ستاد توسعه زیست فناوری

معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری

مروری بر دفترچه آزمایشگاهی الکترونیکی

گردآوری و تدوین

فاطمه اعرابی جشوقانی

استاد ناظر و مشاور

دکتر فاطمه جوادی زرنقی

زمستان ۱۴۰۲ و بهار ۱۴۰۳

فهرست مطالب

مقدمه ۳

دفترچه‌های آزمایشگاهی الکترونیکی (ELN) ۴

مزایای کلیدی ELN ۱۱

ویژگی‌های کلیدی یک ELN کارآمد ۱۵

سیستم مدیریت اطلاعات آزمایشگاهی و سیستم مدیریت موجودی ۱۹

دسته‌بندی دسترسی به ELN ها ۲۱

اتوپیا (آرمان شهر) ELN های مرتبط با زیست‌فناوری ۲۲

مروری بر ویژگی‌های کلیدی تعدادی از ELN ها ۲۴

LabArchives ۲۵

LabArchives ELN ۲۵

ویژگی‌های LabArchives ELN ۲۸

ادغام LabAchives ELN با سایر برنامه‌ها ۳۲

ابزارک‌ها در LabArchives ۳۳

LabArchives Inventory ۳۵

LabArchives Scheduler ۳۷

ویژگی‌های LabArchives Scheduler ۳۸

معرفی برنامه SnapGene ۴۰

Labforward ۴۴

Labfolder ۴۴

ویژگی‌های ELN در Labfolder ۴۵

Labregister ۴۹

elabFTW ۵۱

eLabNext ۵۵

eLabJournal ۵۶

ویژگی‌های کلیدی eLabJournal ۵۷
eLabInventory ۶۰
ویژگی‌های کلیدی eLabInventory ۶۰
eLabProtocols ۶۱
ویژگی‌های کلیدی eLabProtocols ۶۲
eLab Marketplace ۶۵
اپلیکیشن موبایل eLabNext ۶۶
گزینه‌های میزبانی در eLabNext ۶۷
Scilligence ۶۹
ویژگی‌های کلیدی Scilligence ELN ۷۰
RSpace ۷۳
ویژگی‌های کلیدی ELN در برنامه RSpace ۷۴
Labguru ۷۶
Labguru ELN ۸۰
Labguru Inventory Management System ۸۳
Labguru LIMS ۸۹
Labguru Equipment Management ۹۱
راهکارهای مبتنی بر هوش مصنوعی Labguru ۹۵
Benchling ۱۰۱
Benchling ELN ۱۰۲
Benchling Molecular Biology ۱۰۵

مقدمه

در حال حاضر ۸۰ درصد از داده‌های تحقیقاتی طی ۲۰ سال از میان می‌روند. به طور متوسط بین انجام یک آزمایش و ثبت آن سه هفته تاخیر زمانی وجود دارد. این تاخیر زمانی بی‌نظمی کارهای تحقیقاتی را به دنبال داشته و به صورت مستقیم بر تکرارپذیری داده‌های علمی اثر می‌گذارد. پیش‌بینی شده است که اکنون بیش از ۵۰ درصد تحقیقات غیرقابل تکرار هستند. تکرارپذیری داده‌ها برای شرکت‌های تحقیق و توسعه اهمیت بالایی داشته و تنها در آمریکا سالانه ۲۸ میلیارد دلار هزینه به همراه دارد. ۶۰ درصد از محققان نمی‌توانند نتایج خود را مجددا گزارش کنند، و بیش از ۷۰ درصد از آنها قادر به ارائه مجدد داده‌های سایر محققان نیستند. عدم تکرارپذیری داده‌ها یکی از دلایل زمان‌بر بودن ورود یک دارو از آزمایشگاه به بالین محسوب می‌شود.

در کنار میلیون‌ها نشریه تحقیقاتی جدید در سال، میلیون‌ها مدخل دفترچه یادداشت آزمایشگاهی نیز ایجاد می‌شود. استفاده از دفترچه یادداشت‌های آزمایشگاهی در دو قالب فیزیکی و دیجیتالی در راستای ثبت و حفظ داده‌ها در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی و شرکت‌های تحقیق و توسعه به فرآیندی کاربردی تبدیل شده است. این دفترچه یادداشت‌های آزمایشگاهی حاوی ابرداده‌های مهمی هستند که تفاوت‌های ظریف کار آزمایشگاهی را منعکس می‌کنند. توانایی دسترسی آسان، ثبت و اشتراک‌گذاری داده‌های دفترچه یادداشت‌های آزمایشگاهی به محققان این اجازه را می‌دهد تا به سرعت مفاهیم کاربردی را از نتایج حاصل از آزمایش‌ها استنتاج کنند. این ویژگی‌ها به تکرارپذیری در آزمایش‌ها نیز کمک می‌کنند. زمینه‌های تحقیقاتی مشترک و یا چند رشته‌ای و میان رشته‌ای به روش‌های کارآمد برای جمع‌آوری و به اشتراک‌گذاری مدخل‌های دفترچه یادداشت بین طیف متنوعی از دانشمندان در نقاط مختلف جغرافیایی نیاز دارند.

در این گزارش ابتدا به معرفی دفترچه‌های آزمایشگاهی الکترونیکی و مزایای آنها پرداخته شده است. سپس، به مزایا و ویژگی‌های کلیدی یک دفترچه آزمایشگاهی الکترونیکی کارآمد، انواع مجوزها و میزبانی‌های آنها اشاره شده است. در نهایت، فهرستی از ابزارهای موجود و جزئیات برخی از ابزارهای بیشتر شناخته شده با کارآیی بالاتر ارائه شده است. این گزارش چارچوبی را برای بررسی اولیه دفترچه یادداشت آزمایشگاهی الکترونیکی و ارزیابی برخی از بسته‌های نرم‌افزاری دردسترس فراهم می‌سازد.

دفترچه‌های آزمایشگاهی الکترونیکی[1] (ELN)

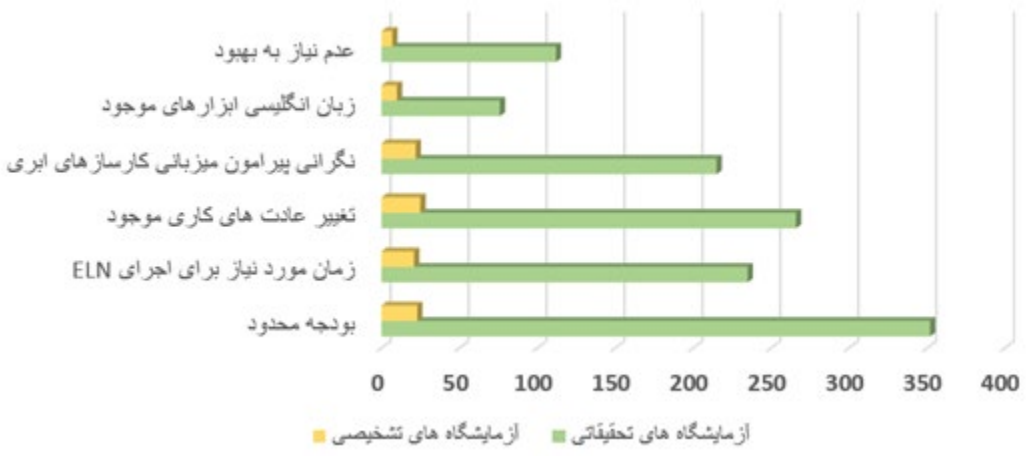
دفترچه آزمایشگاهی الکترونیکی که در این گزارش با ELN شناخته می‌شود، ابزاری برای مستندسازی و مدیریت تحقیقات علمی است. این ابزار برای ثبت نتایج حاصل از آزمایش‌های فردی، تجزیه و تحلیل نمونه‌ها و مدیریت عملکرد کلی محیط آزمایشگاه کاربرد دارند. آزمایشگاه‌ها روزانه حجم انبوهی از داده را تولید می‌کنند که امنیت و صحت این اطلاعات برای موفقیت تحقیق بسیار اهمیت دارد. در گذشته، داده‌های آزمایش تنها به صورت کاغذی نگهداری می‌شد (شکل ۱). پس از آن، در کنار ثبت فیزیکی، استفاده از نرم‌افزارهای عمومی مانند صفحات گسترده و پایگاه‌های داده برای مدیریت داده‌ها کاربرد پیدا کرد. امروزه این روش‌ها دیگر قادر به رسیدگی به خروجی وسیع و الزامات امنیتی سخت‌گیرانه یک آزمایشگاه مدرن نیستند.

شکل ۱ صفحه‌ای از دفترچه یادداشت آزمایشگاهی الکساندر گراهام بل، ۱۸۷۶ (سمت چپ بالا)، صفحه‌ای از دفترچه یادداشت آزمایشگاهی اتو هان، ۱۹۳۸ (سمت راست بالا)و صفحه‌ای از دفترچه یادداشت آزمایشگاهی ماری کوری، ۱۹۱۰ (پایین).

اکثر محققان از دفترچه‌های کاغذی برای ثبت یادداشت آزمایش‌های خود استفاده می‌کنند. ۳۷ درصد از محققان به صورت روزانه و ۲۹ درصد از آنها به صورت هفتگی دفترچه های آزمایشگاهی خود را به‌روز می‌کنند و ۳۴ درصد از آنها در واقع آزمایش‌های خود را یادداشت نمی‌کنند. مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۸ در دانشکده پزشکی دانشگاه سائوپائولو، به کمک مصاحبه با ۳۱ نفر از افراد وابسته به

[1] Electronic Lab Notebook (ELN)

علم متشکل از تکنسین‌ها، محققین، دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری، و محققان پسادکتری نشان داد که بیش از ۹۰ درصد از افراد مصاحبه کننده با سیستم‌های ELN آشنایی ندارند. در مطالعه‌ی دیگری در سال ۲۰۱۷، کانزا و همکاران. به کمک یک نظرسنجی از ۱۶۹ کاربر شرکت کننده در یک مطالعه آزمایشی پیرامون ELN ها، گزارش دادند که بودجه مالی محدود و زمان مورد نیاز برای اجرای ELN از نگرانی های اصلی پیرامون استفاده از این سیستم‌ها به شمار می‌آید (شکل ۲).



شکل ۲ نگرانی‌های اصلی مطرح شده پیرامون استفاده از سیستم‌های ELN در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی و تشخیصی. منبع: Journal of Cheminformatics volume ۹, Article number: ۳۱ (۲۰۱۷).

تفاوت بین تعامل با کاغذ و دفترچه‌های آزمایشگاهی الکترونیکی در نهایت انتخاب بین زمان و هزینه است. دفترچه‌های آزمایشگاهی کاغذی راه‌حلی ارزان قیمت هستند، اما امکانات ELN ها، مانند جست‌وجو، اشتراک‌گذاری و پشتیبان‌گیری از داده‌ها از نظر زمانی ارزشمند هستند. در مقابل، پیاده‌سازی و نگهداری بیشتر ELN ها در مقایسه با دفترچه‌های کاغذی نسبتاً پرهزینه است، اما عملکرد بسیار بیشتری را با هزینه زمانی بسیار کمتر در اختیار محقق قرار می‌دهند. اقداماتی مانند جست‌وجو، مرتب‌سازی، اشتراک‌گذاری و بایگانی می‌تواند در ELN ها در مقایسه با دفترچه‌های آزمایشگاهی کاغذی بسیار سریع باشد.

دفترچه یادداشت آزمایشگاهی کاربردهای متنوع و متعددی را برای محققان به ارمغان می‌آورد. ثبت آزمایش‌ها و فعالیت‌های انجام شده، توصیف پروتکل‌های آزمایشگاهی استاندارد، ثبت مستقیم داده‌های اصلی بدست آمده از آزمایش‌ها، ارائه ابرداده‌های مورد نیاز برای تفسیر داده‌های دیگر، تکمیل فرادادهای رسمی مانند پارامترهای آزمایش و شرایط کنترلی از جمله این کاربردها است. این ویژگی‌ها تجزیه و تحلیل داده‌ها و تفسیر آنها را تسهیل می‌بخشند.

از آنجایی که تحقیقات عمدتا به سمت دیجیتالی شدن به پیش می‌روند، دانشمندان این امکان را دارند که از ELN ها برای ثبت داده‌ها و دسترسی به ورودی‌ها استفاده کنند. ELN ها اساساً وسیله‌ای برای دیجیتالی کردن ورودی‌ها در نقطه ایجاد هستند و امکان پردازش محاسباتی داده‌ها را تیز فراهم می‌سازند. از دهه ۱۹۹۰، مقالات حوزه فناوری پذیرش قریب‌الوقوع و گسترده ELN ها را توسط محققان پیش‌بینی کرده‌اند. هنوز این پذیرش به طور کامل مشاهده نمی‌شود، با این حال تعداد روزافرونی از محققان و شرکت‌های زیست‌فناوری به سمت جایگزینی کامل دفترچه‌های آزمایشگاهی فیزیکی با ELN ها قدم بر داشته‌اند. پیش‌بینی شده است که بازار ELN ها تا سال ۲۰۲۹ به ارزش ۷۸۷/۷ میلیون دلار رشد داشته باشد.

ELN ها ابزارهایی هستند که به محققان در مستندسازی آزمایش‌ها کمک می‌کنند و اغلب دارای ویژگی‌هایی مانند ارائه الگوهای پروتکل قابل تکرار، ابزارهای همکاری، پشتیبانی از امضای الکترونیکی و توانایی مدیریت موجودی آزمایشگاه می‌باشند. این سیستم ها نسبت به دفترچه‌های کاغذی می‌توانند به راحتی نیازهای حجم وسیع، پیچیدگی، دسترسی و نیز نگهداری از داده‌ها را برآورده سازند.

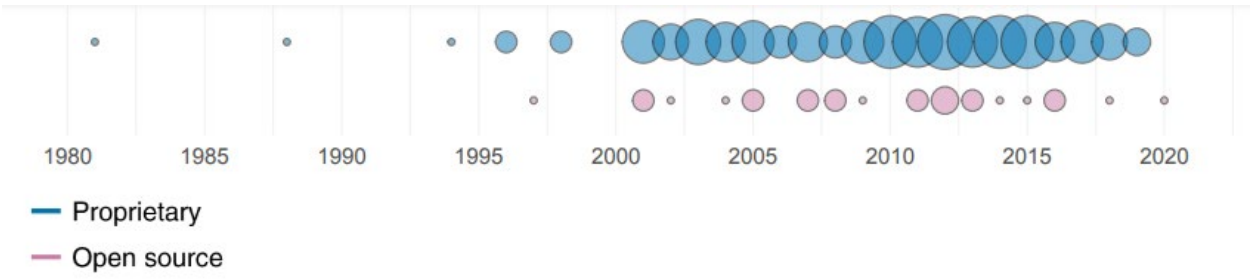
در مجموع، یک ELN می‌تواند به صورت همزمان پیدایش ایده‌ها و فرآیند تصمیم‌گیری را مستند سازد. علاوه بر این، به اشتراک-گذاری موفقیت‌آمیز این اطلاعات برای محقق و همکاران آن که تلاش می‌کنند فرآیند آزمایش و نتایج حاصل از آن را تکرار کنند، بسیار کاربردی خواهد بود. در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی، شرکت‌ها و موسسات، دفترچه‌های آزمایشگاهی مستنداتی از انجام کار را برای مدیران ارائه می‌دهند، مسئولیت‌پذیری داخلی را تقویت می‌بخشند، سوابق قانونی برای نشان دادن انطباق با مقررات وضع شده را فراهم می‌سازند و به صورت بالقوه به حمایت از مالکیت معنوی داده‌ها کمک می‌کنند.

ELN ها از اواخر دهه ۱۹۵۰ به اشکال مختلف مطرح شده‌اند. در دهه ۱۹۸۰، نرم‌افزارهایی مانند RS/۱ متعلق به شرکت Bolt Beranek and Newman Inc. امکان ذخیره، تجزیه و تحلیل و اظهار نظر بر روی داده‌ها را برای محققان فراهم ساخت. ELN ها به عنوان ابزاری برای بهبود تکرارپذیری تحقیقات با تسهیل انتقال جزئیات آزمایشگاهی ضروری در میان محققان یک تیم و یا در میان گروه‌های تحقیقاتی مختلف ارائه می‌شوند. ثبت، دسترسی و حفظ سوابق مبتنی بر کاغذ می‌تواند کند و ناکارآمد باشد و ادغام آن با سایر سیستم‌های مدرن جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها امکان‌پذیر نیست.

