

معماری در خدمت سلامت؛ بررسی پیوند میان مهندسی معماری و علوم آزمایشگاهی

سیدمهدی رسولی^۱، رضا محبی^۲

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی ساختمان، کارمند دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ایران (نویسنده مسئول)

^۲ کارشناسی ارشد میکروبیولوژی، کارمند دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ایران

چکیده

در نگاه نخست، مهندسی معماری و علوم آزمایشگاهی دو حوزه کاملاً متفاوت به نظر می‌رسند؛ یکی با طراحی فضاهای زیستی، زیبایی‌شناسی و سازه‌های فیزیکی سر و کار دارد، و دیگری با بررسی نمونه‌های زیستی، تشخیص بیماری‌ها و کار در محیط‌های بهداشتی و تخصصی؛ اما در حقیقت به صورت عمیق و حیاتی به یکدیگر وابسته‌اند. با این حال، با گسترش نیاز به فضاهای درمانی، پژوهشی و آزمایشگاهی مدرن، ارتباط میان این دو رشته بیش از پیش برجسته شده است. طراحی فضاهای آزمایشگاهی نه تنها به دانش فنی معماری بلکه به مفهوم دقیق نیازهای علمی و بهداشتی این فضاها وابسته است. برای ساخت و طراحی یک سازه از جمله یک آزمایشگاه کارآمد، ایمن و سازگار با استانداردهای علمی، صرفاً دانش معماری و یا پزشکی به تنهایی کافی نیست. روش تحقیق برای انجام این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، توصیفی، تحلیلی است. روش گردآوری داده‌ها به صورت ترکیبی از مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی اسناد و استانداردهای بین‌المللی طراحی آزمایشگاه‌ها، و تحلیل مقالات منتخب انجام شده است. نتایج این‌طور نشان می‌دهد که همکاری میان این دو حوزه تضمین می‌کند که فضا هم از نظر عملکردی بهینه باشد و هم از نظر انسانی و روانی در شرایط مطلوبی قرار گیرد. بنابراین معماری در خدمت سلامت رویکردی است که طراحی فضاهای ساخته‌شده را بر اساس اثر آنها بر سلامت جسمی، روانی و اجتماعی کاربران انجام می‌دهد. در این دیدگاه، نور طبیعی، تهویه مناسب، دسترسی به فضای سبز و کیفیت هوای داخل جزو اولویت‌های اصلی محسوب می‌شود. این رویکرد در بیمارستان‌ها، مدارس، محیط‌های کاری و فضاهای عمومی شهری کاربرد فراوان دارد و موجب افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های درمانی می‌شود. معماری در خدمت سلامت به استانداردهایی که شاخص‌های کیفیت سلامت را در ساختمان‌ها می‌سنجند نیز توجه دارد. در واقع معماران با در نظر گرفتن نیازهای جسمی و روانی انسان، محیطی می‌آفرینند که علاوه بر عملکرد و زیبایی، بر رفاه و آسایش کاربران تأثیر مثبت بگذارد. این دیدگاه نه تنها به بهبود کیفیت زندگی کمک می‌کند بلکه به پایداری محیط زیست نیز یاری می‌رساند و سلامت جامعه را در بلندمدت ارتقا می‌دهد. همکاری نزدیک میان معماران و متخصصان علوم آزمایشگاهی و دیگر تیم‌های فنی، کلید موفقیت در ایجاد محیط‌هایی است که به پیشرفت و ارتقای سلامت جامعه کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: مهندسی، معماری، آزمایشگاه، سلامت

مقدمه

پرداختن به مباحث میان رشته ای علوم انسانی و طراحی معماری و پرداختن به چیستی و چگونگی رابطه انسان و محیط و کیفیت فضای زیست که بخشی از آن فضاهای ساخته ما به عنوان آثار معماری و فضاهای شهری می باشد ضرورت دارد. تاثیر سوء محیط در جوامع شهری و صنعتی بر روان آدمی و میزان شیوع انواع بیماری های چون اضطراب و افسردگی لزوم توجه مناسب به محیط پیرامون جهت حفظ سلامت روانی را به ما گوشزد می کند. بنابراین با تمام دستاوردهای علمی بشر امروزین، هنوز عوامل زیادی هستند که سلامت انسان ها، خصوصاً سلامت روانی آنان را تهدید می کنند. به همین دلیل موضوع سلامت روانی یکی از دغدغه های انسان است. محیط کالبدی که توسط خود انسان ساخته شده است، می تواند یکی از همان عوامل تهدید کننده برای انسان باشد (تقی لوئی، ۱۴۰۰). تنش های روانی به عنوان مهم ترین عامل مخاطرات روحی و جسمی در مقابل ما قرار گرفته که یکی از مهمترین دلایل آن محیط نابسامان شهری و معماری سکونتگاه های ماست. برای نشان دادن تاثیر شرایط محیطی بر انسان، معمولاً به اختلالات رفتاری افراد و گروه هایی اشاره می شود که در شهرهای پر جمعیت سکونت دارند و از نظر سازگاری با شرایط محیط به ویژه معماری محیط با مشکلات رو به رو می شوند (امامقلی، ۱۳۹۲). در نگاه نخست، مهندسی معماری و علوم آزمایشگاهی دو حوزه کاملاً متفاوت به نظر می رسند؛ یکی با طراحی فضاهای زیستی، زیبایی شناسی و سازه های فیزیکی سر و کار دارد، و دیگری با بررسی نمونه های زیستی، تشخیص بیماری ها و کار در محیط های بهداشتی و تخصصی. با این حال، با گسترش نیاز به فضاهای درمانی، پژوهشی و آزمایشگاهی مدرن، ارتباط میان این دو رشته بیش از پیش برجسته شده است. طراحی درست فضاهای آزمایشگاهی تأثیر مستقیمی بر کیفیت، دقت و ایمنی فعالیت های علمی و پزشکی دارد. با توجه به اینکه کلیه فعالیت های اصلی آزمایشگاه، در حوزه ی فنی انجام می شود، می توان گفت کانون اصلی فعالیت ها آزمایشگاه، در این حوزه می باشد و با توجه به اینکه کارکنان این بخش زمان زیادی را در محل کارشان سپری می کنند، باید در طراحی فضاهای آزمایشگاهی چه به لحاظ عملکردی و چه به لحاظ کیفی توجه خاصی نمود (معاونت درمان، ۱۳۹۲). در این میان، معماران نقشی کلیدی در خلق محیط هایی ایفا می کنند که هم با استانداردهای بهداشتی و فنی مطابقت داشته باشند و هم از نظر زیبایی، راحتی و بهره وری در سطح مطلوبی قرار گیرند. این مقاله تلاش دارد تا با نگاهی بین رشته ای، به بررسی پیوند میان مهندسی معماری و علوم آزمایشگاهی بپردازد؛ از طراحی فضاهای بهداشتی گرفته تا نقش عوامل محیطی در کارایی آزمایشگاه ها، و همچنین بررسی نمونه هایی از همکاری های میان این دو حوزه در پروژه های علمی و درمانی.

