

## هیئت داوران نشریه این دوره

دکتر ابوالقاسمی، امین (دانشگاه تهران)

دکتر ارواح زاده، مریم (پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران)

دکتر اقبالی، حدیث (دانشگاه رفسنجان)

دکتر بابان زاده، سامال (پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران)

دکتر بختیاری، امید (دانشگاه رازی کرمانشاه)

دکتر بیگمردی، راضیه (دانشگاه اردکان)

دکتر تخت روانچی، مریم (شرکت ملی پتروشیمی)

دکتر تقی زاده، مجید (دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل)

دکتر خانی، محمدحسن (سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی

ایران)

دکتر خضرا آقا، حمید (دانشگاه صنعتی سهند)

دکتر خوبی، اسماء (دانشگاه سیستان و بلوچستان)

دکتر دانش‌فر، زهرا (دانشگاه یزد)

دکتر دشتی، علی (دانشگاه فردوسی مشهد)

دکتر رحمانی، محمد (دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

دکتر ردایی، علیرضا (دانشگاه یزد)

دکتر رستمی، خسرو (سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران)

دکتر سلمان تبریزی، نوشین (پژوهشگاه مواد و انرژی)

دکتر شریعتی‌نیا، زهرا (دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

دکتر شکرکار، هانیه (دانشگاه صنعتی سهند)

دکتر صالحی، کبری (دانشگاه آزاد اسلامی-واحد داراب)

دکتر عبادزاده، تورج (پژوهشگاه مواد و انرژی)

دکتر قائمی، احد (دانشگاه علم و صنعت ایران)

دکتر قربانپور خمسه، علی‌اصغر (پژوهشگاه علوم و فنون

هسته‌ای)

دکتر کاظم‌زاد آسیایی، محمود (پژوهشگاه مواد و انرژی)

دکتر کامیابی، عطاالله (دانشگاه شهید باهنر کرمان)

دکتر کلانی، محمدرضا (دانشگاه آزاد اسلامی-واحد تهران

جنوب)



## تحول دیجیتال در آزمایشگاه‌ها برای افزایش سرعت، دقت و کارایی

رحمت ستوده قره‌باغ

دانشکده فنی دانشگاه تهران

جعفر صادق مقدس

دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی سهند

استاندارد می‌کند و ضمن تضمین تکرارپذیری، خطاهای ناشی از تفاوت‌های فردی در روش آزمایش و یا نحوه تفسیر نتایج را کاهش می‌دهد.

۳- نظارت در زمان واقعی: مدیران و کارشناسان آزمایشگاه‌ها این امکان را خواهند داشت تا فرایندهای آزمایشگاهی را در زمان واقعی نظارت کنند که منجر به شناسایی و اصلاح خطاها در هنگام رخ دادن آن‌ها می‌شود. به‌عنوان مثال، در یک سامانه نظارت دیجیتال، اگر مشخصه‌ای خارج از محدوده مجاز باشد و یا فرایندی بیشتر از زمان مورد انتظار طول بکشد، اخطار لازم را به مسئولان آزمایشگاه ارسال می‌کند.

۴- بهبود دقت: تحول دیجیتال می‌تواند با کاهش تأثیر خطای انسانی، دقت را بهبود بخشد. برای مثال، با اتوماسیون آزمایشگاهی، آزمایش‌ها با دقت بالاتری نسبت به حالت دستی انجام می‌شود و خطاها به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد.

۵- تجزیه و تحلیل داده: در تحول دیجیتال، کارشناسان و محققان می‌توانند با سرعت و دقت، داده‌های بزرگ را تجزیه و تحلیل کنند. به‌عنوان مثال، می‌توان از نرم‌افزار برای تجزیه و تحلیل داده‌های حجیم استفاده کرد که ممکن است به‌صورت دستی بسیار زمان‌بر و طاقت‌فرسا باشد.