تحقیقات برای تجزیه و تحلیل و ارائه داده‌ها بر محاسبات متکی است. بنابراین، ذخیره ورودی‌های دفترچه یادداشت آزمایشگاهی در قالب دیجیتال به محققان اجازه می‌دهد تا در هنگام پردازش داده‌ها، به‌طور یکپارچه محاسبات را در کنار داده‌های ورودی قرار دهند. با این حال، ELN ها یک راه‌حل ثابت برای همه نیازها و سیستم‌ها نیستند. قبل از استقرار ELN، بسیار مهم است که الزامات

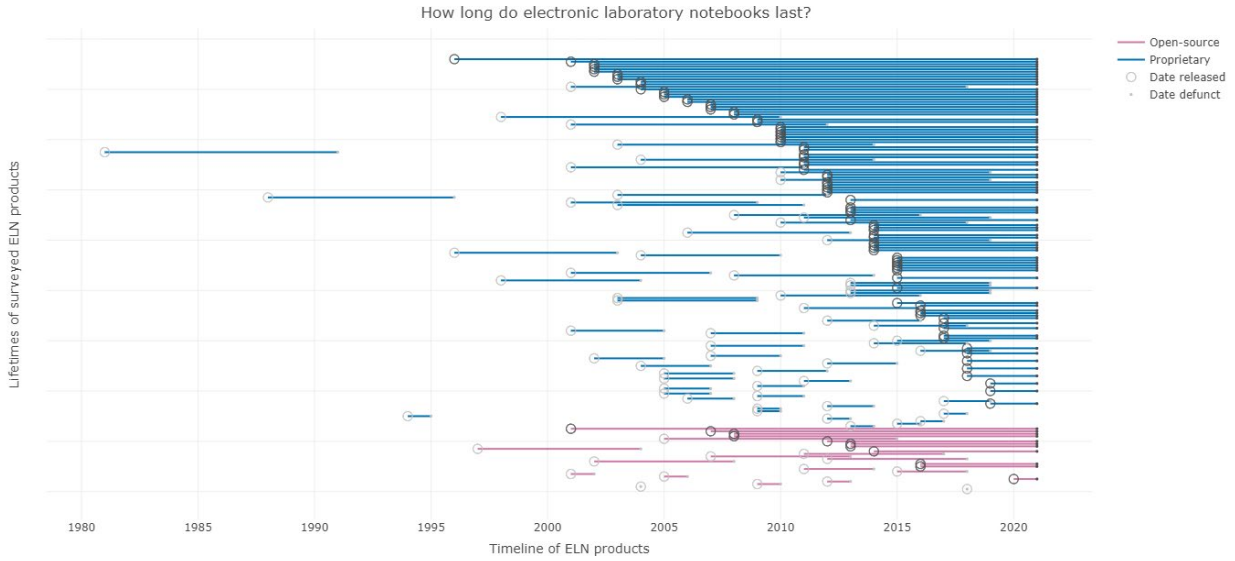
کاربران و هم‌چنین مزایا و معایب رویکردهای مختلف، به درستی درک شوند تا از ایجاد سیستمی که در واقع به جای بهبود بهره‌وری به عنوان یک مانع عمل کند، جلوگیری شود.

هنگام در نظر گرفتن هر سیستم ELN، باید مزایای ایجاد فرصت بیشتر برای اختصاص زمان به تحقیق و بهبود انتقال دانش و تکرارپذیری تجربی در مقابل هزینه‌های مالی در نظر گرفته شود. تشخیص اینکه چه کسی این هزینه‌ها را متحمل خواهد شد، اهمیت دارد. برای مثال، تکیه بر کاربران برای تامین دستگاه محاسباتی خود برای دسترسی به ELN، این هزینه را به طور موثر به محقق منتقل می‌کند. این امر ممکن است باعث شود که محققان از پذیرش ELN ها فاصله بگیرند. اگر آزمایشگاهی از قبل تعداد کافی ایستگاه‌های کاری متصل به شبکه داشته باشد، این هزینه برای اعضای آزمایشگاه کاهش می‌یابد. در غیر این صورت، می‌تواند بخش قابل توجهی از هزینه اجرای کلی را تشکیل دهد.



شکل ۳ تعداد محصولات ELN معرفی شده در هر سال. محصولات ارائه شده به پایگاه‌های کد اختصاصی (آبی) و منبع باز (صورتی) تفکیک شده و بر اساس این دو دسته طبقه‌بندی شده‌اند. منبع: Nature Protocols volume ۱۷, pages۱۷۹–۱۸۹ (۲۰۲۲).

تعداد ELN ها به طور چشمگیری در ۲۰ سال گذشته افزایش یافته است (شکل ۳). با این حال، در این بازار همه محصولات ELN ارائه شده با موفقیت همراه نبوده‌اند. تعداد قابل توجهی از بسته‌های نرم‌افزاری تجاری و منبع باز در نهایت از بین رفته‌اند. طول عمر یک ELN به صورت میانگین ۷±۴/۴ سال پیش‌بینی شده است (شکل ۴). میانگین طول عمر به ترتیب به ۴/۴ ±۶ و ۷±۴/۴ سال برای پایگاه های کد منبع باز و اختصاصی محاسبه شده است. ELOG متعلق به موسسه Paul Scherrer طولانی‌ترین ELN منبع باز شناخته شده است که به مدت ۲۰ سال فعال بوده است. Gene Inspector به عنوان یک ELN با کد اختصاصی، متعلق به شرکت .Textco BioSoftware, Inc به مدت ۲۵ سال فعال بوده است.



شکل ۴ طول عمر هر ELN. داده‌ها به پایگاه‌های کد اختصاصی (آبی) و منبع باز (صورتی) تفکیک شده و بر اساس این دو دسته طبقه‌بندی شده‌اند. منبع: (۲۰۲۲) ۱۸۹–۱۷۹ ,Nature Protocols volume ۱۷.

تصاحب شرکت، تغییرات در بازار تجاری و عدم پشتیبانی توسعه‌دهنده یا عدم تامین بودجه برای پروژه‌های منبع باز، همگی می‌توانند منجر به از بین رفتن این دسته از ELN ها شوند. پشتیبانی بلندمدت و دسترسی به داده‌ها باید دغدغه اصلی هنگام پیاده‌سازی یک ELN باشد. رویکردهای استخراج و بایگانی داده‌ها در قالب‌های قابل دسترس باید بخشی از سازوکار استقرار هر سیستم مدیریت داده در نظر گرفته شود.

هزینه، سفارشی‌سازی، امنیت و شفافیت از جمله مزایای برنامه‌های منبع باز است. سرویس‌های ابری می‌توانند در هر زمان تعطیل شوند، خریداری شوند یا خط‌مشی حفظ حریم خصوصی خود را تغییر دهند، با استفاده از سیستم‌های منبع باز کنترل در دست کاربر قرار دارد. از آنجایی که کد این دسته از ELN ها در دسترس است، توسعه‌دهندگان می‌توانند برنامه را تغییر داده و سفارشی کنند، تا نیازهای خاص آنها را برآورده سازد.

به طور کلی برنامه‌های منبع باز قابلیت شخصی‌سازی و تنظیم دارند. در مقابل ELN هایی با کد اختصاصی ممکن است به اندازه برنامه‌های منبع باز قابل تنظیم نباشند، که این امر می‌تواند برای شرکت‌هایی با الزامات خاص یک نقطه ضعف محسوب شود. در ELN هایی با کد دردسترس، کاربران از چگونگی عملکرد برنامه اطلاع دارند. این شفافیت به ویژه در ارتباط با داده‌های جمع‌آوری شده توسط برنامه اهمیت دارد و نگرانی‌های پیرامون حفظ حریم خصوصی را تا حدودی کاهش می‌دهد. در حال حاضر نگرانی‌هایی پیرامون گردآوری داده‌ها پیش از انتشار آنها برای مطالعات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین وجود دارد.

شناسایی الزامات یک آزمایشگاه معین، انتخاب ELN را تعریف و محدود می‌کند. آزمایشگاه‌های تحقیقاتی دانشگاهی معمولاً دارای طیف متنوعی از آزمایش‌ها، انواع داده‌ها و رشته‌ها هستند. در نتیجه، در چنین محیط‌هایی کاربران نیازمندی‌های متفاوتی از یک ابزار ELN را اظهار می‌کنند. اگرچه بسیاری از ELN ها محصولات تخصصی هستند که محققان را در یک حوزه خاص (مثلاً بیوشیمی یا فارماکولوژی) هدف قرار می‌دهند، اما ممکن است این موارد برای اکثر محققان مرتبط به اندازه کافی انعطاف‌پذیر نباشند. اگرچه این محدودیت توسط سازندگان اولیه ELN ها در دهه ۱۹۹۰ شناسایی شد، اما هم‌چنان موضوعی است که در مطالعات اخیر مجدداً برجسته شده است.

در یک محیط تحقیقاتی دانشگاهی ایده‌آل زمان و پول هر دو در اولویت هستند. در صورت تصویب ELN برای آزمایشگاه‌های تحقیقاتی دانشگاهی باید در سطح سازمانی، بهره‌گیری از زیرساخت‌های بخش فناوری ارتباطات و اطلاعات در دانشگاه، و با تعهد کافی در جهت حمایت مداوم برای تشویق جذب کاربران اجرا شود. اگرچه تعداد انگشت‌شماری از نظرسنجی‌ها و مطالعات مبتنی بر دانشگاه در مورد پیاده‌سازی ELN وجود دارد، با این حال سطح موفقیت گزارش شده متفاوت است. این نظرسنجی‌ها نشان می‌دهد که تعامل دقیق کاربر، انتخاب محصول مناسب و مرتبط و پشتیبانی مداوم کلید استقرار موفقیت‌آمیز یک ELN در محیط‌های دانشگاهی است. عوامل انگیزشی و الزامات برای یک گروه تحقیقاتی در دانشگاه ممکن است با عوامل گروه‌های دیگر در همان موسسه میزبان یکسان نباشد، بنابراین شناسایی اولویت‌های ذینفعان مختلف قبل از انتخاب یک محصول خاص اهمیت ویژه‌ای دارد.

محیط عملیاتی در آزمایشگاه‌ها بر انتخاب دفترچه‌های کاغذی و الکترونیکی تاثیر می‌گذارد. آزمایشگاه‌هایی که حاوی نوعی محیط محافظت شده هستند (مانند اتاق‌های تمیز یا آزمایشگاه‌های مهار بیولوژیکی) ممکن است محدودیت‌هایی در حرکت اقلام به داخل و خارج از فضا داشته باشند. در چنین محیط‌هایی هم دفترچه‌های کاغذی و هم سخت‌افزارهای کامپیوتری می‌توانند آلوده شوند. بنابراین، پیاده‌سازی ELN با امکان دسترسی به دفترچه‌ها از طریق دستگاه‌هایی که در داخل محیط محافظت شده باقی می‌مانند، به کاهش این مشکلات کمک می‌کند. با این حال، رفع این نیاز به برنامه‌ریزی تامین پیش نیازهای سخت‌افزاری بستگی دارد.

بررسی‌ها نشان داد که تا به امروز هیچ مطالعه بلند مدتی از اجرای ELN در محیط‌های دانشگاهی منتشر نشده است. از این رو، مهم است که مسائل کاربر را که ممکن است در مقیاس‌های زمانی طولانی‌تر ظاهر شوند، در نظر گرفت. به عنوان مثال، تعیین اینکه چگونه محققان آینده از سوابق موجود در صورتی که نویسنده اصلی (یا نویسنده ناظر) موسسه را ترک کرده باشد، آگاه شوند. افرادی باید تعیین شوند که درخواست‌های دسترسی به سوابق موجود از سوی کاربران جدید را تسهیل کنند. سرمایه‌گذاری روی آموزش کاربران از همان ابتدا باید تضمین کند که اشخاص ثالث می‌توانند به طور مؤثر این داده‌ها را در آینده پیدا کنند و داده‌ها و ابرداده‌های

کافی در نقطه ورود ثبت می‌شوند. موسسات دانشگاهی می‌توانند از تخصص داخلی موجود برای کمک به توسعه سیاست‌های اجرایی بلند مدت استفاده کنند. چالش کلی حفظ و دسترسی طولانی مدت داده‌های دیجیتال در هر سازمان بزرگی وجود دارد. بنابراین، استفاده از روش‌های قابل اطمینان موجود می‌تواند به استقرار چنین سیستم‌هایی در محیط‌های دانشگاهی کمک کند.

مزایای کلیدی ELN

مزایای بسیاری برای ابزارهای ELN در مقایسه با سایر روش‌های مدیریت داده وجود دارد. مزایای کلیدی بهره‌مندی از سیستم‌های ELN شامل:

۱) بهره‌وری

ابزارهای ELN با ساده‌سازی مدیریت داده‌ها، تسهیل تخصیص وظایف و امکان همکاری در لحظه، بهره‌وری آزمایشگاه را به‌طور قابل‌توجهی بهبود می‌بخشند. محققان به راحتی می‌توانند وظایفی را ایجاد و اختصاص دهند، ضرب‌الاجل تعیین کنند و پیشرفت را در سکوهای ELN برای پاسخگویی بیشتر پیگیری کنند. علاوه بر این، اتوماسیونِ وظایف فرآیندهای تکراری را ساده‌سازی می‌کند. این امر علاوه بر صرفه‌جویی در زمان و کاهش خطاها، به محققان اجازه می‌دهد تا بر جنبه‌های حیاتی علمی کار خود تمرکز کنند.

۲) انطباق

مزیت مهم ابزارهای ELN ویژگی‌های انطباق داخلی آن است. این انطباق تضمین می‌کند تا الزامات نظارتی و استانداردهای صنعت رعایت شوند. امضاهای الکترونیکی، مسیرهای حسابرسی و رمزگذاری داده‌ها، سابقه‌ای امن و قابل ردیابی از به کارگیری داده‌ها و تأیید آزمایش‌ها را فراهم می‌سازد. این اقدامات انطباقی، علاوه بر کمک به برآورده کردن خواسته‌های سختگیرانه مقامات نظارتی از اعتبار تحقیق نیز محافظت می‌کند.

۳) مدیریت اطلاعات

ELN با ارائه یک چارچوب ساختاریافته برای مستندسازی آزمایش، به ترویج یک رویکرد سیستماتیک و سازماندهی شده برای مدیریت داده‌ها کمک می‌کند. محققان می‌توانند نمونه‌ها را دسته‌بندی کنند، برچسب‌های قابل جست‌وجو اضافه کنند، و از فیلدهای ابرداده برای بازیابی آسان داده‌ها در راستای تسهیل تحلیل و مقایسه آنها استفاده کنند. برخی از ELN ها از فضای ذخیره‌سازی ابری استفاده می‌کنند که این ویژگی یک نقطه دسترسی به داده‌ها را برای همه کاربران فراهم می‌سازد. این امر خطر اسناد تکراری و داده‌های حاوی خطا را کاهش می‌دهد، و از طریق سازماندهی، داده‌های موثر و مقیاس‌پذیر را ارائه می‌دهد.

۴) مدیریت نمونه

با کمک ELN، هر اقدام و اصلاح مربوط به مدیریت نمونه ثبت و بر چسب زمانی می‌شود و امکان پیگیری آن وجود دارد. این قابلیت ردیابی برای اهداف انطباق بسیار مهم است و می‌تواند به شناسایی هرگونه مغایرت یا خطا کمک کند. توانایی ردیابی به کارگیری نمونه، الیکوت کردن آن و قرار دادن نمونه‌ها بر روی ابزارها نیز برای محققان اهمیت دارد.

۵) مدیریت موجودی

ELN ها اغلب ویژگی‌هایی را برای مدیریت موجودی‌ها در آزمایشگاه‌ها ارائه می‌دهند. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به اسکن بارکد، ردیابی مکان‌های ذخیره‌سازی نمونه، انتقال نمونه‌ها به مکان‌های جدید، و نظارت بر مقادیر نمونه و سفارش مجدد اشاره کرد. این مزایا استفاده کارآمد از نمونه‌ها، معرف‌ها و واکنش‌دهنده‌ها را تضمین می‌کند و هدر رفت ماده و انرژی را نیز کاهش می‌دهد.