روش شناسی

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، توصیفی-تحلیلی است. روش گردآوری داده ها به صورت ترکیبی از مطالعات کتابخانه ای، بررسی اسناد و استانداردهای بین المللی طراحی آزمایشگاه ها، و تحلیل مقالات منتخب انجام شده است. در مرحله ی نخست، مبانی نظری و الزامات طراحی فضاهای آزمایشگاهی از طریق مرور ادبیات و منابع معتبر داخلی و خارجی گردآوری گردید. این منابع شامل مقالات علمی، دستورالعمل های سازمان جهانی بهداشت (WHO)، استانداردهای تپویه و ایمنی (ANSI/AIHA Z9.5)، و آیین نامه های ملی ساختمان بود. در مرحله ی دوم، برای تحلیل کیفی، چند نمونه آزمایشگاه

فعال در ایران و خارج از کشور بر اساس معیارهای زیر انتخاب شدند؛ رعایت اصول بهداشت و ایمنی زیستی (Biosafety Levels)، کارایی جریان حرکتی کارکنان (Functional Zoning)، کیفیت تهویه و کنترل آلودگی متقاطع، تطابق با نیازهای عملکردی علوم آزمایشگاهی. اطلاعات این نمونه‌ها از طریق بازدید میدانی (برای موارد داخلی)، بررسی نقشه‌های معماری، و مهندسان معمار و مدیران فنی گردآوری شد. در نهایت، داده‌های دریافتی با رویکرد مقایسه‌ای تحلیل شدند تا ارتباط میان تصمیمات معماری و کارایی عملکردی فضاهای آزمایشگاهی مشخص گردد. روش تحلیل، بر پایه‌ی استخراج شاخص‌های کلیدی طراحی و مقایسه آن‌ها با استانداردهای مرجع بود. این فرایند امکان شناسایی شکاف‌ها و ارائه‌ی راهکارهای پیشنهادی در جهت ارتقاء کیفیت طراحی معماری در خدمت سلامت را فراهم کرد.

مدل مفهومی پژوهش



در دهه‌های اخیر، اهمیت طراحی فضاهای آزمایشگاهی به‌گونه‌ای که هم از نظر عملکردی و هم از نظر بهداشتی بهینه باشند، به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش‌های بین‌المللی نشان می‌دهد که کیفیت طراحی معماری می‌تواند تأثیر مستقیم بر ایمنی، دقت و کارایی فرآیندهای آزمایشگاهی داشته باشد (Laboy, ۲۰۱۹). بر اساس مطالعات سازمان جهانی بهداشت (WHO, ۲۰۲۰)، تهویه مناسب، زون‌بندی عملکردی (Functional Zoning) و کنترل آلودگی، سه رکن اصلی در طراحی فضاهای بهداشتی و آزمایشگاهی به‌شمار می‌آیند. در ایران نیز طی یک دهه اخیر، تحقیقات پراکنده‌ای پیرامون استانداردهای طراحی آزمایشگاه‌ها صورت گرفته است (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۸)، اما اغلب این مطالعات تمرکز محدودی بر جنبه‌های معماری و ارتباط آن با سلامت کاربران دارند. پژوهش کریمی (۱۴۰۱) به نقش نور طبیعی و طراحی ارگونومیک در کاهش خطاهای انسانی پرداخته و نشان داده است که ملاحظات معماری می‌توانند به بهبود کیفیت داده‌های علمی و کاهش

استرس پرسنل کمک کنند. همچنین، مطالعات بین‌المللی مانند پژوهش Smith و همکاران (۲۰۲۱) در طراحی "کلین‌روم‌ها" (Clean Rooms) بیانگر آن است که معماری کارآمد می‌تواند هزینه‌های نگهداری و مصرف انرژی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. به‌رغم وجود این یافته‌ها، در حوزه پژوهش‌های داخلی، بررسی جامع و یکپارچه‌ای که پیوند میان مهندسی معماری و علوم آزمایشگاهی را با رویکرد سلامت‌محور تحلیل کند، کمتر مشاهده می‌شود و این موضوع ضرورت انجام مطالعه حاضر را توجیه می‌کند.

