۰C / ۱۲۱° دقیقه	دما و زمان تنظیمی
Pass	نتایج تست (Bowie-Dick روزانه)
G.stearothermophilus – Negative	شماره (BI هفتگی/ماهانه)
تغییر رنگ (تأیید)	وضعیت نوار اتوکلاو
_____	امضا

۵. کنترل کیفیت و پایش (Quality Control & Monitoring)

اتوکلاو باید در سه سطح پایش شود تا اثربخشی استریلیزاسیون تضمین گردد.

مقایسه روش های پایش

روش پایش	هدف	تعداد دفعات	نحوه انجام
Physical (فیزیکی)	چک کردن دما، زمان، فشار	هر بار (Every Load)	خواندن از صفحه نمایش یا چاپگر
Chemical (شیمیایی)	تأیید نفوذ بخار و حرارت	هر بار (Every Load)	نوار اتوکلاو – (Autoclave tape) تغییر رنگ
Biological (بیولوژیکی)	اثبات واقعی مرگ میکروارگانیسمها	حداقل ماهانه	استفاده از Geobacillus (stearothermophilus باکتری مقاوم به حرارت). انکوبه در ۶۰-۵۶°C به مدت ۲۴ ساعت. نتیجه: بدون تغییر رنگ (منفی) = تأیید

طبق آمار، میزان انجام تست بیولوژیک (BI) در مراکز درمانی حدود ۹۰٪ است.

۶. پارامترهای استاندارد (Temperatures and Times)

نوع تخلیه	زمان استریلیزاسیون	دما	نوع بار
Slow exhaust	۶۰-۱۲۰ دقیقه	۱۲۱°C	زباله زیستی (کیسه باز)
Slow exhaust	۲۲ دقیقه	۱۲۱°C	مایعات (<۱۰۰۰ml)
Slow exhaust	۴۰ دقیقه	۱۲۱°C	مایعات (>۱۰۰۰ml)
Fast + Dry	۳۰-۶۰ دقیقه	۱۲۱°C	وسایل خشک (پارچه/فلز)
Slow exhaust	۳۰-۶۰ دقیقه	۱۲۱°C	ظروف شیشه‌ای کثیف
Fast + Dry	۳۰-۶۰ دقیقه	۱۲۱°C	ظروف شیشه‌ای تمیز

۷. عیب‌یابی مشکلات رایج (Troubleshooting)

مشکل	علت احتمالی	راه حل
(Wet packs) بار مرطوب)	خشک‌کن کافی نبوده، بار بیش از حد سنگین است	زمان خشک‌کن را ۲۰٪ افزایش دهید
نوار اتوکلاو تغییر رنگ نداده	بخار نفوذ نکرده، کیسه بسته بوده یا دستگاه مشکل دارد	بار را دوباره ببندید و دوباره اتوکلاو کنید. اگر مجدداً موفق نشد، مسئول را مطلع کنید
نوسان دما	کیفیت بخار پایین است (رطوبت <۹۷٪)	کوئل‌های ژنراتور بخار را تمیز کنید
زمان گرم کردن طولانی	المنت حرارتی معیوب	مقاومت المنت را تست کنید. در صورت اختلاف بیشتر از ۱۵٪، تعویض شود

آب از زیر دستگاه نشت می‌کند بوی نامطبوع	گرفتگی لوله تخلیه، درب به درستی بسته نشده نشستی قدیمی، زباله‌های پوسیده	صافی تخلیه را تمیز کنید. دستگاه را خاموش کنید و از مسئول کمک بخواهید. درب را باز نکنید سیکل تمیزکاری (Chamber cleaning) اجرا کنید.
---	---	---

۸. نکات کلیدی برای موفقیت (Key Principles)

قانون	توضیح
✓آموزش اجباری	هر اپراتور باید قبل از کار آموزش دیده باشد
✓نفوذ بخار (Steam Penetration)	بخار باید به تمام سطوح دسترسی داشته باشد. کیسه‌ها را باز بگذارید، ظروف را شلوغ نکنید
✓دما و زمان صحیح	زمان کافی برای رسیدن دما به مرکز بار در نظر گرفته شود
✓عدم بارگذاری بیش از حد	بین سینی‌ها فاصله بگذارید تا بخار گردش کند
✓عدم بستن درب بطری‌ها	درب بطری‌های حاوی مایع باید شل بسته شود
✓استفاده از PPE مناسب	به ویژه هنگام تخلیه، حتماً دستکش ضد حرارت بپوشید

۹. چک لیست سریع برای کاربران

مرحله	اقدام	انجام شد؟
۱	دستکش ضد حرارت، عینک و روپوش آماده است؟	<input type="checkbox"/>
۲	کیسه زباله باز است و بیش از 3/4 پر نشده؟ (برای زباله)	<input type="checkbox"/>
۳	درب بطری‌ها شل بسته شده؟ (برای مایعات)	<input type="checkbox"/>
۴	صافی تخلیه (Drain screen) تمیز است؟	<input type="checkbox"/>
۵	سطح آب کافی است (برای مدل‌های رومیزی)؟	<input type="checkbox"/>
۶	درب به درستی قفل شده است؟	<input type="checkbox"/>
۷	برنامه مناسب (Waste/Liquids/Gravity) انتخاب شده؟	<input type="checkbox"/>
۸	دما و زمان به درستی تنظیم شده است؟	<input type="checkbox"/>
۹	سیکل کامل شده و فشار به صفر رسیده است؟ (دست نزنید تا اتمام)	<input type="checkbox"/>
۱۰	بار حداقل ۱۰ دقیقه خنک شده و نوار اتوکلاو تغییر رنگ داده است؟	<input type="checkbox"/>
۱۱	اطلاعات در لاگ بوک ثبت شده است؟	<input type="checkbox"/>

✦ جمع‌بندی نهایی

اتوکلاو مؤثرترین روش استریلیزاسیون برای تجهیزات مقاوم به حرارت و زباله‌های زیستی است. با رعایت اصول زیر می‌توانید استریلیزاسیون ایمن و مؤثری داشته باشید:

۱. ✓ ایمنی اولویت اول - هرگز درب را تحت فشار باز نکنید و همیشه از PPE استفاده کنید
۲. ✓ نفوذ بخار - کیسه‌ها را باز بگذارید، بطری‌ها را شل ببندید و محفظه را بیش از حد پر نکنید
۳. ✓ پایش مستمر - از نوار اتوکلاو (هر بار) و تست بیولوژیک (ماهانه) استفاده کنید
۴. ✓ ثبت اطلاعات - لاگ بوک را کامل کنید تا ردیابی و کنترل کیفیت ممکن باشد

آماده پاسخگویی به سوالات شما در مورد این دستگاه یا سایر تجهیزات آزمایشگاهی (مانند انکوباتور CO_2 ، سانتریفیوژ، یا هود لامینا