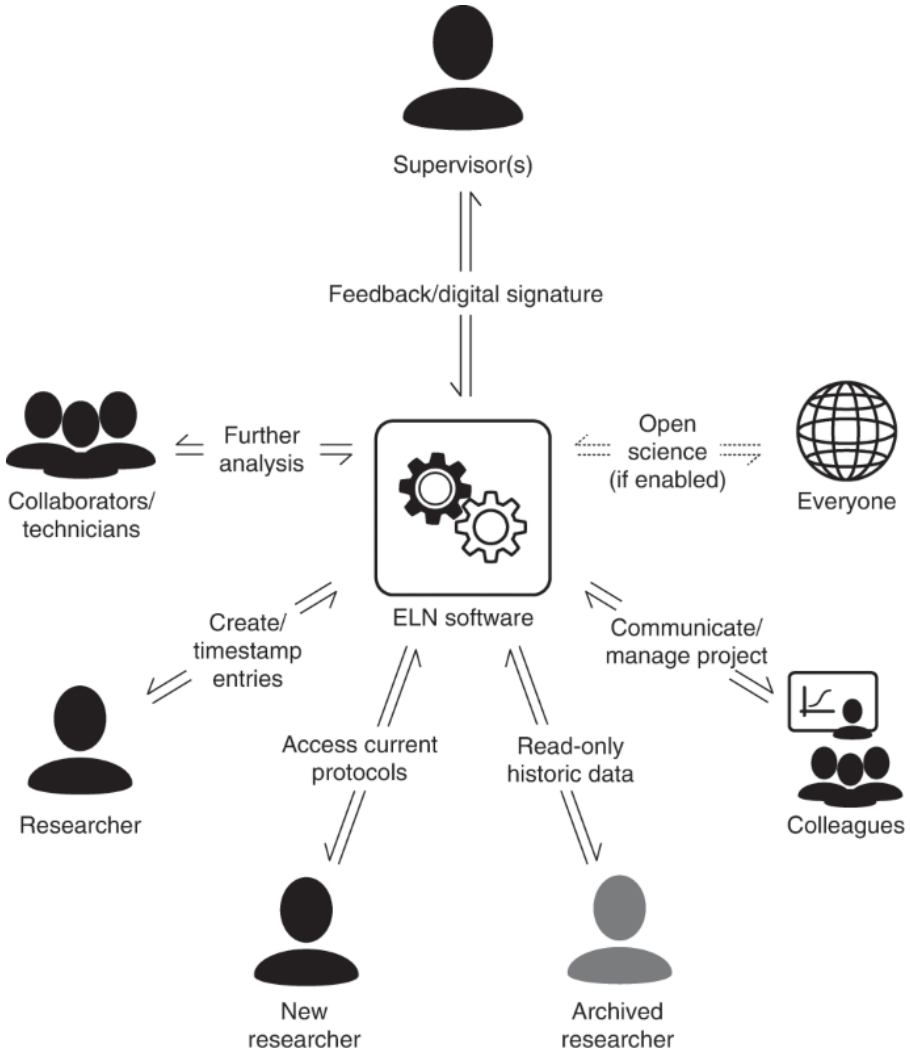
۶) تکرارپذیری

ELN ها مستندات آزمایشی دقیق را به همراه پروتکل‌ها، روش‌ها و مشاهدات ارائه می‌دهند. محققان می‌توانند الگوهای داده‌ای ایجاد کنند تا اطمینان حاصل کنند که پارامترهای یکسان در هر بار آزمایش اندازه‌گیری و سپس ثبت می‌شوند. بنابراین تکرارپذیری آزمایش‌ها تضمین خواهد شد. هم‌چنین، ELN ها اجازه می‌دهند تا نتایج به طور مستقل تأیید شود، اعتبار تحقیق افزایش یابد، شفافیت آن بهبود پیدا کند، و دانش علمی در مقیاس بزرگتر ارتقا یابد.

۷) همکاری و اشتراک‌گذاری

ELN ها اشتراک‌گذاری یکپارچه داده‌ها بین اعضای تیم را امکان‌پذیر می‌سازند. به کمک نرم‌افزارهای مبتنی بر سرورهای ابری، همکاران یک پروژه در سراسر سازمان می‌توانند با اطمینان از دقیق و به‌روز بودن داده‌ها برای همکاری کارآمدتر به داده‌ها دسترسی داشته باشند. این بدان معنی است که محققان می‌توانند از راه دور به صورت در لحظه با یکدیگر همکاری کنند که این امر افزایش پیشرفت علمی را به ارمغان می‌آورد. در محیط‌هایی که ELN ها پیاده‌سازی شده‌اند، سهولت جست‌وجو و اشتراک‌گذاری اطلاعات به عنوان یکی از مزایای کلیدی در نظر گرفته می‌شود.

شکل ۵ روش‌های مختلف به اشتراک گذاری داده‌ها از طریق ELN را نشان می‌دهد. محققان می‌توانند ورودی‌ها را ایجاد و ایمن کنند، اطلاعات را با همکاران به اشتراک بگذارند و به سوابق اعضای سابق تیم دسترسی داشته باشند. درجه اشتراک‌گذاری توسط سازوکارهای سازمانی، ویژگی‌های نرم‌افزار و پیکربندی آن تعیین می‌شود. قابل مشاهده کردن ورودی‌های ELN برای چندین کاربر اغلب در داخل نرم‌افزار ساده اما کاربردی است.



شکل ۵ نمونه‌هایی از جریان‌های اطلاعاتی ممکن به‌وسیله یک ELN بین کاربران مختلف. محققان می‌توانند ورودی‌ها را ایجاد و ایمن کنند، اطلاعات را با همکاران به اشتراک بگذارند و به سوابق اعضای سابق تیم دسترسی داشته باشند. درجه اشتراک‌گذاری توسط سازوکارهای سازمانی، ویژگی‌های نرم‌افزار و پیکربندی آن تعیین می‌شود. منبع: Nature Protocols volume ۱۷, pages۱۷۹–۱۸۹ (۲۰۲۲).

تیم‌های مختلف یک پروژه می‌توانند سریعا به داده‌های آزمایش از محققان مختلف دسترسی داشته باشند و مدیریت پروژه را تسهیل کنند. ناظران می‌توانند از راه دور بازخورد خود را بدون دسترسی فیزیکی به دفترچه یادداشت ارائه دهند، و برای تأیید ورودی‌ها، امضاهای دیجیتالی اضافه کنند. همکاران می‌توانند از نظر جغرافیایی در نقاط مجزایی باشند و در آزمایشگاه‌های جداگانه در چندین کشور کار کنند. به طور مشابه، محققان می‌توانند از چندین مکان، به عنوان مثال، از آزمایشگاه‌های مختلف یا از خانه به سوابق خود دسترسی داشته باشند. این مزیت می‌تواند در شرایطی که دسترسی فیزیکی به امکانات محدود شده است، کاربردی‌تر باشد، همان‌طور

که این نیاز در طول همه‌گیری کووید-۱۹ مشاهده شد. هم‌چنین استفاده از ELN ها، نیاز به انتقال دفترچه‌های آزمایشگاهی فیزیکی بین مکان‌ها را کاهش می‌دهد که با کاهش خطر آلودگی متقابل و از دست دادن داده‌ها همراه است.

۸) انعطاف‌پذیری

ELN ها علاوه بر ارتقای سازماندهی داده‌های ساختار یافته، انعطاف‌پذیری را برای انطباق با انواع جریان‌های کاری مختلف و الزامات پروژه ارائه می‌دهند. محققان می‌توانند از الگوهای قابل تنظیم و طرح‌های آزمایشی بهره ببرند و تجربیات فردی ELN خود را برای بخش‌های خاصی از مطالعه که در آن داده‌ها یا الزامات انطباق متفاوت است، تنظیم کنند. این بدان معناست که هر آزمایشگاه قادر به ساختاربندی، مدیریت و ارائه داده‌ها مطابق با نیازهای منحصر به فرد خود است، در حالی که از ثبات در سراسر اکوسیستم آزمایشگاهی به صورت گسترده‌تر اطمینان حاصل می‌کند.

۹) ذخیره‌سازی و دسترسی

با استفاده از ذخیره‌سازی متمرکز، ELN ها دسترسی آسان به اطلاعات از هر مکان و در هر زمان را ارائه می‌دهند. این ویژگی امکان همکاری بین تیم‌هایی با مناطق جغرافیایی متفاوت را فراهم می‌سازد و در عین حال اطمینان می‌دهد که همه داده‌ها دقیق و به‌روز هستند. دانشمندان می‌توانند پروفایل‌های منحصربه‌فردی ایجاد کنند و نقش‌های کاربری با سطوح دسترسی مناسب را برای ارتقای امنیت داده‌ها بدون به خطر انداختن همکاری اختصاص دهند، بنابراین اطلاعات حساس آزمایشگاه همیشه ایمن نگه داشته می‌شود.

۱۰) امنیت داده‌ها

یکی از مزایای کلیدی استفاده از ELN ها به جای روش‌های مبتنی بر کاغذ یا راه‌حل‌های دیجیتالی کمتر تخصصی، بالا بودن امنیت داده در این ابزارها است. با مجوزهای قابل تنظیم توسط کاربر، کنترل‌های دسترسی و رمزگذاری داده‌ها، محققان اطمینان حاصل می‌کنند که اطلاعات ذخیره شده در پایگاه‌داده ELN از دسترسی غیرمجاز یا نقض داده‌ها ایمن است. این ویژگی کمک می‌کند تا از محرمانه بودن و یکپارچگی اطلاعات تحقیقاتی حساس اطمینان حاصل شود. علاوه بر این، پشتیبان‌گیری منظم و خودکار علاوه بر افزایش کارایی آزمایشگاه در برابر از دست دادن داده‌ها نیز محافظت می‌کند.

ویژگی‌های کلیدی یک ELN کارآمد

یک ELN مناسب باید بتواند تمام انواع داده‌های مهم را در قالب دیجیتال ایجاد، وارد، ذخیره و بازیابی کند. یک ELN در مرحله نخست یک پردازشگر متنی است که به کاربر امکان می‌دهد تا یادداشت‌ها را بنویسد و آنها رادر قالب‌بندی مناسب تنظیم کند (همان گونه که با Microsoft Word اسناد ثبت و تنظیم می‌شوند). در حالت ایده‌آل، ELN به کاربر اجازه می‌دهد اسناد Word موجود را وارد کند و به ویرایش آنها در ابزار ادامه دهد، و بالعکس دفترچه دیجیتال ثبت شده خود را به قالب‌های سازگار با برنامه Microsoft Word خروجی بگیرد. عدم پشتیبانی از سیستم‌هایی مانند LaTeX می‌تواند مانعی برای پذیرش ELN ها در برخی از رشته‌های خاص باشد.

در مرحله دوم، یک ELN به عنوان یک صفحه‌گسترده به کاربر این امکان را می‌دهد تا جداول را ایجاد کند، داده‌ها را وارد و قالب‌بندی کند، محاسبات را انجام دهد، نمودارها را ترسیم کند و هم‌چنین فایل‌هایی به قالب Microsoft Excel (اکسل) به ELN وارد و خروجی‌هایی سازگار با این برنامه را نیز صادر نماید. امکان رسم انواع نمودارها برای تحلیل داده‌ها از دیگر ویژگی‌های یک ELN کارآمد محسوب می‌شود.

امکان وارد کردن تصاویر و اضافه کردن حاشیه‌نویسی به آنها از دیگر ویژگی‌های یک ELN کارآمد است. باید اطمینان حاصل شود که حاشیه‌نویسی تصاویر در یک لایه جداگانه ذخیره می‌شود و تضمین کند که تصویر اصلی کاربر همواره حفظ می‌شود. علاوه بر این، امکان بارگذاری فیلم با قالب‌های شناخته شده از دیگر ویژگی‌های یک ELN کارآمد به شمار می‌آید.

ارائه الگوهای آزمایشی یکی از ویژگی‌های مهم در یک ELN مطلوب محسوب می‌شود. این الگوهای آزمایشی با قابلیت استفاده مجدد در ELN ها محققان را قادر می‌سازند تا به راحتی طرح‌ها و پروتکل‌های آزمایشی استاندارد و از پیش طراحی شده ایجاد کنند. سایر محققان به راحتی می‌توانند این الگوها را تکرار کنند که صرفه‌جویی دز زمان و اطمینان از ثبات در آزمایش‌ها را به ارمغان می‌آورد. هم‌چنین، خطر خطاهای انسانی را کاهش می‌دهد و در نهایت به تسهیل فرآیندهای تحقیقاتی و افزایش بهره‌وری در آزمایشگاه‌ها منجر می‌شود.

سازگاری با انواع سیستم‌عامل‌ها و نیز ابزارهای هوشمند مانند کامپیوترهای شخصی، موبایل و تبلت، و هم‌چنین طراحی پاسخگو در ابزارهای ELN به محققان این امکان را می‌دهد تا با هر ابزار دردسترسی، در هر زمان و در هر مکان، به ثبت یادداشت‌های آزمایشی خود و اشتراک آنها بپردازند.

ارائه یک تجربه جست‌وجوی ساده اما هدفمند که به کاربر این امکان را می‌دهد تا داده‌های خود را بر اساس نویسنده، برچسب[۱]، شناسه منحصربه‌فرد، محتوای متنی، برچسب زمانی[۲] و یا جست‌وجوی داده‌های ساختاریافته بازیابی کند (به عنوان مثال، تمام ورودی‌های برچسب‌گذاری شده با عنوان Western Blot را پیدا کند)، باید در زمان پیاده‌سازی یک ELN در نظر گرفته شود. دسترسی به داده‌های تحقیقاتی تنها طی چند ثانیه برای یک محقق یا رهبر تیم اهمیت بالایی دارد. امکان جست‌وجو در فایل‌های بارگذاری شده توسط کاربر در ELN ویژگی متمایز ابزارهای موفق در این حوزه محسوب می‌شود.

همواره باید تعادل مناسبی بین اشتراک‌گذاری اطلاعات در یک محیط کاری مشترک و محافظت از داده‌ها برقرار شود. توسعه راه‌حل‌های نوآورانه در حوزه زیست‌فناوری امری پیچیده است و نیاز به کار گروهی بین متخصصان در زمینه‌های متفاوت دارد. شکست در همکاری می‌تواند منجر به اتلاف وقت، تلاش و هزینه شود. از سوی دیگر، بسیاری از دانشمندان از افزایش اشتباهات، سوء تفاهم‌ها و آسیب پذیری‌ها طی پروژه‌های مشترک نگرانی دارند. از این رو، یک ELN مطلوب و کارآمد به عنوان یک راه‌حل مناسب برای این مسائل عمل کرده و چندین ویژگی حیاتی را پیرامون این امر مهم ارائه می‌دهد.

به اشتراک‌گذاری یادداشت‌ها، پروژه‌ها و پروتکل‌ها با اعضای تیم، اضافه کردن یادداشت‌ها و نظرات به ورودی‌ها توسط سایر اعضا، ارسال پیام به همکاران پروژه، مدیریت پروژه‌ها و واگذاری وظایف به اعضای تیم، ردیابی میزان پیشرفت پروژه‌های مشترک و درصد مشارکت هر یک از اعضا در آن پروژه از ویژگی‌هایی برجسته در زمینه اشتراک‌گذاری داده‌ها است که توسط یک ELN کارآمد ارائه می‌شود. هرچه یک تیم تحقیقاتی یا شرکت زیست‌فناوری بزرگ‌تر باشد، داشتن ابزارهای در دسترس برای برقراری ارتباط با اعضای تیم و به اشتراک‌گذاری داده‌ها به شیوه‌ای سازمان‌یافته اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

مدیریت تیم از ویژگی‌های یک ELN موفق است. تعریف گروه‌ها و تعیین دسترسی هر یک از افراد حاضر در گروه از طریق ایجاد زیر گروه‌ها و سلسله مراتب برای انعکاس ساختار سازمانی کل موسسه تحقیقاتی و یا شرکت تحقیق و توسعه اهمیت کاربردی ویژه‌ای در ابزارهای ELN دارد. تعریف مدیرانی که می‌توانند اعضای تیم را دعوت کنند، حقوق هر کاربر را اختصاصی سازند و تعیین نمایند که کدام اطلاعات قابل دسترسی، صدور یا حذف هستند، بهتر است در زمان پیاده‌سازی یک ELN مطلوب در نظر گرفته شود. لغو دسترسی اعضای تیم بدون از دست دادن اطلاعاتی که ایجاد کرده‌اند، قابلیت مشاهده تاریخچه هر نسخه قابل دسترس و ارائه

[۱] Tag
[۲] Timestamp

محدودیت‌های سطح کاربر که به دیگر کاربران اجازه نمی‌دهد ورودی‌های کاربران دیگر را ویرایش کنند، در ELN های کارآمد مشاهده می‌شود.