مبانی نظری

نقش مهندسی ساختمان در طراحی و ساخت فضاهای آزمایشگاهی

مهندسی ساختمان، به‌عنوان شاخه‌ای از مهندسی که به طراحی، اجرا و نگهداری سازه‌ها می‌پردازد، نقش بسیار مهمی در موفقیت پروژه‌های آزمایشگاهی دارد. در واقع، هر آزمایشگاه مدرن علاوه بر طراحی معماری، نیازمند زیرساخت‌های مهندسی ساختمان قوی است که تضمین‌کننده استحکام سازه و ایمنی در برابر خطرات طبیعی مانند زلزله، سیل و بادهای شدید باشد. کنترل دقیق لرزش‌ها برای آزمایش‌های حساس که به ثبات و دقت نیاز دارند؛ مقاومت مصالح در برابر شرایط خاص آزمایشگاهی مانند خوردگی مواد شیمیایی یا تغییرات دما؛ ایجاد زیرساخت‌های مؤثر برای تجهیزات سنگین و تخصصی که به پایداری بالا؛ هماهنگی با سیستم‌های تأسیساتی مانند برق، تهویه و آب از دیگر نقش‌های مهم در رفتار یک سازه می‌باشد. همچنین مهندسان ساختمان با بهره‌گیری از روش‌های نوین ساخت، می‌توانند روند اجرای پروژه را کوتاه‌تر و با کیفیت بالاتر انجام دهند، که این امر به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری منجر می‌شود. در شکل زیر به این موضوع پرداخته شده است. در نهایت، هم‌افزایی معماری، مهندسی ساختمان و علوم آزمایشگاهی باعث خلق محیط‌هایی می‌شود که پاسخگوی نیازهای پیچیده علمی و فنی امروز و فردا باشند.

نقش معماری در طراحی فضاهای بهداشتی و آزمایشگاهی

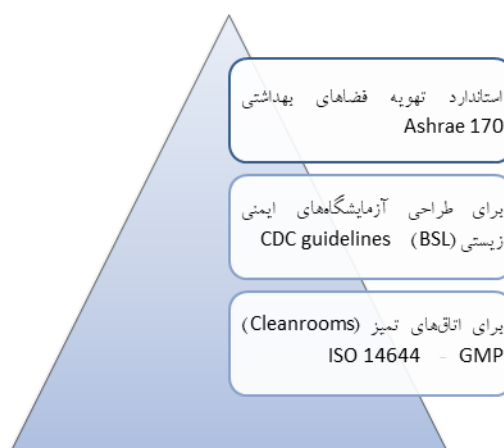
فضاهای آزمایشگاهی از حساس‌ترین محیط‌های کاری در جهان امروز محسوب می‌شوند. در این فضاها، دقت، ایمنی و کارایی از اهمیت بالایی برخوردارند؛ چرا که هرگونه اختلال در طراحی فضا می‌تواند عملکرد تجهیزات، نتایج آزمایش‌ها، یا حتی سلامت کارکنان را به خطر بیندازد. از این‌رو مهندسی معماری نقش کلیدی در طراحی این فضاها ایفا می‌کند؛ نقشی که از زیبایی‌شناسی فراتر می‌رود و به حوزه‌های عملکردی، فنی و بهداشتی نیز وارد می‌شود. فضاهای آزمایشگاهی از حساس‌ترین و پیچیده‌ترین محیط‌های کاری هستند که طراحی آن‌ها مستقیماً بر کیفیت فعالیت‌های علمی، ایمنی کارکنان و دقت نتایج آزمایش‌ها تأثیر می‌گذارد. برخلاف تصور عموم، طراحی آزمایشگاه تنها به چیدمان میزها و تجهیزات محدود نمی‌شود، بلکه نیازمند درک عمیق از فرآیندهای علمی، رعایت استانداردهای بهداشتی و استفاده هوشمندانه از فضا، نور، متریال و جریان هواست. اینجاست که نقش مهندس معمار فراتر از زیبایی‌شناسی ظاهر می‌شود و به تضمین عملکرد مؤثر و ایمن فضا بدل می‌شود. جدول زیر در این خصوص به صورت ارائه شده است.