ارتقای دانش دیجیتال افراد شاغل در آزمایشگاه‌ها می‌تواند بر بهبود محیط کار روزمره اثر گذارد و باعث جلب مشارکت و همکاری درون آزمایشگاهی شود. سازماندهی داده‌های آزمایشگاهی، قابلیت ردیابی، تکرارپذیری نتایج و نگهداری آن‌ها و استفاده مجدد در طولانی‌مدت بسیار چالش برانگیز است. از نگاه استیو جابز - بنیان‌گذار و مدیر ارشد اجرایی شرکت اپل<sup>۲</sup> - بزرگ‌ترین

آزمایشگاه‌های آموزشی، پژوهشی و خدماتی باید با دنیای پر شتاب دیجیتال امروز سازگار شوند تا سرعت، بهره‌وری و دقت انجام فعالیت آن‌ها، به‌روشنی پایدار و اقتصادی افزایش یابد. کارکنان آزمایشگاه‌ها به‌طور معمول، تا ۲۵ درصد از زمان خود را صرف مدیریت موجودی و واردکردن دستی داده‌های مواد مصرفی - مانند حلال‌ها، معرف‌ها و کاتالیزورها - به سامانه می‌کنند.<sup>۱</sup> مدیریت ناکارآمد این موجودی‌ها می‌تواند منجر به هدر رفت مواد، کاهش دقت و عدم انطباق با استانداردها شود. این امر بر اعتبار یک آزمایشگاه و روحیه کارکنان آن، تأثیر منفی می‌گذارد. فناوری‌های جدید در کار روزانه، ارتباطات و مدیریت داده‌ها همراه با درس‌های گرفته‌شده در طول همه‌گیری ویروس کرونا دنیای آزمایشگاه‌ها را به‌سرعت تغییر می‌دهد. در این وجهه، شیوه‌های مدرن دستیابی به خدمات سریع‌تر و کم‌خطا در آزمایشگاه‌ها، بررسی و کنکاش می‌شود. این هدف واقع‌بینانه را می‌توان با تحول دیجیتالی که در قرن بیست‌ویکم، یک اقدام ضروری برای بهینه‌سازی کسب‌وکارها است، محقق کرد. با این تحول و چابکی، یک آزمایشگاه در فضای رقابتی رشد می‌کند و با بهبود تجربه مشتری و تجزیه و تحلیل داده‌های خام، داده‌های بهتری برای تصمیم‌گیری و بهبود در فرایندها تولید می‌شود.

تحول دیجیتال می‌تواند ارتباطات داخلی و بین‌المللی آزمایشگاه‌ها و رفتار کارشناسان و محققان شاغل در آن‌ها را بهبود بخشد. درحالت کلی، این تحول به چندین روش، سرعت، دقت و کارایی فرایندهای آزمایشگاهی را بهبود می‌بخشد:

۱- ورود خودکار داده: این روش انتقال داده می‌تواند از خطاهای مرسوم

که ممکن است در هنگام ورود دستی داده‌ها رخ دهد، بکاهد و اطمینان لازم برای ثبت ثابت و دقیق داده‌ها ایجاد می‌شود.

۲- استانداردسازی: تحول دیجیتال، فرایندهای آزمایشگاهی را

2. <https://scopeblog.stanford.edu/2011/11/02/steve-jobs-and-the-next-big-inter-section>, accessed on July 2023.

1. <https://content.knowledgehub.wiley.com/merck-from-manual-to-digital>, accessed on July 2023

نشان می‌دهد. از طرفی، جست‌وجوی مداوم برای اتخاذ روش‌های سازگار با محیط زیست، از جمله استفاده از حلال‌ها، معرف‌ها و کاتالیزورهای مناسب ادامه‌دار و روزآمد خواهد شد.