قابلیت‌های یکپارچه‌سازی ELN ها اجازه می‌دهد تا این ابزارها با نرم‌افزارهای دیگر هم در آزمایشگاه و هم در مکان‌های خارجی ارتباط برقرار کنند. قابلیت ادغام ELN ها با ابزارهای متعدد، گستره امکانات و ویژگی‌های کاربردی آنها را به طور قابل توجهی ارتقا می‌بخشد. ادغام با برنامه‌های زیست‌شناسی مولکولی از جمله پرکاربردترین یکپارچه‌سازی‌ها برای ELN ها در حوزه زیست‌فناوری به شمار می‌آید.

بخش تحقیق و توسعه زیستی بسیاری از شرکت‌های زیست‌فناور، درخواست‌های آزمایشی و مجموعه داده‌های بدست آمده خود را با استفاده از ترکیبی از پست الکترونیک، اکسل و اتوماسیون‌های داخلی ردیابی و مدیریت می‌کنند. این رویکرد غیرمتمرکز می‌تواند راه‌حلی قابل استفاده باشد، اما کارآمد نخواهد بود. در صورتی که شرکتی به دنبال پاسخ برای پرسش چگونگی تبدیل داده‌های تحقیقاتی خود به یک مزیت رقابتی و نیز به دنبال ارتقای بهره‌وری و کسب بینش‌های نوآورانه از نتایج خود باشد، به یافتن یک راه‌حل یکپارچه برای مدیریت داده، نمونه، تجهیزات و منابع با کاربری آسان، سازگار و متصل نیاز دارد.

با ظهور فناوری‌های جدید مانند هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و محاسبات ابری، شاهد نوآوری‌های بیشتر و بیشتری در هر صنعتی هستیم. بنابراین سوال مهمی که مطرح می‌شود این است که شرکت‌های زیست‌فناوری چگونه می‌توانند اطمینان حاصل کنند که بیشترین بهره را از این فناوری‌ها می‌برند؟ چگونه می‌توانند مطمئن شوند که همگام با منحنی رشد داخلی و یا حتی جهانی عمل می‌کنند؟ شرکت‌ها، پیش از بهره‌مندی از این فناوری‌های نوین، باید سازوکارهای مدیریت داده خود را سازمان‌دهی کنند.

به نظر می‌رسد زمان آن رسیده است که شرکت‌های تحقیق و توسعه داخلی به سمت بهره بردن از دانش انفورماتیک آزمایشگاهی و استفاده از سامانه‌های مدیریت اطلاعات آزمایشگاهی که برای حمایت از این فرآیندها در نظر گرفته شده است، به پیش روند. آنچه شرکت‌های زیست‌فناوری به آن نیز دارند، ارائه یک راه حل واحد برای انجام فرآیندهای مختلف، از طراحی و ویرایش توالی گرفته تا دستیابی به یک پایگاه داده متمرکز از داده‌ها، نمونه‌ها و تجهیزات آزمایشگاهی است.

آزمایشگاه زیستی یا زیست‌فناوری را تصور کنید که در آن محققان بررسی‌های مرتبط با زیست‌شناسی مولکولی، مانند طراحی، مشاهده و ویرایش توالی‌های اسیدنوکلئیکی و پروتئینی را به صورت یکپارچه و مستقیم در کنار آزمایشات، پروتکل‌ها و سایر ورودی-های خود، بدون نیاز به نصب یا ایجاد حساب کاربری در چندین ابزار مجزا، پرداخت چندین هزینه اشتراک و بارگذاری ورودی‌ها یا

بارگیری خروجی‌ها در ابزارهای متعدد، انجام می‌دهند. این هم‌افزایی با یکپارچه‌سازی ابزارهای زیست‌شناسی مولکولی و زیست‌فناوری با پلتفرم‌های ELN امکان‌پذیر است.

توسعه‌دهندگان ELN با روش‌های متفاوتی به این ویژگی دست یافته‌اند. برای نمونه، LabArchives ELN با نرم‌افزار SnapGene، به عنوان یک برنامه بسیار کاربردی و محبوب در دنیای زیست‌شناسی و زیست‌فناوری یکپارچه‌سازی شده است. باید به دو نکته توجه کرد: (۱) LabArchives و SnapGene هر دو توسط یک شرکت (Dotmatics) توسعه یافته‌اند. (۲) استفاده از برنامه SnapGene تنها با پرداخت هزینه امکان‌پذیر است (برنامه SnapGene Viewer رایگان است).

در اینجا، این سوالات مطرح می‌شود که آیا سایر ابزارهای ELN توسعه یافته توسط دیگر شرکت‌ها می‌توانند مجوز یکپارچه‌سازی برنامه خود را با SnapGene جهت بهرمندی از مزایای بالای آن دریافت کنند؟ دریافت این مجوز با پرداخت چه هزینه‌ای امکان‌پذیر است و آیا پرداخت این هزینه از سمت شرکت توسعه دهنده ELN و کاربران قابل توجیهه است؟ و در صورتی که این فرآیند یکپارچه‌سازی چه از نظر عملیاتی و چه از نظر هزینه‌ای امکان‌پذیر نباشد، چه راه‌های جایگزینی برای آن وجود دارد؟

SciNote دارای یک ابزار ویرایشگر توالی است. این ویرایشگر، یک نسخه منبع باز از ویرایشگر Open Vector Editor (OVE) توسعه یافته توسط Teselagen Biotechnology است. طراحی، ویرایش و مشاهده توالی‌های دنا یا پلاسمید به صورت مستقیم در SciNote به کمک این ویرایشگر، کاربران را از استفاده و جست‌وجوی داده‌ها در چندین پلتفرم بی‌نیاز می‌سازد. Labii ELN و elabFTW نیز از همین ویرایشگر برای نمایش و ویرایش توالی‌ها استفاده می‌کند. بنابراین، استفاده از برنامه‌های ویرایشگر توالی منبع باز موجود، مانند OVE می‌تواند در کاهش هزینه‌های نهایی برای توسعه‌دهنده و کاربر اهمیت داشته باشد.

Benchling نیز دارای یک ویرایشگر توالی کارآمد متفاوت است. تجسم بصری توالی‌ها، حاشیه‌نویسی توالی‌ها، طراحی آغازگرها، انجام همترازی توالی‌ها و مدل‌سازی مجموعه‌ها با استفاده از ابزارهای طراحی و تحلیل غنی پیاده‌سازی شده در بخش زیست‌شناسی مولکولی Benchling امکان‌پذیر شده است. این ویژگی‌های کارآمد Benchling را از سایر ابزارها متفاوت ساخته است.

سیستم مدیریت اطلاعات آزمایشگاهی و سیستم مدیریت موجودی

سیستم مدیریت اطلاعات آزمایشگاهی (LIMS)[۱] یک پلت‌فرم نرم‌افزاری پیچیده انفورماتیک است که برای ساده کردن و تنظیم جریان‌های کاری آزمایشگاهی با کارایی بالا طراحی شده است. با استفاده از اتوماسیون فرآیندهای قابل تنظیم، یک LIMS به طور قابل توجهی وظایف دستی را کاهش می‌دهد و به طور موثر بهره‌وری را در تحقیقات مدرن و تلاش‌های علمی افزایش می‌دهد. این سیستم مدیریت دقیق مواد آزمایشگاهی، ابزارآلات و موجودی را سازماندهی می‌کند و در نتیجه زمان خرابی تجهیزات را کاهش می‌دهند و هزینه‌های عملیاتی را محدود می‌کند. LIMS نه تنها به آزمایشگاه اجازه می‌دهد تا سازماندهی شده باقی بماند، بلکه کارایی، شفافیت و انطباق آن را نیز بهبود می‌بخشد.

دلیل اصلی پیاده‌سازی و استفاده از سیستم LIMS ثبت، ردیابی و گزارش نمونه‌ها و داده‌های علمی به روشی ساختاریافته و سازگار است. مستندسازی و ردیابی یک نمونه در تمام طول عمر آن، از زمانی که در ابتدا خریداری شد، به آزمایشگاه وارد و در آزمایشات مصرف شده و در نهایت دفع آن، در یک سیستم LIMS کارآمد امکان‌پذیر است.

سیستم‌های مدیریت موجودی[۲] آزمایشگاه سازمان‌دهی، ردیابی و سفارش موجودی آزمایشگاه‌ها را تسهیل می‌بخشند. مدیریت موجودی آزمایشگاه به تنهایی یک موضوع قابل بررسی است و نرم‌افزارهای متعددی برای ردیابی موجودی به صورت اختصاصی توسعه یافته‌اند. در مقاله‌ی منتشر شده در سال ۲۰۱۵ در مجله Nature توضیح داده شده است که چگونه این سیستم‌های مدیریتی، شامل بایگانی کاغذی، پایگاه‌های داده خانگی و نرم‌افزارهای گران‌قیمت در سطح سازمانی می‌توانند بر روی زمان، هزینه و بهره‌وری محققان اثرگذار باشند.

در صورتی که یک آزمایشگاه در ابتدا و پیش از استفاده از ELN از سیستم‌های مدیریت اطلاعات آزمایشگاهی برای رسیدگی به موجودی، رزرو تجهیزات و تهیه مواد بهره ببرد، معرفی یک ELN به عنوان یک سیستم مستقل بر خلاف مزایای زمانی دیجیتالی‌سازی و یکپارچه‌سازی عمل خواهد کرد. هم‌چنین نیاز به آموزش یک ابزار جدید برای کاربران آن آزمایشگاه را به همراه دارد. آموزش کاربر باید به عنوان یک بار زمانی و هزینه¬ای اضافی در سیستم¬ها شناخته شود.

پیاده‌سازی ELN فرصتی برای تأمل و تثبیت رویه‌های موجود است. در سال‌های اخیر، ارائه‌دهندگان ELN شروع به گنجاندن برخی از اجزای سیستم مدیریت اطلاعات آزمایشگاهی و مدیریت موجودی در دفترچه‌های آزمایشگاهی الکترونیکی خود کرده‌اند. در واقع،

[۱] Laboratory Information Management System (LIMS)
[۲] Inventory management systems

به جای خرید چندین بسته‌ی نرم‌افزاری مختلف، از یک ابزار تک مرحله‌ای برای مدیریت تمام نیازهای آزمایشگاه استفاده می‌شود. با این حال، یکپارچگی سیستم باید قبل از استقرار آزمایش شود و منابع مناسب برای حفظ یکپارچگی اختصاص داده شود.

برخی از ویژگی‌های رایج مدیریت موجودی ادغام شده در برخی از سیستم‌های ELN کارآمد شامل موارد زیر است:

۱) ارائه قالب‌ها و فیلدهای سفارشی که به کاربران امکان می‌دهند اطلاعات مرتبط با مواد مصرفی خود را در پایگاه‌داده مواد تعریف نماید، آنها را به صورت دقیق ردیابی کنند و برای هر یک از مواد دسته اختصاصی تعیین نمایند (برای نمونه، آنتی‌بادی‌ها، سلول‌ها، بافرها، آغازگرها، ابزارها و غیره).

۲) امکان مدیریت موجودی انبار که مقادیر موجود مواد شیمیایی، مقادیر محلول‌ها و بافرها، انواع ناقل های ژنتیکی و مشتقات آنها، آنزیم‌ها و منابع دیگر را هنگام استفاده در آزمایشات توسط هر یک از اعضای تیم به‌روزرسانی می‌کند. سایر ویژگی‌های مواد مصرفی، شامل مکان‌های قرارگیری هر یک از آنها (فریزر، یخچال، کمد و غیره) و اطلاعات انقضای آنها نیز در اختیار اعضای تیم قرار می‌گیرد.

۳) امکان ارجاع به مواد در دفترچه یادداشت، به طوری که هر کاربر بتواند ماده خاص مورد استفاده در آزمایش را تنها با یک کلیک پیدا کند، در متن به آن استناد دهد و از موجودی آن طی طراحی آزمایش اطلاع پیدا کند.

۴) تعیین حقوق و نقش‌های هر کاربر برای محدود کردن دسترسی (مشاهده/ویرایش/استفاده/سفارش) به موجودی آزمایشگاه در راستای مدیریت مواد و هزینه‌های جاری هر آزمایشگاه.

۵) پشتیبانی از رمزینه[۱] (بارکد) و رمزینه‌ی پاسخ سریع[۲] (QR کد) برای بازیابی سریع اطلاعات.

۶) قابلیت رزرو تجهیزات آزمایشگاهی توسط کاربران و ثبت دقیق زمان آغاز و خاتمه استفاده از هر دستگاه و نوع سنجش و یا آزمایش مورد بررسی.

۷) امکان سفارش مستقیم مواد مصرفی آزمایشگاهی به شرکت‌های تامین کننده مواد اولیه و پیگیری سفارشات.

۸) امکان افزودن داده‌ها در پلیت‌هایی با تعداد خانه‌های سفارشی.

۹) امکان ترسیم نمودار و تحلیل آماری داده‌ها.

[۱] Barcode
[۲] Quick Response Code (QR code)

دسته‌بندی دسترسی به ELN ها

دسته‌بندی‌های مختلف برای دسترسی به ELN ها وجود دارد. این دسته‌بندی‌ها و ملاحظات مرتبط با آنها به شرح زیر است:

-ابزارهای با پرداخت هزینه: این دسته از ELN ها به عنوان نرم‌افزارهای اختصاصی تنها با پرداخت هزینه قابل دسترسی هستند و ممکن است از فرمت‌های داده اختصاصی پشتیبانی کنند.

- ابزارهای با پرداخت هزینه همراه با نسخه رایگان: این گروه از ELN ها را می‌توان خریداری کرد، اما نسخه‌ای از این نرم‌افزار وجود دارد که می‌توان به صورت رایگان از آن استفاده کرد. این نسخه رایگان به صورت آزمایشی برای یک دوره زمانی مشخص دردسترس قرار دارد و یا نسخه‌ای است که عملکرد آن کاهش یافته است. به عنوان مثال، Benchling برای کاربران دانشگاهی به صورت کاملا رایگان است.

-منبع باز: در این ابزارها کدهای برنامه به صورت آشکار در دسترس قرار گرفته است تا هر کاربر بتواند آن را تا زمانی که با شرایط مجوز مطابقت دارد، مجدداً توزیع و ویرایش کند.

-رایگان: استفاده از این گروه از ابزارها برای همیشه و برای تمام کاربران کاملا رایگان است.

اتوپیا[1] (آرمان شهر) ELN های مرتبط با زیست‌فناوری

اتوپیا یک واژه مرکب یونانی است که از دو بخش «او» به معنای «نفی» و «توبوس» به معنای «لامکان» تشکیل شده است. این اصطلاح یونانی در فلسفه یونان باستان توسط دانشمندانی چون افلاطون و ارسطو مطرح شد. این مفهوم که در فلسفه اسلامی «مدینه فاضله» گفته می‌شود به ایجاد یک نظام اجتماعی مطلوب به دور از کاستی‌ها و مشکلات جوامع واقعی اشاره می‌کند که البته بیشتر جنبه رویا و خیال‌پردازی دارد. در دنیای پیرامون ما رسیدن به این حالت دشوار می‌نماید.

آرمان‌شهر نمادی از یک واقعیت آرمانی و بدون کاستی است. در دنیای متنوع و متعدد ELN ها، ابزاری بدون کاستی و منطبق با تمام نیازهای یک محقق یا تیم تحقیقاتی یافت نمی‌شود. با این حال، بررسی دقیق، تخصصی و همه‌جانبه نیازها و قدم برداشتن به سمت رفع آنها، به توسعه ELN هایی آرمانی منجر خواهد شد.