یکی از مهم ترین وظایف معماری در این فضاها ایجاد محیطی است که پاکیزه، ضد عفونی پذیر و ایمن باشد. انتخاب مصالح قابل شست و شو، سطوح بدون درز و جلوگیری از نقاط تجمع آلودگی در طراحی، به کنترل بهداشت کمک می کند.	بهداشت و ایمنی
معماری با طراحی درست مسیرهای ورود و خروج، تفکیک بخش های تمیز و آلوده، جریان هوای مناسب و فشار مثبت / منفی می تواند جلوی انتقال آلودگی را بگیرد. این موضوع به ویژه در آزمایشگاه ها و مراکز درمانی حیاتی است.	کنترل آلودگی و عفونت
فضاهای بهداشتی و آزمایشگاهی باید طبق استانداردهای ملی و بین المللی ساخته شوند (اندازه اتاق ها، سیستم تهویه، مسیرهای اضطراری، دسترسی ها). معماری نقشی کلیدی در تحقق این استانداردها دارد.	رعایت استانداردها
نور طبیعی کافی، تهویه مناسب، دمای کنترل شده و کاهش نویز محیطی از مواردی است که معمار با طراحی هوشمندانه می تواند تأمین کند و هم سلامت پرسنل را بالا ببرد و هم کیفیت نتایج آزمایش را.	نور، تهویه و آسایش محیطی
معماری باید تجهیزات و مبلمان را در موقعیت های درست قرار دهد تا کارکنان کمترین فشار جسمی را تجربه کنند. مسیرهای حرکت کوتاه تر، دسترسی آسان به وسایل و فضای کاری امن بهره وری را تا حد قابل قبولی بالا می برد.	ارگونومی و راحتی کاربران
نیازهای درمانی و آزمایشگاهی دائم تغییر می کند. طراحی معماری باید انعطاف پذیر باشد تا امکان تغییر یا گسترش فضاها با کمترین هزینه و وقفه وجود داشته باشد.	انعطاف پذیری و توسعه آینده
در این فضاها تجهیزات پیچیده (مثلاً هودهای ایمنی، سیستم های استریل) نصب می شود. معماری باید از ابتدا با مهندسان تأسیسات و طراحان تجهیزات هماهنگ باشد تا فضا درست عمل کند	هماهنگی با تجهیزات تخصصی

منبع: نگارندگان

• استاندارد سازی و الزامات فنی

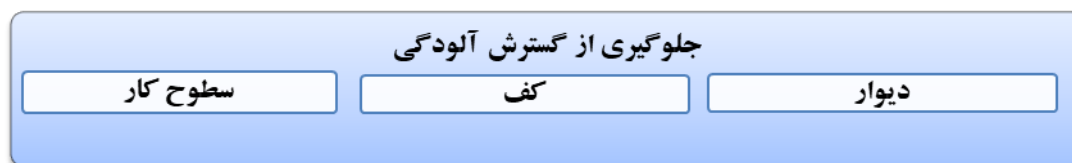
یک معمار حرفه ای باید با استانداردهای بین المللی طراحی آزمایشگاه آشنا باشد، از جمله:



منبع: نگارندگان

• طراحی عملکردی و ایمن

معماران در طراحی آزمایشگاه‌ها باید استانداردهای بهداشتی و ایمنی خاصی را رعایت کنند. به عنوان مثال: استفاده از مواد مقاوم در برابر مواد شیمیایی یا بیولوژیکی در کف، دیوار و سطوح کار؛ طراحی سیستم‌های تهویه مناسب (HVAC) برای جلوگیری از گسترش آلودگی؛ ایجاد جریان حرکتی بهینه برای کارکنان جهت جلوگیری از تداخل و آلودگی متقابل (Cross Contamination)



• طراحی بر اساس نوع آزمایشگاه

هر نوع آزمایشگاه، نیازهای خاص خود را دارد که به آن‌ها اشاره می‌کنیم؛

آزمایشگاه‌های پزشکی Clinical	کنترل دقیق آلودگی، تهویه قوی، تفکیک نمونه‌ها
آزمایشگاه‌های Microbiology	زیستی ایزولاسیون کامل، تهویه با فیلتر HEPA، درب‌های خودکار
آزمایشگاه‌های شیمیایی	مقاومت در برابر خوردگی، سیستم دفع گاز، کف پوش ضد اسید
اتاق‌های تمیز Cleanroom	جریان هوای لامینار، مصالح بدون گرد و غبار، محدودیت ورود

نتایج پژوهش

• عناصر معماری مؤثر در کارآیی آزمایشگاه

در محیط‌های آزمایشگاهی عناصر مختلف معماری می‌توانند در عملکرد و بهبود روند مطلوب در نتیجه گیری‌های موثر باشند از جمله:

- تهویه و کنترل آلودگی: طراحی باید طوری باشد که جریان هوای تمیز، از مناطق تمیز به سمت مناطق آلوده حرکت کند.
- طراحی مناسب سیستم تهویه: این سیستم می‌تواند باعث کاهش خطر انتقال آلودگی؛ بهبود کیفیت هوا و ایمنی پرسنل؛ تطابق با نیازهای سطح ایمنی زیستی (BSL) شود.
- نورپردازی: نور طبیعی (در حد ممکن) باعث بهبود روحیه کارکنان می‌شود. اما در عین حال باید کنترل نور خیره‌کننده انجام شود. همچنین نور مصنوعی با دمای رنگ مناسب انتخاب شود (مثلاً ۴۰۰۰ - ۵۰۰۰ K برای تمرکز بالا). به طور کلی تحقیقات نشان داده‌اند که کیفیت نورپردازی و رنگ در فضاهای کاری می‌تواند بر روحیه و تمرکز کارکنان تأثیرگذار باشد. طراحی مناسب پنجره‌ها، استفاده از نور طبیعی، و انتخاب رنگ‌های ملایم می‌تواند به کاهش استرس و افزایش بهره‌وری در محیط‌های آزمایشگاهی کمک کند.

- رنگ و متریال: استفاده از رنگ های ملایم و متریال های قابل شست و شو و مقاوم در برابر مواد شیمیایی الزامی ست. دیوارها باید صاف، بدون درز و با پوشش ضد قارچ باشند.