باید عنایت داشت که با نگاه کوچک‌سازی، آزمایشگاه‌ها طراحی مدولار به‌خود می‌گیرند و ضمن برخورداری از سطوح بالاتر اتوماسیون، استفاده مؤثر از روبات‌ها و مدیریت و تحلیل داده‌ها با امکانات امن و پایدار، فعالیت خواهند کرد. در این صورت، مفهوم آزمایشگاه با سرویس یا خدمت در محل، جای‌گزین و در صورت تقاضا با امکانات لازم با حفظ ایمنی، به محل مشتری ارسال می‌شود. در واقع با این تغییر روی کرد، آزمایشگاه‌ها یک مرکز ثابت و مستقل باقی نمی‌مانند که در انحصار یک حوزه یا گروه علمی باشد؛ بلکه یک زیست‌بوم نوآوری خواهد بود که متعلق به همه است و قابلیت پیگیربندی شخصی را خواهد داشت. از دیگر سو، در آزمایشگاه‌های هیجان‌انگیز آینده و در فضای مشارکتی جدی و پایدار، بی‌شک داده‌ها (خام و فرآوری شده) به‌عنوان دارایی اصلی در زنجیره ارزش شرکت‌ها خواهد بود که باید اطمینان لازم برای ذخیره‌درست و محافظت دقیق از داده‌ها انجام گیرد. در پردازش داده‌ها و ایجاد بهره‌وری بالا، فناوری‌های جدید مانند محاسبات کوانتومی، هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی در یک پارچه‌سازی اتوماسیون و به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها نیز نقش مؤثری ایفا خواهند کرد. در نهایت، در محیط‌های آزمایشگاهی دیجیتال، هم‌گام با فناوری‌های نوظهور و پیشتاز، پژوهش، نوآوری و فناوری به‌سرعت پیش خواهند رفت و بدون شک تغییرات، بسیار سریع و غیر قابل پیش‌بینی خواهند بود و با اطمینان می‌توان گفت که ظهور فناوری‌های هم‌افزا و هم‌گرا که امروزه قابل تصور نیست، به‌طور چشم‌گیری ساختارها و رخدادهای آزمایشگاه‌های آینده را رقم خواهد زد.

یکی دیگر از فواید اصلی دیجیتالی شدن این است که دسترسی به داده‌ها آسان‌تر و بنابراین امکان بیشتر هم‌کاری و پیشرفت در علم فراهم می‌شود. همچنین، از آنجایی که داده‌ها به مجموعه داده‌های بزرگ‌تری افزوده می‌شوند، می‌توان روندها را در مقیاس بزرگ‌تری با استفاده از هوش مصنوعی تجزیه و تحلیل کرد.

با این حال، یکی از چالش‌های اصلی تحول دیجیتال، مدیریت حجم عظیمی از داده‌هایی است که در یک آزمایشگاه ذخیره می‌شود. این امر مستلزم آن است که تمام اسناد کاغذی به فرمت دیجیتال تبدیل شوند که زمان‌بر و پرهزینه است؛ ولی برای یک پارچگی طولانی مدت یک آزمایشگاه دیجیتال ضروری است. چالش دیگر تحول دیجیتال، امنیت دیجیتال است. هنگامی که دیجیتالی شدن آغاز شود، یک سامانه کنترل قوی مورد نیاز است تا اطمینان حاصل شود که فقط افراد مجاز خاصی دسترسی دارند. یک مسیر نظارت قوی نیز برای تغییرات ایجادشده در داده‌ها و اطمینان از محدودبودن آن به افراد مربوطه لازم است. این امر، برای یک پارچگی و شفافیت داده‌ها در حوزه علمی ضروری است. تمام این چالش‌های دیجیتالی شدن آزمایشگاه‌ها، هزینه مالی بالایی به‌همراه دارد تا این تغییرات اجرایی شود و کارکنان آموزش ببینند.

نوآوری‌های قرن بیست‌ویکم در فصل مشترک علوم زیستی و فناوری اتفاق خواهد افتاد و در این تکامل، محیط آزمایشگاهی نقش محوری خواهد داشت که این امر منجر به تکامل و تغییر در محیط و فضای علمی آزمایشگاه‌ها می‌شود. در آزمایشگاه‌های آینده<sup>۳</sup>، کارشناسان و محققان شاغل در آن‌ها با رویکردهای مشارکتی و فراآزمایشگاهی در یک فضای تحقیق و توسعه، ضمن مشارکت با هم‌دیگر، با مواد و روش‌های کار آزمایشگاه‌های همکار و مرجع آشنا می‌شوند و بدین صورت، موانع همکاری برطرف می‌شود. از طرفی با به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها، نتایج، روش‌ها و ابزارهای پژوهشی و سایر محتواهای علمی بدون هیچ‌گونه محدودیت، توسعه همکاری‌های بینارشته‌ای برای حل مسائل پژوهشی و توسعه دانش تسهیل می‌شود. از دیگر سو، کار در چنین آزمایشگاه‌هایی در کنار تأثیر هم‌زمان فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی - مانند تلفن‌های هوشمند - از نگرش‌ها، فرهنگ‌ها و ذهنیت‌های بازاری با توسعه علمی سازگار می‌شود.