یک آرمان شهر ELN در حوزه زیست‌شناسی و زیست‌فناوری علاوه بر دارا بودن ویژگی‌های کلی ذکر شده در بخش‌های بالا، ویژگی‌های زیر را نیز در اختیار کاربران این حوزه قرار خواهد داد:

۱) امکان دسترسی مستقیم به پایگاه‌های داده اولیه، مانند ENA، GenBank و DDBJ (توالی نوکلئوتیدی)، Array Express Archive و GEO (داده‌های ژنومیکس کاربردی)، PDB (ساختارهای سه‌بعدی ماکرومولکول‌ها).
۲) امکان دسترسی مستقیم به پایگاه‌های داده ثانویه، مانند InterProt، UniProt Knowledgebase و Ensembl و غیره.
۳) امکان دسترسی مستقیم به پایگاه‌های داده اختصاصی پرکاربرد در حوزه‌های متخلف اسیدهای نوکلئیک، پروتئین، ژنومیکس، بیان ژن‌ها، تاکسونومیک، مسیرهای پیام‌رسانی، پایگاه‌های داده اختصاصی ارگانسیم‌ها و میکروارگانسیم‌ها و غیره.
۴) امکان دسترسی مستقیم به پایگاه‌های حاوی اسناد علمی، مانند PubMed، Web of Science، Google Scholar، CABI Digital Library و غیره.
۵) امکان دسترسی به ابزارهای مدیریت منابع و مراجع در راستای ایجاد خودکار فهرست مراجع در هنگام تدوین یک ELN، اضافه کردن حاشیه‌ها و یادداشت‌ها به اسناد، وارد کردن سند یا مرجع از منابع خارجی همراه با قابلیت پشتیبانی از طیف گسترده‌ای از سبک‌های استناد و استخراج داده‌های ارجاع (مانند نام نویسنده، نام انتشارات و غیره) از اسناد وارد شده، مانند نرم‌افزارهای مدیریت مراجع Mendeley، EndNote، Zotero و RefWorks.

[1] Utopia

۶) ادغام برنامه‌های گرافیک مولکولی جهت ترسیم، مشاهده، مقایسه و ویرایش ساختار ماکرومولکول‌ها، مانند ابزارهای PyMOL، Chimera، Jmol، Visual Molecular Dynamics و غیره.

۷) ادغام برنامه‌های ترسیم و ویرایش ساختارهای شیمیایی و معادلات شیمیایی.

۸) ادغام نرم‌افزارهای تحلیل آماری.

۹) ادغام نرم‌افزارهای ترسیم نمودارهای علمی و تجزیه و تحلیل تخصصی داده‌ها.

۱۰) ارائه دستیار مجازی هوشمند یا دستیار شخصی هوشمند مبتنی بر هوش مصنوعی.

۱۱) ادغام نرم‌افزارهای طراحی دیجیتال، طراحی دوبعدی و ویرایشگر عکس در راستای ترسیم تصاویر شماتیک مرتبط با آزمایش‌ها و مقالات.

۱۲) نمایشگر و ویرایشگر انواع توالی‌های اسیدنوکلئیکی و پروتئینی، نقشه‌های پلاسمیدی و ارائه مشخصات و ویژگی آنها، همراه با قابلیت درج حاشیه‌نویسی‌های[۱] لازم.

۱۳) ادغام ابزارهای زیست‌شناسی مولکولی کاربردی، مانند ابزارهای طراحی انواع مختلف آغازگرها، طراحی CRISPR، و غیره.

۱۴) ارائه مرورگر ژنوم.

۱۵) ارائه دستیار هوشمند صوتی ELN.

۱۶) ادغام ELN با سیستم‌های انفورماتیک پسمانداری و مدیریت پسماند.

۱۷) ارائه برنامه‌های پیش‌بینی ساختار سه‌بعدی ماکرومولکول‌ها مبتنی بر هوش مصنوعی، مانند برنامه AlphaFold برای پیش‌بینی ساختار پروتئین‌ها،

توجه به این نکته ضروری است که ایجاد یک ELN که شامل هر ادغام ممکن باشد، نرم‌افزار را بسیار پیچیده می‌کند و در عین حال منجر به پرداخت هزینه‌های بالاتر برای کاربران می‌شود. در واقع، توسعه‌دهندگان ELN باید بر روی ساده‌سازی سیستم و افزایش قابلیت سفارشی‌سازی آن تا حد امکان و به صورت تواما تمرکز کنند. در این حالت هر آزمایشگاه می‌تواند ELN را مطابق با نیازهای خاص خود سفارشی سازد. این بدان معنی است که یک آزمایشگاه بتواند در مورد ابزارهایی که نیاز به ادغام آنها دارد یا ندارد، خود تصمیم بگیرد.

[۱] Annotation

مروری بر ویژگی‌های کلیدی تعدادی از ELN ها

گستره وسیع محصولات موجود در حوزه ELN ها می‌تواند موجب سردرگمی مخاطبان در انتخاب نوع ELN متناسب با حوزه کاری خود شود. بازار ELN ها تنوع قابل توجهی را در بر می‌گیرد. مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۶ توسط دانشگاه ساوتهمپتون در انگلستان انجام شد، ۷۲ محصول فعال را شناسایی کرد. این تعداد در سال‌های اخیر رشد فزاینده‌ای داشته است. از این رو، بسیاری از محققان صرفاً وقت یا انگیزه لازم برای یافتن ELN مطلوب از میان تعداد انبوه گزینه‌های موجود را ندارند. جدول پیوست۱ اطلاعات ۱۷۲ سیستم ELN را خلاصه می‌کند.

در این گزارش تعدادی از ELN های شناخته شده با جزئیات بیشتر معرفی می‌شوند. این ELN ها نسبت به سایر ELN های مورد بررسی امکانات قابل توجهی در اختیار کاربران قرار می‌دهند، بیشترین بازدید را دریافت می‌کنند، به دانشگاه‌ها و شرکت‌های معتبری به عنوان مشتری خدمات ارائه می‌دهند، در کنفرانس‌ها و نمایشگاه‌های مرتبط با این حوزه حضور فعال دارند و بهترین بررسی‌های آنلاین را دریافت می‌کنند. با این حال توجه به این نکته ضروری است که این بررسی، یک مرور کلی بر ویژگی‌ها و امکانات هر ابزار است و ممکن است به برخی از جزئیات آنها اشاره نشود. همچنین، در این گزارش با توجه به محدودیت‌های موجود، تمام ابزارهای ELN پر کاربرد معرفی نشده است.

LabArchives

LabArchives به نشانی labarchives.com توسط شرکت آمریکایی Dotmatics در سال ۲۰۰۹ معرفی شد. Dotmatics به عنوان یک شرکت نرم‌افزاری علمی تحقیق و توسعه در سال ۲۰۰۵ در آمریکا تاسیس شد. ابزارهای توسعه یافته توسط این شرکت در فرآیند تحقیق و توسعه کاربرد دارند و به محققان کمک می‌کنند تا در تلاش‌های خود برای نوآوری‌های علمی کارآمدتر عمل کنند.

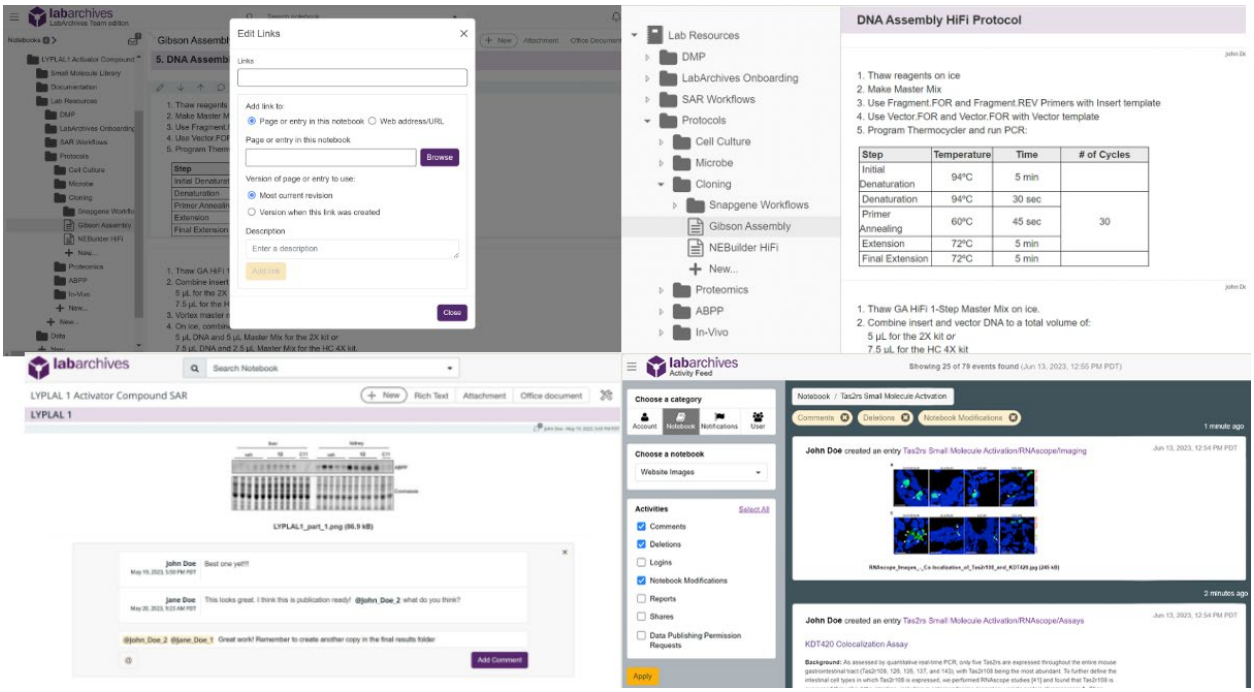
علاوه بر LabArchives، ابزارهای GraphPad Prism، SnapGene، Geneious Prime، Geneious Biologics، OMIQ، Protein Metrics، Cytapex Bioinformatics و SoftGenetics از جمله ابزارهای شناخته شده توسعه یافته توسط شرکت Dotmatics است. Luma جدیدترین محصول Dotmatics در ارتباط با کاربرد هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در حوزه اکتشاف دارو در اکتبر ۲۰۲۳ معرفی شد.

خدمات ارائه شده توسط LabArchives شامل ELN (LabArchives ELN)، مدیریت موجودی (LabArchives Inventory) و برنامه‌ریز (LabArchives Scheduler) است. علاوه بر این سه برنامه، در بخش آموزش LabArchives، اطلاعاتی برای آموزش ایمنی آزمایشگاه، رویکردها و تکنیک‌های آزمایشگاهی در اختیار کاربران قرار می‌گیرد.

در ادامه به جزئیات سه برنامه ارائه شده توسط LabArchives می‌پردازیم.

LabArchives ELN

مدیریت داده، ارتباط و همکاری بهتر به کمک LabArchives ELN، به عنوان یک دفترچه آزمایشگاهی مبتنی بر سرور ابری در راستای تمرکز تمام فعالیت‌های تحقیقاتی بر روی یک سکوی امن و در دسترس که ضبط، سازماندهی، تجزیه و تحلیل و به اشتراک-گذاری آزمایش‌ها و داده‌ها را در هر کجا آسان می‌کند، امکان‌پذیر است. سفارشی‌سازی الگوهای آزمایشی، ترسیم طرح‌های شیمیایی، حاشیه‌نویسی تصاویر و مرور فایل‌ها و نیز حفظ داده‌ها به کمک ابزارهایی برای اتصال یادداشت‌ها، موجودی‌ها و داده‌های آزمایشی با شناسه‌ها و ابرداده‌های سفارشی از ویژگی‌های این ELN است. شکل ۶ نمایی از بخش‌های مختلف برنامه LabArchives ELN را نشان می‌دهد.



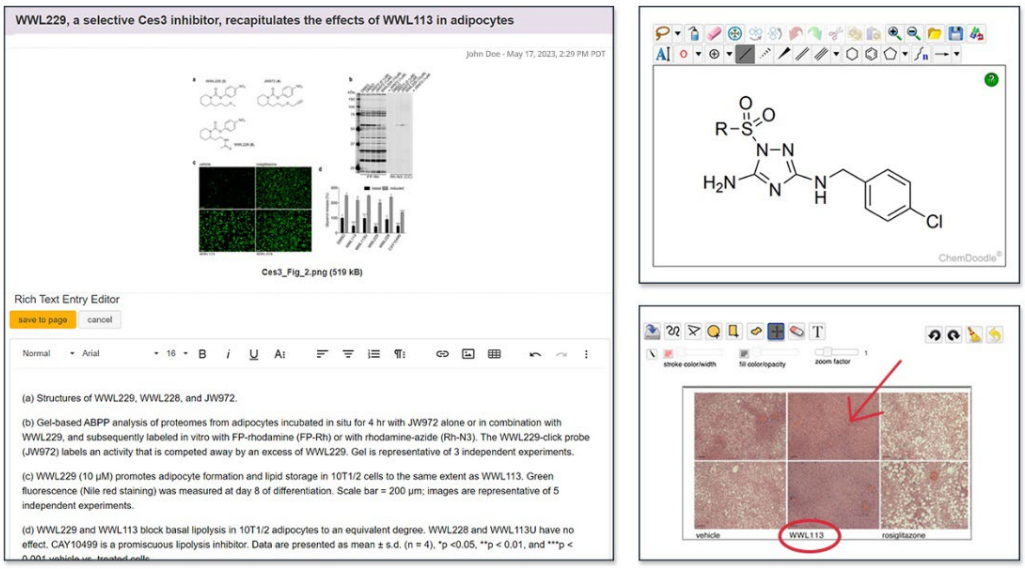
شکل ۶ نمایی از بخش‌های مختلف برنامه LabArchives ELN.

ادغام LabArchives ELN با نرم‌افزارهای محبوب توسعه یافته توسط شرکت Dotmatics، از جمله SnapGene و GraphPad Prism به کارایی بیشتر این ELN کمک کرده است. به اشتراک‌گذاری پروتکل‌ها، فایل‌ها و داده‌ها با اعضای تیم و همکاران خارجی، ردیابی فعالیت‌ها، برقراری ارتباط به صورت در لحظه، و فعالیت به صورت همزمان بر روی صفحات دفترچه برای به دست آوردن سریع بازخورد و تجزیه و تحلیل آسان‌تر در LabArchives ELN امکان‌پذیر است. داده‌های تحقیقاتی تنها برای اعضای مجاز با رمزگذاری و ویژگی‌های امنیتی پیشرو در صنعت قابل دسترس است.

ذخیره‌سازی داده‌ها در LabArchives ELN به میزبانی سرور ابری در ایالات متحده امریکا انجام می‌شود. حضور ۷۵۰۰۰۰ محقق به عنوان کاربر و ۱/۵ میلیون دفترچه الکترونیکی ثبت شده در LabArchives، به همراه دانشگاه‌های معتبر و شناخته شده به عنوان مشتریان آن از محبوبیت بالای LabArchives در میان ELN های مورد بررسی حکایت دارد. شکل ۷ نشان تجاری برخی از مشتریان دانشگاهی و تجاری LabArchives را نشان می‌دهد. ELN توسعه یافته توسط LabArchives با استانداردهای انطباق از جمله SOC۲، ISO ۲۷۰۰۱، HIPAA و GDPR مطابقت دارد.

شکل ۷ نشان تجاری برخی از مشتریان دانشگاهی و تجاری برنامه LabArchives ELN.

خدمات متفاوتی با هزینه‌های متغیر توسط LabArchives در حوزه ELN ارائه می‌شود. نسخه رایگان از این ELN نیز موجود است. اختصاص و به اشتراک‌گذاری دفترچه‌های ثبت شده به تنها دو کاربر، محدودیت حجم فایل (در هر فایل) ۲۵ مگابایت، فضای ذخیره‌سازی در مجموع ۱ گیگابایت، تعداد کاربر مهمان نامحدود از ویژگی‌های کلیدی نسخه رایگان LabArchives است. نسخه حرفه‌ای از LabArchives ELN بدون محدودیت و با امکانات بیشتر با پرداخت ۳۳۵ و ۵۷۵ دلار به ترتیب برای دانشگاهیان و شرکت‌های بزرگ و اشخاص حقوقی دردسترس است.



شکل ۸ نمایی از یک دفترچه آزمایشگاهی ثبت شده در LabArchives ELN.

ویژگی‌های LabArchives ELN

۱- دفترچه (شکل ۸)

-رابط کاربری همه‌کاره و آسان.

-سازگار با مرورگرها در موبایل و تبلت.

-ثبت یادداشت‌ها، ایجاد جداول، افزودن لینک‌ها، گنجاندن فایل‌های رسانه‌ای.

-امکان افزودن و ویرایش اسناد Microsoft Office در ELN.