- انعطاف پذیری فضایی: آزمایشگاه ها ممکن است با پیشرفت علم نیاز به تغییر کاربری یا تجهیزات جدید داشته باشند. یکی از چالش های مهم در طراحی فضاهای آزمایشگاهی، پیش بینی تغییرات علمی، فنی و سازمانی در آینده است. علوم آزمایشگاهی به طور مداوم در حال پیشرفت اند؛ دستگاه های جدید، روش های نوین آزمایش و الزامات تازه ای که هر چند سال یکبار به فضا تحمیل می شود. از این رو، معماری آزمایشگاه باید انعطاف پذیر و آینده نگر باشد. بنابراین طراحی ماژولار و انعطاف پذیر توسط معماران، امکان بازطراحی یا توسعه فضا را بدون نیاز به تخریب کامل فراهم می کند. طراحی ماژولار، امکان افزودن تجهیزات جدید، تغییر در کاربری فضا یا جابجایی بخش ها را بدون تخریب عمده فراهم می کند. این اصل در آزمایشگاه های تحقیقاتی نوین بسیار حیاتی است. در این روش: دیوارها، میزها، و تجهیزات به گونه ای طراحی می شوند که قابل جابه جایی یا جایگزینی باشند. زیرساخت ها از جمله (لوله کشی، برق، تهویه) در مسیرهای قابل دسترسی و غیر ثابت نصب می شوند تا تغییر کاربری سریع تر و کم هزینه تر انجام شود. فضاهای قابل توسعه در کنار فضاهای اصلی طراحی می شوند تا در آینده به آن ها اضافه شود.

• قابلیت چندمنظوره بودن فضا

در برخی از آزمایشگاه های آموزشی یا تحقیقاتی، نیاز است که یک فضا در ساعات مختلف روز کارکرد متفاوتی داشته باشد؛ مثلاً: صبح برای آزمایش های بالینی، عصر برای آموزش دانشجویان یا پژوهش های مستقل. معماری منعطف با استفاده از پارتیشن های قابل جابجایی، سیستم نور و تهویه چند منظوره، و مبلمان متحرک، این امکان را فراهم می کند.

• نمونه های عملی طراحی موفق آزمایشگاه

در دنیا چندین نمونه آزمایشگاه کاربردی با طراحی های علمی و موفق صورت گرفته است که به آنها اشاره می کنیم؛

- مرکز ملی ویروس شناسی کره جنوبی (KNIH): در این مرکز استفاده از فضاهایی با تهویه اختصاصی و شیشه های هوشمند برای کنترل نور و حفظ استریل بودن فضا تعبیه شده است.

- آزمایشگاه های پژوهشگاه رویان ایران: بهره گیری از طراحی ماژولار و نورپردازی طبیعی در کنار استفاده از مصالح ضد عفونی پذیر از ویژگی های شاخص در این مرکز می باشد.

به طور کلی می توان معماری آزمایشگاه را اصلی مهم قلمداد نمود که صرفاً یک طراحی بصری خاص نیست؛ بلکه فرآیندی علمی، دقیق و وابسته به همکاری چند رشته ای است. معماری می تواند کیفیت، ایمنی و بهره وری فضاهای آزمایشگاهی را به شدت افزایش دهد و محیطی بسازد که هم با استانداردهای پزشکی و فنی همخوان باشد، و هم رفاه و تمرکز کاربر انسانی را ارتقا دهد.

• آماده سازی برای تجهیزات آینده

فضاهای آزمایشگاهی مدرن به نحوی طراحی می شوند که ظرفیت برق و تهویه کافی برای دستگاه های جدید در آینده را داشته باشند. امکان نصب سنسورها، ربات ها و فناوری های هوشمند را بدون بازسازی کامل فراهم کنند. زیرساخت های دیجیتالی قوی (مانند شبکه پرسرعت، سرور داخلی و کابل کشی مناسب) از ابتدا پیش بینی شود. نمونه واقعی از آزمایشگاه که با

چنین تمهیداتی طراحی شده است در مرکز آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه MIT در ماساچوست آمریکا بنیان گذاری شده است. در این آزمایشگاه از ابتدا مسیرهای تأسیساتی دوقلو در سقف کاذب و کف کاذب قرار داده شده تا به محض نیاز، بدون تخریب، تجهیزات جدید نصب شوند. همین موضوع باعث شده بازطراحی های داخلی ظرف چند روز انجام شوند.

• طراحی اتاق های خاص

برخی از فضاهای آزمایشگاهی مانند اتاق تمیز (Clean Room) در صنایع داروسازی یا الکترونیک، آزمایشگاه های سطح ایمنی زیستی (BSL-۳ یا BSL-۴) برای کار با ویروس های خطرناک، نیازمند طراحی ویژه ای هستند که تنها با همکاری نزدیک معماران و متخصصین آزمایشگاهی حاصل می شود.