در تحول دیجیتالی، شکل ظاهری آزمایشگاه‌ها، مشتریان و فرهنگ‌ها، پیشرفت‌های فرایند و بهینه‌سازی، بهبود مدیریت داده‌ها، محیط و نحوه طراحی آزمایشگاه‌ها برای انطباق با دستورالعمل‌ها و استانداردها باعث هم‌افزایی می‌شود. هم‌چنین رباتیک و اتوماسیون به‌طور پررنگ در روش‌ها و فرایندها ظاهر می‌شود. با این حال، با سامانه‌سپاری بیشتر فعالیت‌ها و اتوماسیون فرایندها و روش‌های کار، تراکم افراد شاغل در آزمایشگاه کاهش می‌یابد و در این صورت، محققان زمان بیشتری را بر روی نوآوری و جنبه‌های کلیدی آزمایش‌ها صرف می‌کنند. در شرایط جدید، تعامل مؤثرتری بین نیروی انسانی با تجهیزات از راه اتوماسیون با در نظر گرفتن دستورالعمل‌ها و استانداردها ایجاد می‌شود و نه تنها ایمنی آزمایشگاه‌ها ارتقا می‌یابد؛ بلکه نیاز آزمایشگاه‌ها به جذب نیروی انسانی با تجربه کمتر می‌شود. البته در این صورت، حفظ نیروی انسانی و ایجاد شرایط بهتر برای کار، دوچندان مهم می‌شود. به علاوه، محیط‌های آزمایشگاهی به‌طور گسترده با فناوری‌های جدیدی مانند هوش مصنوعی، واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و تشخیص صدا، هوشمندانه کنترل می‌شود و تجربه آزمایشگاهی ابعاد گسترده‌ای می‌پذیرد.

در تحول دیجیتال در کنار چالش‌های احتمالی، یک محرک قوی دیگر به‌نام توسعه پایدار، تغییرات جدی را در فرایندهای آزمایشگاهی و مشتری‌مداری ایجاد خواهد کرد<sup>۴</sup>. به‌اعتقاد جیمز کانلی مدیرعامل یک سازمان مردم‌نهاد در حوزه تحقیقات پایدار، آزمایشگاه‌ها ۱۰ برابر بیشتر از یک فضای تجاری و اداری انرژی و ۵-۳ برابر بیشتر آب مصرف می‌کنند<sup>۵</sup>. در کنار این مصارف قابل اعتنا، آن‌ها مقدار قابل توجهی مواد پلاستیکی و پسماندهای خطرناک نیز تولید می‌کنند؛ در حالی که در فرایند توسعه پایدار، آزمایشگاه‌ها باید طوری طراحی و اداره شوند که استفاده بیش‌ازحد از مواد شیمیایی و بیولوژیکی خطرناک - در مراحل آماده‌سازی، انجام آزمایش‌ها و پاک‌سازی محیط‌های آزمایش - به حد اقل مقدار خود برسد. این الزام، باعث خواهد شد که کوچک‌سازی فرایندهای آزمایشگاهی، به‌ویژه در آزمایشگاه‌های آموزشی، تحقیقاتی، خدماتی و تشخیصی اهمیت مضاعفی یابد. آزمایشگاه روی یک تراشه<sup>۶</sup> یک نمونه موفق از این کوچک‌سازی را

3. Lab of the Future (LotF)

4. <https://content.knowledgehub.wiley.com/merck-from-manual-to-digital>, accessed on July 2023.

5. <https://cen.acs.org/sponsored-content/waste-not.html>, accessed on July 2023.

6. Lab on a Chip