-ذخیره فایل‌ها با قالب‌های متنوع و متعدد.

-ایجاد فرم‌ها، ماشین حساب‌ها و ابزارک‌های[۱] سفارشی یا از استفاده از ده‌ها ابزارک علمی از پیش ساخته.

-ادغام با نرم‌افزارهای علمی شناخته شده از جمله SnapGene و GraphPad Prism.

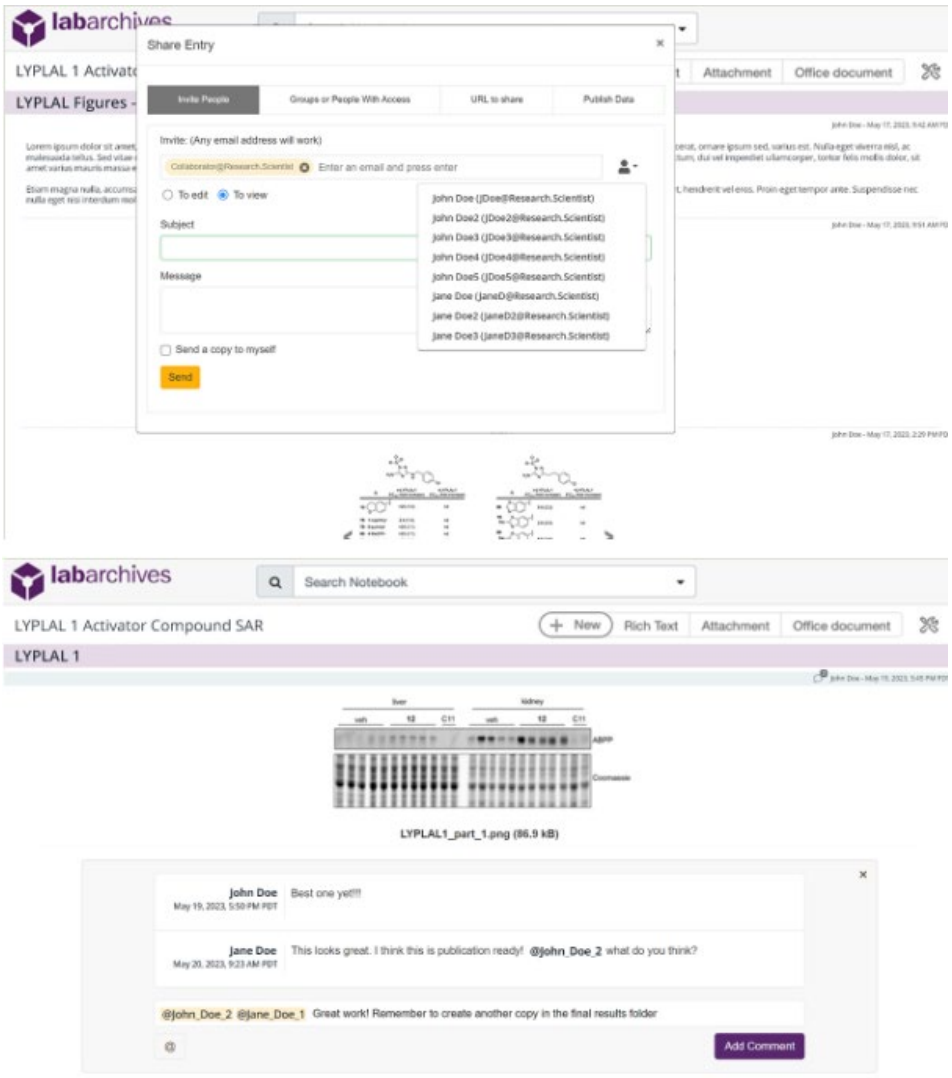
-حاشیه‌نویسی تصویر.

-طراحی ساختارهای شیمیایی.

-درج معادلات.

-ایجاد فهرستی از مراجع از پایگاه‌داده PubMed.

[۱] Widgets



شکل ۹ نمایی از نحوه همکاری و به اشتراک‌گذاری داده‌ها در LabArchives ELN

۲- همکاری (شکل ۹)

-هشدار به صورت در لحظه از تمام فعالیت‌های تحقیقاتی از طریق Activity Feed.

-فعالیت به صورت همزمان بر روی صفحات دفترچه.--ارائه نظرات و تگ کاربران در هر ورودی.

-امضا و مشاهده گردش کار.

-تعیین نقش‌ها و مجوزهای کاربر به صورت سلسله مراتبی.

-دعوت همکاران به دفترچه‌ها، پوشه‌ها، پروژه‌ها، صفحات یا ورودی‌ها.

-ابزارهای نظارت و گزارش‌دهی برای فعالیت‌ها.

-به اشتراک‌گذاری و انتشار آسان داده‌ها.

-استاندارد کردن فرآیندهای تحقیقاتی در بین تیم‌ها.

۳- مدیریت اطلاعات

-تلفیق اسناد و داده‌های تحقیقاتی.

-ایجاد کتابخانه‌ای از برچسب‌های سفارشی برای استفاده در بین کاربران دفترچه.

-پیوند به سایر صفحات دفترچه یا ورودی‌ها، مسیرهای فایل‌های داخلی یا وب‌سایت‌های خارجی.

-حاشیه‌نویسی فایل‌ها و نوشته‌های منتشر شده با ابرداده‌های شخصی.

-بارگذاری فایل‌ها از پوشه‌های محلی از طریق LabArchives Folder Monitor به صورت خودکار.

-همگام‌سازی ورودی‌ها با LabArchives Inventory در راستای مرتبط‌سازی استفاده از مواد با داده‌های تحقیقاتی.

۴- امنیت (شکل ۱۰)

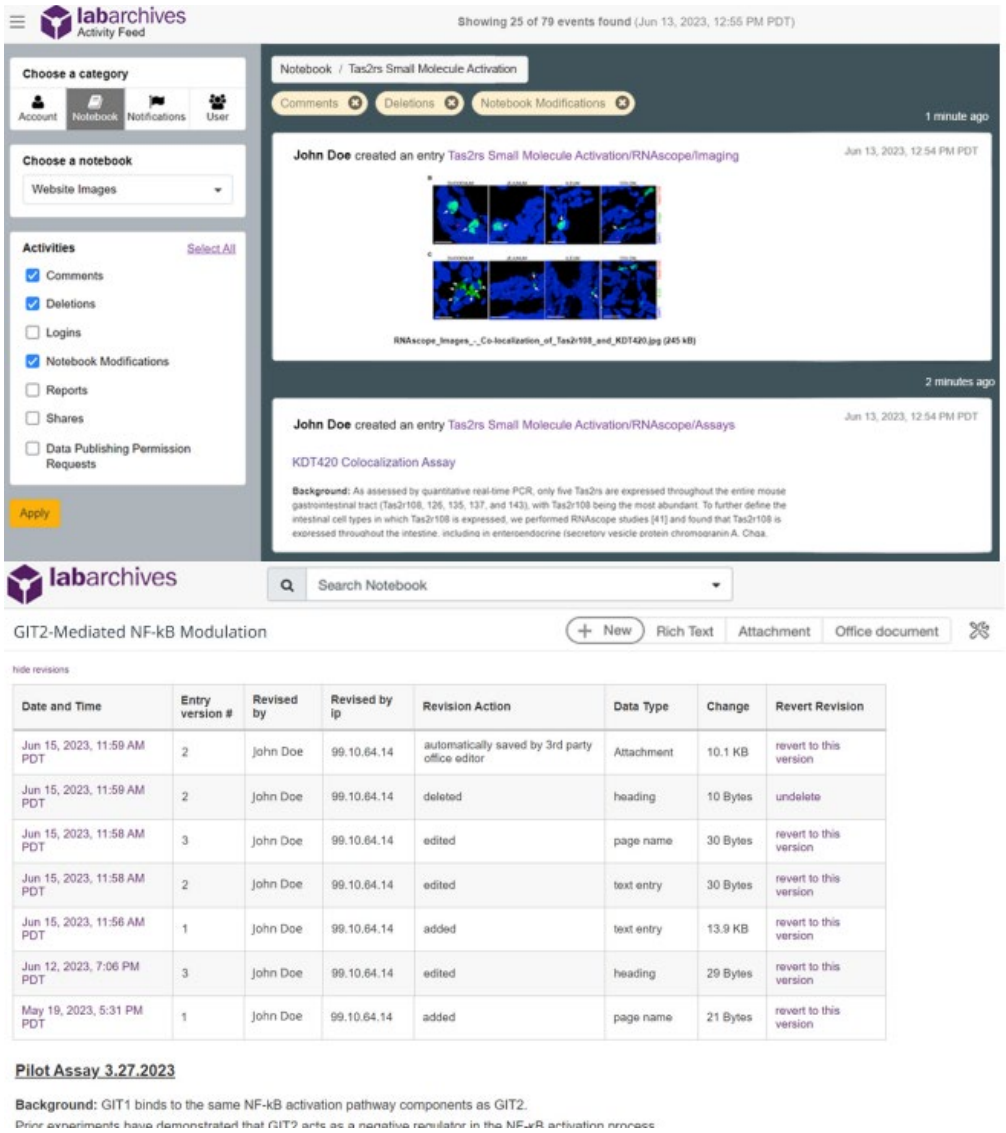
-امنیت داده‌ها و رمزگذاری پیشرو در صنعت.

-در دسترس بودن داده‌ها با پشتیبان‌گیری خودکار.

-انتقال امن مالکیت دفترچه.

-تاریخچه ویرایش کامل با برچسب‌های زمانی غیرقابل تغییر.

-مطابقت با استانداردهای انطباق SOC۲، ISO ۲۷۰۰۱، HIPAA، GDPR، و سایر الزامات نظارتی.



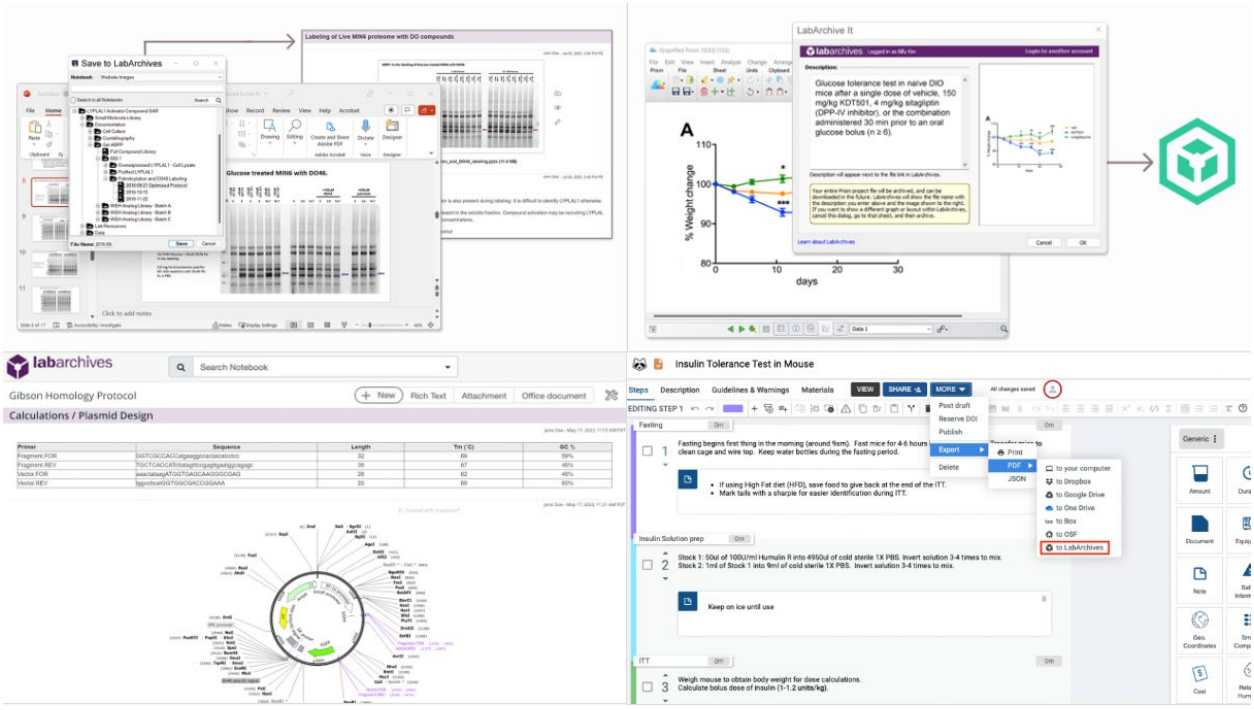
شکل ۱۰ محافظت از داده‌های تحقیقاتی در LabArchives ELN. در این شکل ردیابی خودکار همه تغییرات در بالا و جلوگیری از دست رفتن داده‌ها در پایین در LabArchives ELN نشان داده شده است. محافظت از داده‌های تحقیقاتی به کمک استانداردهای پیشرو در صنعت برای امنیت داده صورت می‌گیرد. پشتیبان‌گیری خودکار و کنترل نسخه‌ها و تاریخچه‌ها تضمین می‌کند که کاربر همواره یک ثبت کامل و دائمی از تحقیقات خود را داشته باشد. ویژگی‌های داخلی LabArchives به کاربر این امکان را می‌دهد که یک پیگیری کامل از هر اقدام و بازبینی در ELN داشته باشد، از جمله اینکه چه کسی تغییرات را انجام داده، چه زمانی ایجاد شده است و چه چیزی تغییر کرده است.

ادغام LabAchives ELN با سایر برنامه‌ها

امکان ادغام برنامه‌های خارجی با LabArchives ELN جهت ساده‌سازی گردش کارها و بهبود بهره‌وری وجود دارد. این ابزارها در دو دسته اصلی ابزارهای تحقیقاتی و بهره‌وری و ابزارهای مرتبط با آموزش جهت انتشار، ذخیره‌سازی داده‌ها و همکاری قرار می‌گیرند. نمونه‌هایی از این یکپارچه‌سازی در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.

۱- ابزارهای تحقیقاتی و بهره‌وری:

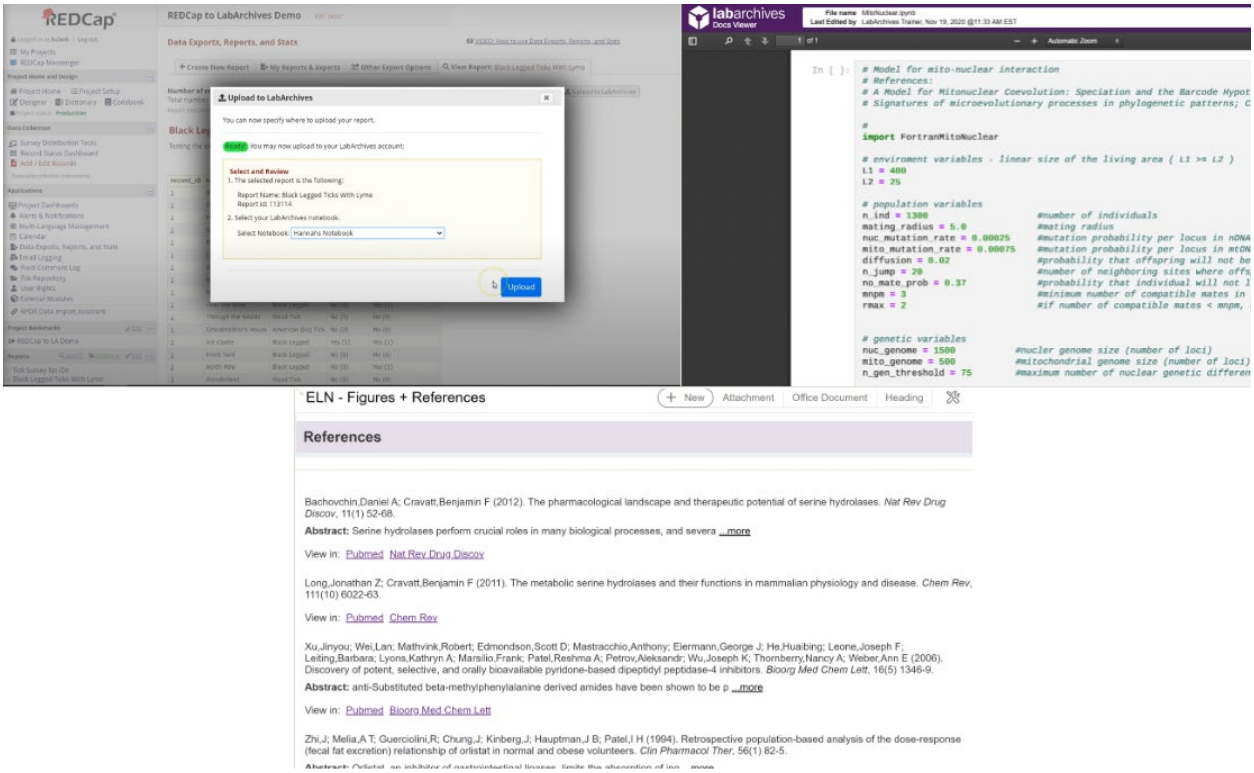
Microsoft Office (Microsoft Word، Microsoft Excel، Microsoft Powerpoint)، iChemLabs، SnapGene، GraphPad Prism، AWS، Australian Access Federation، Azure Active Directory، BioMed Central، DataCite، Enago، FigShare، Google Docs، Google Slides، Google Sheets، Jupyter، Microsoft Active Directory، Protocols.io، PubMed، Qeios، REDCap، SciSpace، YouTube.