همکاری بین رشته ای معماری و علوم آزمایشگاهی

برای طراحی یک آزمایشگاه کارآمد، ایمن و سازگار با استانداردهای علمی، صرفاً دانش معماری یا پزشکی به تنهایی کافی نیست. این نوع پروژه ها نیازمند تعامل مستقیم و نزدیک میان معماران، متخصصان علوم آزمایشگاهی، مهندسين تأسیسات، ایمنی زیستی و حتی روانشناسان محیطی هستند. همکاری میان این حوزه ها تضمین می کند که فضا از نظر عملکردی، انسانی و روانی بهینه باشد.	
کارکنان آزمایشگاه، بهتر از هر کسی با نیازهای واقعی فضا آشنا هستند. چندین سوال که می توان از کارکنان آزمایشگاه ها برای تعریف نیازهای آنها پرسید این گونه است؛ چه نوع جریان حرکتی برای انتقال نمونه ها بهینه تر است؟ کدام بخش ها باید از بقیه ایزوله باشند؟ نورپردازی در کدام قسمت حساس تر است؟ چطور می توان هم ایمنی را حفظ کرد و هم دسترسی آسان داشت؟ معمارانی که به جای طراحی صرف، با کارکنان آزمایشگاه جلسات مکرر برگزار می کنند، درک دقیق تری از چالش های عملیاتی به دست می آورند. این رویکرد، طراحی را از حالت نظری خارج کرده و به حالت واقعی و کاربردی تبدیل می کند.	شناخت نیازهای دقیق از طریق گفتگو با کاربران نهایی
در آزمایشگاه های پیشرفته، خصوصاً در سطح ایمنی زیستی بالا (BSL-۳ یا BSL-۴)، نیاز به تعامل میان معمار و تیم های فنی حیاتی است. برای مثال: مهندس تأسیسات مشخص می کند تهویه و فشار هوا چگونه باید عمل کند؛ مسئول ایمنی زیستی نحوه عبور و مرور کارکنان و کنترل آلودگی را مشخص می کند؛ معمار این الزامات را در قالب نقشه های اجرایی و طراحی های فضایی پیاده سازی می کند. این نوع همکاری، نه تنها کیفیت فنی پروژه را بالا می برد، بلکه الگو هزینه و زمان ساخت را نیز بهبود می بخشد.	طراحی با مشارکت متخصصان فنی (مهندسان، بهداشت، ایمنی زیستی)
مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شانگهای یک نمونه موفق از همکاری بین رشته ای در طراحی آزمایشگاه است. در طراحی این مرکز، معماران ابتدا با گروهی از دانشمندان و کارشناسان آزمایشگاهی جلسات مشترک برگزار کردند. نتایج این تعامل به طراحی راهروهای اختصاصی برای ورود و خروج نمونه ها؛ فضاهای استراحت با نور طبیعی برای کاهش خستگی کارکنان؛ و توسعه زیرساخت های منعطف برای تجهیزات آینده منجر شد. چندین پروژه بیمارستانی در ایران نیز از این قاعده نهایت استفاده را برده اند، از جمله می توان به طراحی بخش های آزمایشگاه بیمارستان هایی مثل شریعتی یا امام خمینی اشاره داشت که در آن از معماران دعوت شده تا در جلسات با کارکنان آزمایشگاه شرکت کنند و طراحی را بر اساس نیازهای عملیاتی انجام دهند. این	نمونه های از همکاری های موفق

کار باعث کاهش نارضایتی پس از بهره‌برداری شده است.	
معمار در پروژه‌های آزمایشگاهی فقط طراح فضا نیست؛ بلکه به‌نوعی مترجم نیازهای تخصصی به زبان فنی معماری است. او باید بتواند خواسته‌های علمی کاربران را به طراحی فضایی تبدیل کند؛ نیازهای تجهیزات را با زیرساخت هماهنگ کند؛ و در عین حال، حس آرامش، نظم و زیبایی‌شناسی فضا را حفظ نماید.	نقش معمار در تسهیل ارتباط علمی - فنی

منبع: نگارندگان

آینده پژوهی

برای جنبه‌های نوآورانه و آینده‌نگر در طراحی فضاهای آزمایشگاهی می‌توان بیان داشت که با پیشرفت‌های سریع در علم و فناوری، طراحی فضاهای آزمایشگاهی هم از حالت سنتی خارج شده و به سوی مفاهیم هوشمند، پایدار و انسان‌محور حرکت کرده است. امروزه معماران و طراحان با استفاده از فناوری‌های نو و رویکردهای جدید، محیط‌هایی می‌سازند که نه تنها کارآمد و ایمن هستند، بلکه با نیازهای روانی، محیطی و آینده‌محور کاربران نیز هم‌راستا می‌باشند.

• طراحی انسان‌محور (Human-Centered Design)

در گذشته، تمرکز طراحی آزمایشگاه‌ها بیشتر بر تجهیزات و استانداردهای فنی بود. اما امروزه توجه زیادی به سلامت روان، رفاه و بهره‌وری کاربران می‌شود. برخی نوآوری‌های این حوزه عبارت‌اند از؛ استفاده از نور طبیعی و پنجره‌های بزرگ برای بهبود روحیه کارکنان؛ طراحی فضاهای استراحت با حس آرامش برای کاهش استرس؛ استفاده از رنگ‌های ملایم، عناصر طبیعی (مثل گیاهان) و مواد غیرسمی؛ ایجاد فضاهای انعطاف‌پذیر برای همکاری‌های تیمی و جلسات فوری.

• طراحی پایدار و سازگار با محیط زیست (Sustainable Design)

آزمایشگاه‌ها از پرمصرف‌ترین فضاهای ساختمانی از نظر انرژی، آب و مواد شیمیایی هستند. بنابراین رویکردهای نوین معماری سعی دارند با استفاده از طراحی سبز، این اثرات را کاهش دهند؛ استفاده از سیستم‌های بازیافت انرژی در تهویه و گرمایش؛ نورپردازی LED کم‌مصرف با حسگر حرکت؛ استفاده از مصالح بازیافتی یا کم‌کربن در ساخت؛ طراحی سیستم جمع‌آوری و فیلتراسیون آب مصرفی برای استفاده مجدد. لازم به ذکر است که برخی از پروژه‌ها موفق به دریافت گواهی‌های بین‌المللی مانند LEED for Labs یا BREEAM شده‌اند که نشان‌دهنده پایبندی به اصول معماری پایدار است.

• ادغام فناوری‌های هوشمند و دیجیتال

با پیشرفت اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی و ابزارهای دیجیتال، آزمایشگاه‌های مدرن در حال تبدیل شدن به محیط‌هایی کاملاً هوشمند هستند؛ کنترل خودکار دما، نور و تهویه بر اساس فعالیت‌های در حال انجام؛ سنسورهای هوشمند برای کنترل کیفیت هوا، دما، رطوبت و ایمنی زیستی؛ مدیریت داده‌ها و تجهیزات از طریق پنل‌های مرکزی دیجیتال؛ استفاده از سیستم‌های شبیه‌سازی سه‌بعدی (BIM) در طراحی برای بررسی عملکرد پیش از ساخت می‌باشند. این تکنولوژی‌ها نه تنها به کاهش مصرف انرژی و افزایش ایمنی کمک می‌کنند، بلکه بهره‌وری کاربران را نیز افزایش می‌دهند.

• آینده معماری آزمایشگاه: نگاه به فردا

آینده معماری آزمایشگاه‌ها به سمت تلفیق بیشتر با فناوری‌های نو و همکاری‌های بین‌رشته‌ای پیش می‌رود. در این چشم‌انداز فضاها بیش از پیش قابل تطبیق با نیازهای متغیر خواهند بود؛ استفاده از مواد هوشمند (مثل پنل‌های خودتنظیم‌شونده حرارتی) گسترش می‌یابد؛ طراحی‌ها بر پایه‌ی تحلیل رفتار انسانی، داده محور و الگوریتمیک انجام خواهند شد. به طور کلی باید گفت که نوآوری در طراحی آزمایشگاه فقط مربوط به تکنولوژی نیست، بلکه شامل بازنگری در نگاه ما به فضا، انسان و محیط نیز هست. با در نظر گرفتن اصول انسان‌محور، پایداری زیست‌محیطی و استفاده از فناوری‌های هوشمند، معماران می‌توانند آزمایشگاهی طراحی کنند که نه تنها پاسخگوی نیازهای امروز هستند، بلکه برای آینده نیز آماده‌اند.

نتیجه‌گیری

مهندسی معماری و علوم آزمایشگاهی، اگرچه در ظاهر دو حوزه متفاوت به نظر می‌رسند، اما در حقیقت به‌صورت عمیق و حیاتی به یکدیگر وابسته‌اند. طراحی فضاها در آزمایشگاهی نه تنها به دانش فنی معماری بلکه به فهم دقیق نیازهای علمی و بهداشتی این فضاها وابسته است. معماران با به‌کارگیری استانداردهای فنی، شناخت نیازهای کاربران و استفاده از رویکردهای نوین مانند طراحی ماژولار، پایدار و انسان‌محور، می‌توانند فضاهایی خلق کنند که ایمنی، کارایی و رفاه را به‌طور هم‌زمان تامین نمایند. همکاری نزدیک میان معماران، متخصصان علوم آزمایشگاهی و تیم‌های فنی، کلید موفقیت در ایجاد محیط‌هایی است که به پیشرفت علم و ارتقای سلامت جامعه کمک می‌کنند. در آینده، با پیشرفت فناوری‌های هوشمند و افزایش توجه به پایداری محیطی، نقش معماری در طراحی آزمایشگاه‌ها اهمیت و پیچیدگی بیشتری خواهد یافت. بنابراین، بررسی‌ها نشان می‌دهد که «معماری در خدمت سلامت» با علوم آزمایشگاهی پیوندی عمیق و کاربردی دارد. طراحی فضاها در آزمایشگاهی، مراکز تحقیقاتی و بیمارستانی زمانی موفق است که اصول بهداشت، ایمنی و سلامت در آن لحاظ شود. رعایت مسیرهای تفکیک‌شده برای مواد آلوده و پاک، تهویه تخصصی، نورپردازی استاندارد و انتخاب مصالح غیرسمی همگی مصادیقی از این پیوند هستند. در چنین محیط‌هایی معماری می‌تواند نقش مستقیم در کاهش آلودگی، پیشگیری از انتشار بیماری‌ها و ارتقای کیفیت نتایج آزمایشگاهی ایفا کند. از سوی دیگر علوم آزمایشگاهی با ارائه داده‌ها و استانداردهای دقیق به معماران کمک می‌کند تا طراحی خود را بر اساس شواهد علمی پیش ببرند. این تعامل باعث می‌شود ساختمان‌ها نه تنها کارکرد فنی داشته باشند بلکه سلامت کارکنان، بیماران و کاربران را تضمین کنند. به این ترتیب معماری در خدمت سلامت به‌عنوان پلی میان زیبایی‌شناسی و عملکرد علمی عمل می‌کند و کیفیت فضاها در آزمایشگاهی و درمانی را ارتقا می‌دهد. در نهایت می‌توان گفت که همکاری نزدیک میان مهندسی معماری و علوم آزمایشگاهی زمینه‌ساز خلق محیط‌های کارآمد، ایمن و انسانی است که سلامت و رفاه جامعه را تضمین می‌کنند.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله مراتب قدردانی و سپاس صمیمانه خود را از حمایت‌ها و همکاری‌های ارزشمند مسئولین، اعضای هیئت علمی و کارکنان محترم دانشگاه علوم پزشکی ایلام در تمامی مراحل انجام این پژوهش ابراز می‌داریم. بی‌تردید راهنمایی‌های علمی و

پشتیبانی های عوامل این دانشگاه نقشی اساسی در پیشبرد و ارتقای کیفیت این مطالعه داشته است. همچنین از تمامی عزیزانی که به طور مستقیم یا غیرمستقیم در طراحی، گردآوری داده ها و تحلیل نتایج ما را یاری نمودند، صمیمانه سپاسگزاریم. امید است این گونه مقالات علمی در راستای اعتلای سلامت مردم و جایگاه اجتماعی دانشگاه علوم پزشکی ایلام مثمر ثمر باشد.