شکل ۱۱ ادغام LabArchives ELN با سایر برنامه‌ها. در این تصویر برای نمونه، ادغام این ELN با Microsoft Office (سمت چپ بالا)، GraphPad Prism (سمت راست بالا)، SnapGene (سمت چپ پایین) و مشاهده پروتکل‌ها در Protocols.io (سمت راست پایین) نشان داده شده است.

۲- ابزارهای مرتبط با آموزش جهت انتشار، ذخیره‌سازی داده‌ها و همکاری:

.Vernier ،TurnItIn ،OpenStax ،Moodle ،Hayden-McNeil ،Canvas ،Blackboard

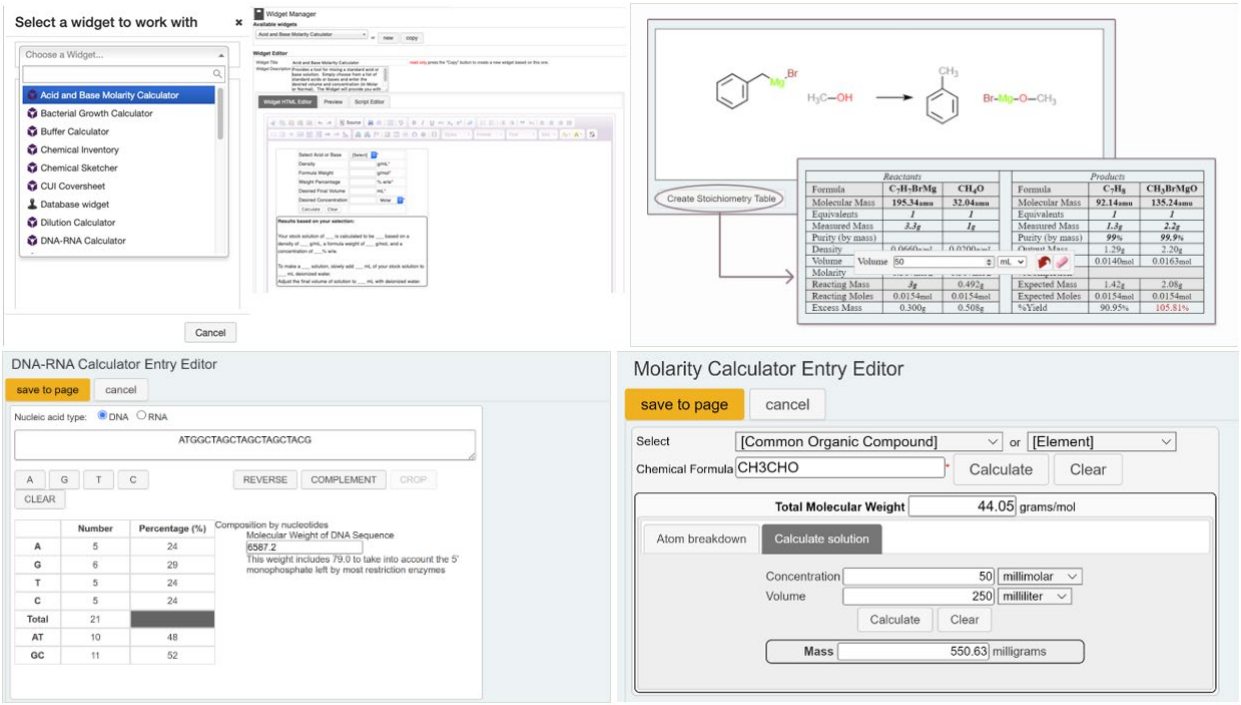


شکل ۱۲ ادغام LabArchives ELN با سایر برنامه‌ها. در این تصویر برای نمونه، ادغام ELN با REDcap (سمت چپ بالا)، بارگذاری فایل‌های Jupyter (سمت راست بالا) و وارد کردن و ذخیره منابع از پایگاه‌داده PubMed (پایین) نشان داده شده است.

ابزارک‌ها در LabArchives

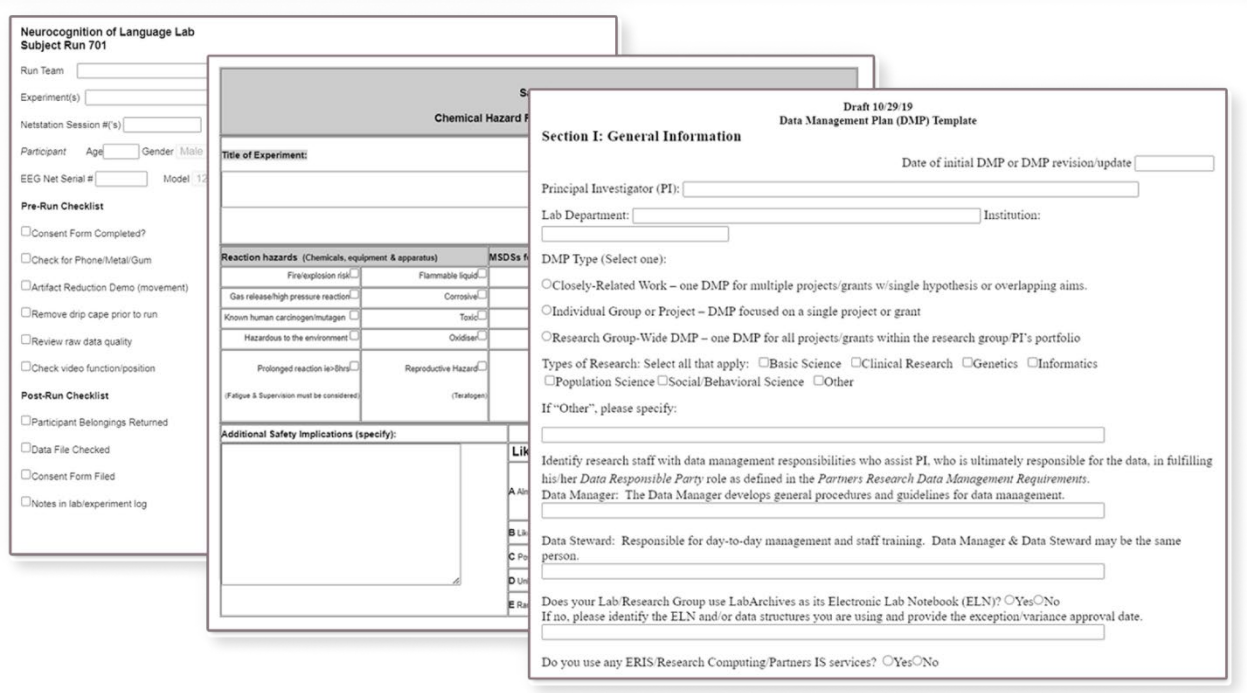
ابزارک یا ویجت، فرم‌ها یا برنامه‌های کاربردی HTML قابل تنظیم و تعاملی هستند. ویجت‌ها را می‌توان برای آزمایش خاص کاربر تنظیم کرد که شامل جعبه‌های نوشتاری تعاملی، دکمه‌ها، چک باکس‌ها، جداول، منوهای کشویی و موارد دیگر است.

در LabArchives، کاربران می‌توانند از ویجت‌های داخلی از پیش ساخته نیز استفاده کنند. موجودی را از طریق پایگاه‌داده یا ویجت فریزرباکس مدیریت کنند، یا ویجت اختصاصی خود را ایجاد کنند. LabArchives شامل بیش از ۲۰ ویجت مختلف از پیش طراحی شده است. ازجمله این ابزارک‌های از پیش ساخته شده می‌توان به چندین ویجت ماشین حساب، مانند محاسبه کننده مولاریته اسید و باز، محاسبه کننده دنا–رنا، محاسبه کننده ساخت انواع بافرها، محاسبه کننده رادیواکتیویته و غیره اشاره کرد (شکل ۱۳). برای نمونه از ویجت Chemical Sketcher برای ترسیم نمایش خطی پیوند مولکول‌ها و واکنش‌های مولکولی استفاده می‌شود.



شکل ۱۳ نمایی از ابزارک‌های پیش ساخته در LabArchives ELN. نحوه انتخاب ابزارک‌ها، ایجاد جدول استکیومتری، حسابگر دنا-رنا، و محاسبه کننده مولاریته اسید و باز در این شکل نشان داده شده است.

علاوه بر ویجت‌های از پیش ساخته، در LabArchives هر کاربر می‌تواند ویجت خود را نیز ایجاد کند. این فرم‌ها به کمک HTML ساخته می‌شوند، اما در واقع برای ساختن آنها نیازی به کدنویسی و دانستن زبان برنامه‌نویسی HTML نیست. این کار از طریق بخش مدیریت ویجت (The Widget Manager) در LabArchives صورت می‌گیرد (شکل ۱۴).

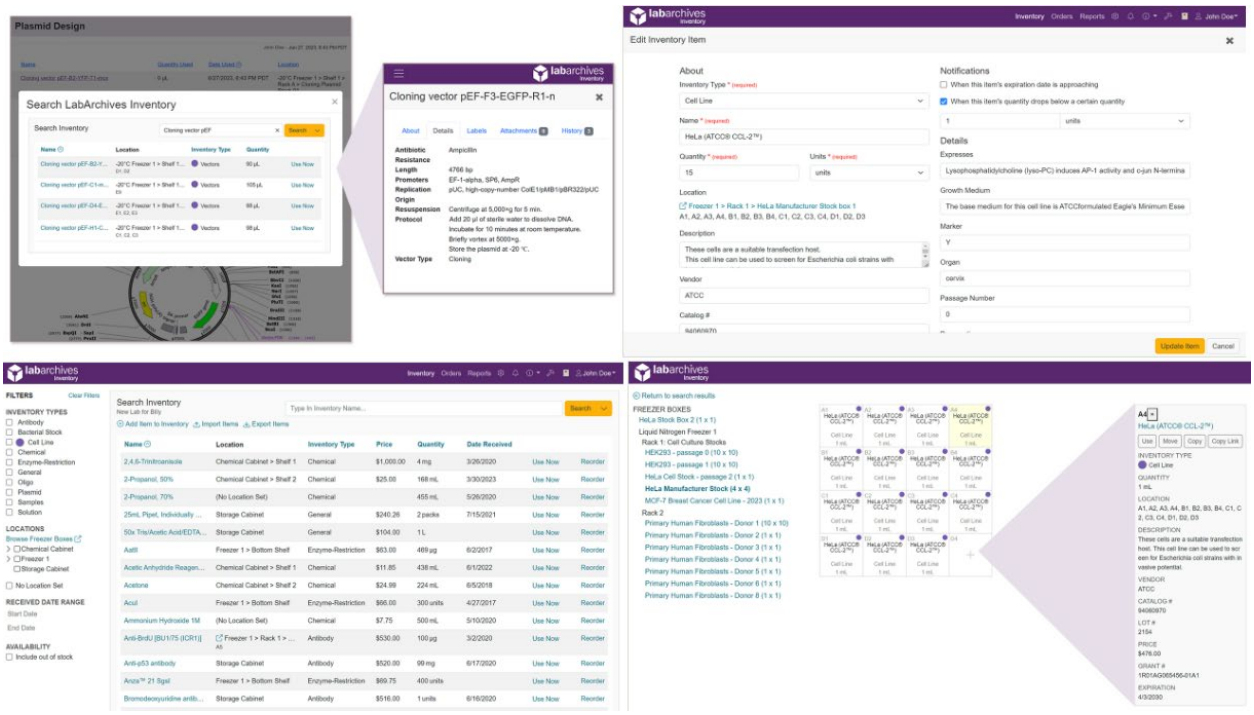


شکل ۱۴ ساخت ابزارک سفارشی در LabArchives ELN.

LabArchives Inventory

LabArchives Inventory نرم‌افزار قابل تنظیم برای یافتن، پیوند دادن و استفاده از موجودی در آزمایشگاه‌ها است. با اتصال Inventory به LabArchives ELN، می‌توان تکرارپذیری آزمایش‌ها را بهبود بخشید و پروتکل‌ها و داده‌های تجربی را با نمونه‌ها، لات‌ها و سایر اقلام موجودی پیوند داد. ثبت و مشاهده جزئیات مهم برای هر ورودی موجودی، از جمله مکان، توضیحات، فروشنده، کد کمک هزینه، برگه‌های ایمنی، تاریخ انقضا، مقادیر فعلی و سابقه در LabArchives Inventory امکان‌پذیر است.

با کمک رابط بصری برنامه می‌توان موجودی‌ها را بر اساس فیلدهای سفارشی، مکان‌ها، کلمات کلیدی و موارد دیگر جست‌وجو، مرتب‌سازی و فیلتر کرد تا در زمان صرفه‌جویی کرده و سازماندهی داده‌ها را تسهیل بخشید. در این برنامه کاربر می‌تواند برای مستندسازی، یافتن و استفاده از نمونه‌ها با سرعت و دقت به نمای جعبه فریزر دسترسی داشته باشد و مقدار و میزان مصرف موجودی را به صورت در لحظه پیگیری کند. این برنامه با کمک اعلان‌های خودکار اقلام در حال اتمام یا در حال انقضا به کاربران هشدار می‌دهد. شکل ۱۵ نمایی از بخش‌های مختلف برنامه LabArchives Inventory را نشان می‌دهد.

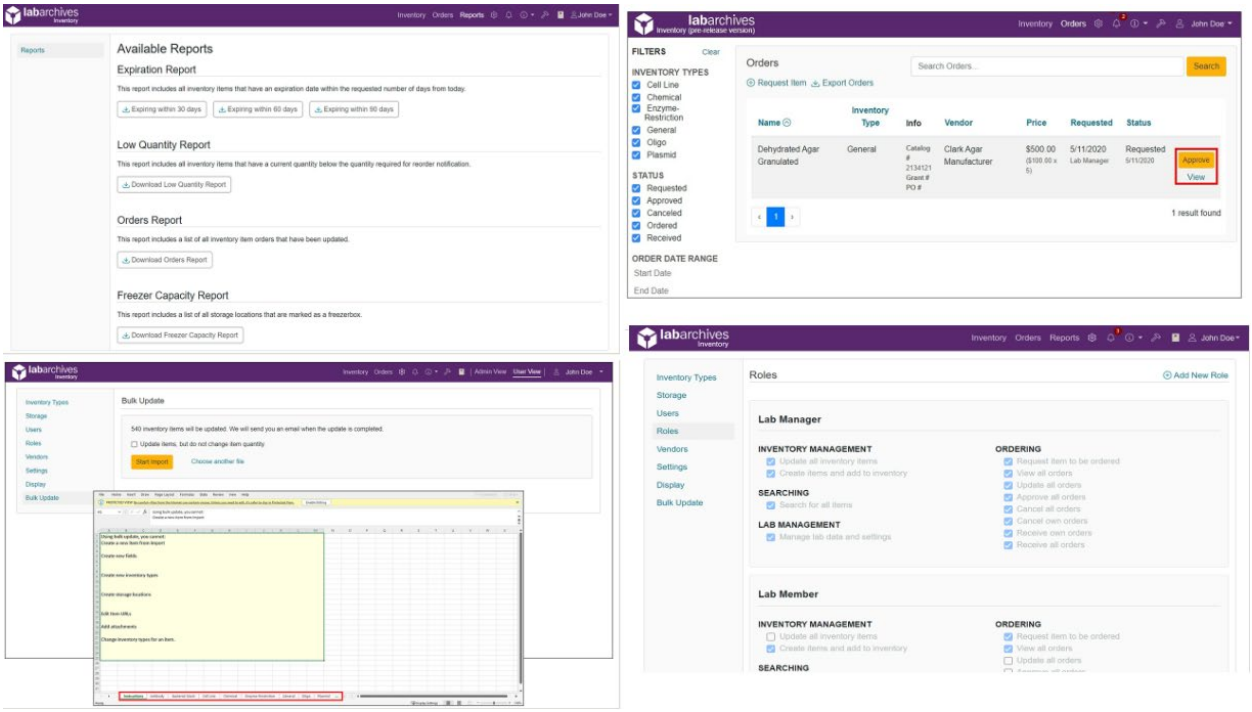


شکل ۱۵ نمایی از بخش‌های مختلف برنامه LabArchives Inventory. ارتباط موجودی با آزمایش‌ها، درج و ویرایش جزئیات مرتبط با هر موجودی، یافتن سریع اقلام و موجودی‌ها و مدیریت جعبه فریزر از بخش‌های نشان داده شده برای LabArchives Inventory در این تصویر است.