منابع

۱. موسوی، م. و شفیع، س. (۱۴۰۱). اصول طراحی و بهینه سازی فضاهای آزمایشگاهی در راستای ارتقای سلامت و ایمنی. مجله معماری و ساخت، ۹(۲)، ۴۵-۶۰.
۲. اکبری، ن. و صادقی، ف. (۱۴۰۰). طراحی معماری آزمایشگاه های مدرن بر مبنای استانداردهای ایمنی زیستی. نشریه علوم و فناوری پزشکی، ۸(۳)، ۹۵-۱۰۸.
۳. رضایی، ح. و مرادی، س. (۱۳۹۹). نقش معماری داخلی در کاهش آلودگی متقاطع در فضاهای درمانی و آزمایشگاهی. مجله معماری پایدار، ۵(۱)، ۳۵-۵۰.
۴. نادری، پ. (۱۴۰۲). کاربرد اصول مهندسی ساختمان در بهبود عملکرد کلین روم ها. کنفرانس ملی بهداشت و ایمنی محیط کار.
۵. یوسفی، م. و قنبری، ا. (۱۳۹۸). طراحی سیستم تهویه مطبوع در فضاهای آزمایشگاهی با تأکید بر کنترل آلودگی. فصلنامه مهندسی مکانیک و تاسیسات، ۴(۲)، ۶۷-۸۲.
۶. رحمانی، ح.، جعفری، م. و نادری، الف. (۱۳۹۸). بررسی اصول طراحی معماری آزمایشگاه های تشخیص طبی با رویکرد ایمنی و بهداشت. فصلنامه معماری و محیط، ۱۲(۳)، ۴۵-۵۶.
۷. کریمی، س. (۱۴۰۱). نقش نورپردازی و ارگونومی در طراحی فضاهای آزمایشگاهی. فصلنامه مهندسی معماری و تکنولوژی ساخت، ۹(۲)، ۸۷-۹۸.
۸. امامقلی، عقیل. (۱۳۹۲). کیفیت معماری محیط و رابطه آن با سلامت روان. کنفرانس ملی معماری و شهرسازی (انسانگرا).
[SID. https://sid.ir/paper/895207/fa](https://sid.ir/paper/895207/fa)
۹. معاونت درمان؛ آزمایشگاه مرجع سلامت معاونت توسعه مدیریت و منابع؛ دفتر توسعه منابع فیزیکی و امور عمرانی. ۱۳۹۴
۱۰. تقی لوئی، مهدی، ۱۴۰۰، کیفیت معماری محیط و رابطه آن با سلامت روان، چهارمین همایش ملی فناوری های نوین در مهندسی معماری، عمران و شهرسازی ایران، تهران،
<https://civilica.com/doc/1290991>
۱۱. WHO. (۲۰۲۰). Laboratory biosafety manual (4th ed.). World Health Organization.
۱۲. ISO ۱۴۶۴۴-۱:۲۰۱۵. Cleanrooms and associated controlled environments – Part ۱: Classification of air cleanliness by particle concentration.
۱۳. CDC. (۲۰۲۱). Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories (BMBL, 6th ed.). U.S. Department of Health & Human Services.
۱۴. ANSI/AIHA Z9.5-۲۰۱۲. Laboratory Ventilation Standard. American Industrial Hygiene Association.
۱۵. Schulster, L., & Chinn, R. Y. W. (۲۰۰۳). Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Morbidity and Mortality Weekly Report, 52(RR10), 1-42.
۱۶. Kumar, S., & Fisk, W. J. (۲۰۰۲). The role of ventilation in maintaining acceptable indoor air quality in laboratories. Indoor Air, 12(3), 221-228.
۱۷. Whyte, W. (۲۰۱۰). Cleanroom technology: Fundamentals of design, testing and operation. John Wiley & Sons.
۱۸. HSE. (۲۰۱۷). Design and construction of laboratories. Health and Safety Executive, UK.
۱۹. ISO ۱۵۱۹۰:۲۰۲۰. Medical laboratories – Requirements for safety
۲۰. Chmielewski, R., & Frank, J. F. (۲۰۰۳). Biofilm formation and control in food processing facilities. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2(1), 22-32.

۲۱. Laboy, M. (۲۰۱۹). Architectural Design of Research Laboratories. Routledge.
۲۲. World Health Organization (WHO). (۲۰۲۰). Laboratory biosafety manual (۴th ed.). Geneva: WHO Press.
۲۳. Smith, J., Taylor, K., & Zhang, Y. (۲۰۲۱). Cleanroom design for laboratory efficiency and contamination control. *Journal of Building Performance*, ۱۶(۴), ۲۵۱-۲۶۶.
۲۴. United States Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (۲۰۲۰). Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories (۶th ed.). Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
۲۵. Allen, M., & Iano, J. (۲۰۲۲). The Architect's Guide to Laboratory Planning. John Wiley & Sons.
۲۶. ANSI/AIHA Z9.۵-۲۰۲۱. (۲۰۲۱). Laboratory Ventilation. American National Standards Institute.