علاوه بر مزایای ذکر شده، LabArchives Inventory مدیریت آزمایشگاه را نیز ساده می‌کند (شکل ۱۶). در واقع بار اداری در آزمایشگاه با ابزارهای ویژه برای سازماندهی، سفارش و مدیریت موجودی کاهش پیدا می‌کند. منابع آزمایشگاه را می‌توان با ایجاد گزارش‌های جامع موجودی که دسته‌ها و مواد پرکاربرد، مواد با تاریخ انقضای نزدیک و یا با موجودی کم، به‌روزرسانی‌های درخواست سفارش و ظرفیت جعبه فریزر را ردیابی می‌کند، مدیریت کرد. با کمک LabArchives Inventory، پیگیری و مدیریت درخواست-های سفارش برای تأیید درخواست‌ها، پیگیری وضعیت آنها و دریافت مواد تسهیل پیدا می‌کند.

با کمک ویژگی بارگذاری انبوه که به کاربر امکان می‌دهد به راحتی صفحات گسترده موجود را به ورودی موجودی تبدیل کند یا جزئیات را برای چندین مورد به طور همزمان به‌روزرسانی کند، در زمان کاربران صرفه‌جویی می‌شود. چاپ برچسب‌ها و اسکن بارکدها برای دسترسی سریع و آسان به جزئیات، پیوست‌ها و ورودی‌های ELN از دیگر امکانات LabArchives Inventory است. در این برنامه می‌توان نقش‌ها و مجوزهای کاربر را برای اطمینان از سازگاری و انطباق با خط‌مشی‌های سازمانی اختصاصی کرد. از نقش‌های پیش فرض مدیر آزمایشگاه و عضو آزمایشگاه استفاده کرد یا نقش‌های سفارشی ایجاد کرد.

LabArchives Inventory تنها به مدت ۹۰ روز به صورت رایگان در اختیار کاربران قرار دارد. خدمات به ترتیب برای دانشگاهیان و شرکت‌های بزرگ و اشخاص حقوقی با پرداخت ۹۹ و ۱۹۹ دلار به ازای یک کاربر و به صورت سالیانه قابل دسترس است. سایر خدمات Inventory با شخصی‌سازی‌های متفاوت با پرداخت هزینه‌های متغیر از سوی LabArchives برای کاربران ارائه می‌شود.



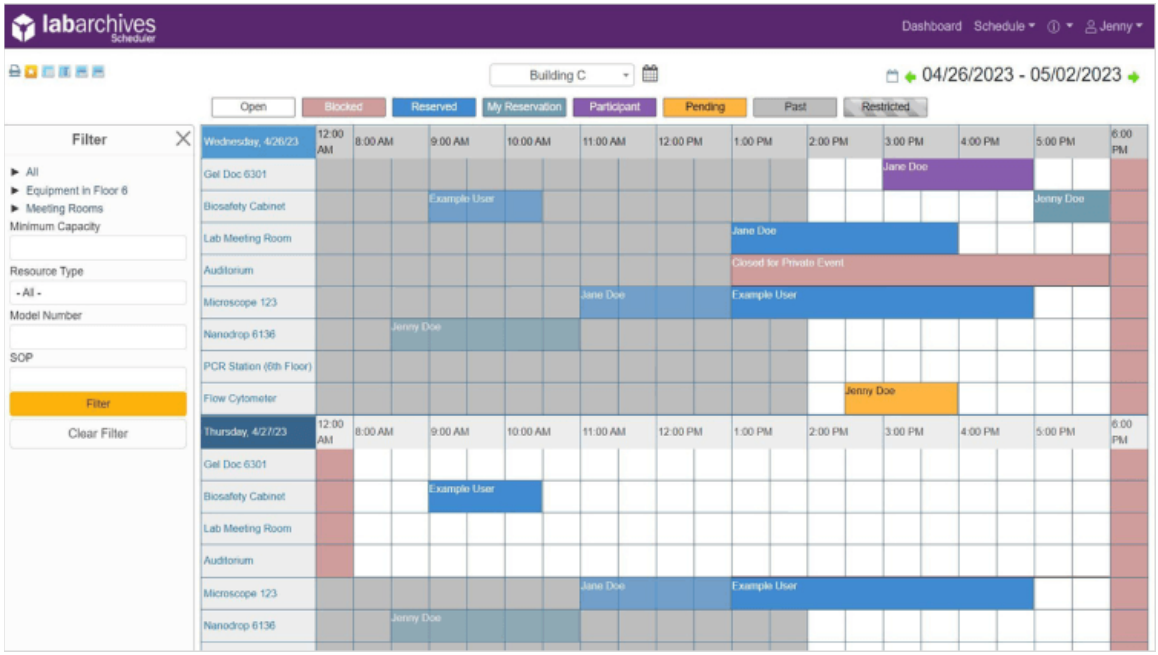
شکل ۱۶ نمایی از مدیریت آزمایشگاه به کمک برنامه LabArchives Inventory. ایجاد گزارش‌های جامع موجودی، پیگیری و مدیریت درخواست‌های سفارش، بارگذاری و به‌روزرسانی انبوه و مدیریت نقش‌ها و مجوزهای کاربر در برنامه LabArchives Inventory در این شکل نشان داده شده است.

LabArchives Scheduler

LabArchives Scheduler یک نرم‌افزار تقویم و زمان‌بندی با کاربری آسان برای مدیریت و زمان‌بندی تجهیزات و منابع آزمایشگاهی است (شکل ۱۷). LabArchives Scheduler بررسی در دسترس بودن و دریافت به‌روزرسانی‌های در لحظه در مورد همه منابع موجود در آزمایشگاه را آسان می‌کند. زمان‌بندی آزمایشگاه، اتاق‌های جلسه و رزرو تجهیزات آزمایشگاهی را با یک کلیک و کشیدن ساده می‌توان در این برنامه تنظیم کرد.

سفارشی‌سازی قدرتمند و قابل تطبیق برای هر سازمان از دیگر امکانات LabArchives Scheduler است. ایجاد قوانین و سهمیه‌های زمان‌بندی سفارشی، نظارت بر منابع با فیلدهای سفارشی، تنظیم مجوزهای دسترسی کاربر، تهیه گزارش‌های استفاده دقیق برای

پیگیری رزروها و استفاده از منابع، ارزیابی ارزش منابع بر اساس استفاده و جبران هزینه‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات از دیگر ویژگی‌های این برنامه است.



شکل ۱۷ نمایی از برنامه LabArchives Scheduler.

برنامه LabArchives Scheduler برای ۵ کاربر و ۵ منبع و با تعریف حداکثر ۵ برنامه رایگان است. دانشگاهیان و شرکت‌های بزرگ به ترتیب با پرداخت ۳۵ و ۱۰۵ دلار به صورت سالیانه به ازای هر کاربر می‌توانند از خدمات LabArchives Scheduler بدون محدودیت استفاده کنند. شکل ۱۸ نمایی از امکانات مختلف برنامه LabArchives Scheduler را نشان می‌دهد.

ویژگی‌های LabArchives Scheduler

۱) گزینه‌های سفارشی‌سازی قدرتمند.

۲) تنظیمات طرح‌بندی انعطاف‌پذیر.

۳) رزرواسیون منابع و دستگاه‌ها.

۴) رزروهای مکرر با یادآوری شروع و پایان.

۵) ثبت نام در لیست انتظار در صورت در دسترس نبودن منبع.

۶) تعیین محدودیت‌های ظرفیت و ایجاد پارامترهای سفارشی.

۷) تعیین محدودیت ظرفیت برای حداکثر تعداد شرکت کننده در هر رزرو.

۸) تنظیم حداکثر ساعت یا تعداد رزرو در روز، هفته، ماه یا سال.

۹) تنظیم حداقل/حداکثر و محدودیت‌های زمانی برای محدود کردن مدت زمان رزرو.

۱۰) ردیابی منابع و ارزیابی استوک‌ها.

۱۱) نمایش در لحظه در دسترس بودن منابع و دستگاه‌ها.

۱۲) ایجاد گزارش‌های استفاده دقیق.

۱۳) پیگیری استفاده توسط کاربر یا گروه.

۱۴) استفاده از منابع برای ارزیابی و تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای.

۱۵) پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری.

۱۶) کنترل دسترسی و مدیریت کاربر.

۱۷) سازماندهی کاربران و محدود کردن دسترسی به گروه‌ها.

۱۸) تعیین سهمیه‌های کاربر و گروه.

۱۹) محدود و کنترل کردن دسترسی از طریق فرآیند دعوت امن.

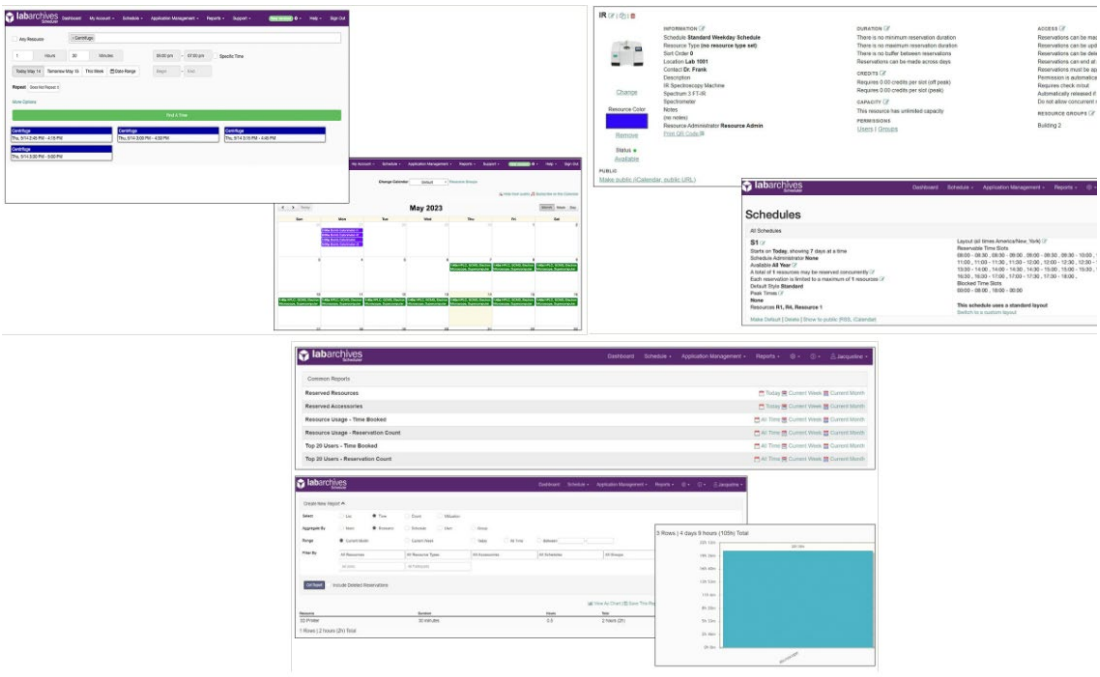
۲۰) گزینه‌های احراز هویت قابل تنظیم.

۲۱) بررسی اختیاری و تأیید درخواست‌های رزرو.

۲۲) ادغام با سیستم‌های تقویم از جمله Outlook و Google Calendars.

۲۳) ادغام با برنامه‌های پرداخت برای تامین هزینه‌های استفاده.

۲۴) برنامه‌ریزی بهینه‌سازی شده برای موبایل برای تسهیل مدیریت رزروها از هر مکان.



شکل ۱۸ نمایی از امکانات مختلف برنامه LabArchives Scheduler. در این شکل ویژگی‌های برنامه‌ریزی با قابلیت مشاهده به صورت در لحظه، سفارشی‌سازی قدرتمند و قابل تطبیق برای هر سازمان، ردیابی و گزارش استفاده از منابع نشان داده شده است.

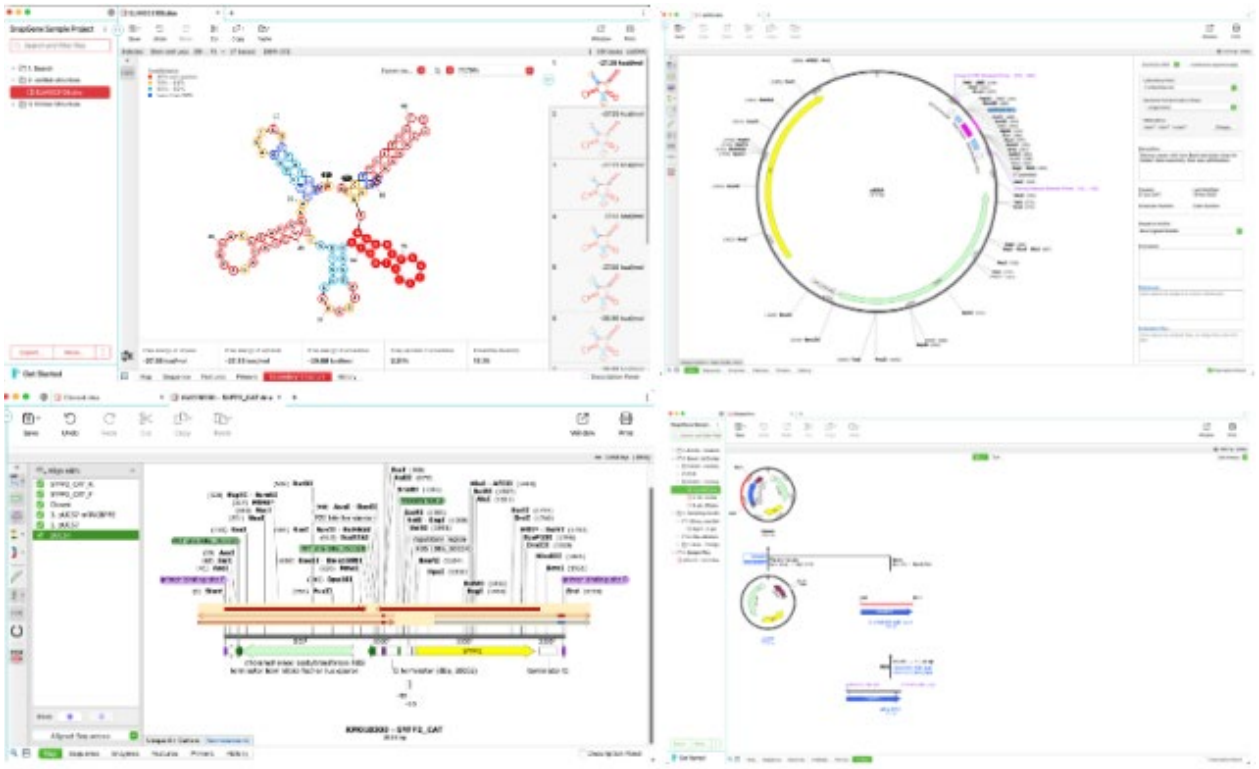
در ادامه معرفی LabArchives، برنامه SnapGene که توسط شرکت Dotmatics توسعه یافته است و در LabArchives ELN برای برنامه‌ریزی، تجسم و مستندسازی روش‌های مختلف زیست‌شناسی مولکولی یکپارچه‌سازی شده است، معرفی می‌شود. معرفی این ابزار در این بررسی از این جهت حائز اهمیت است که با شناخت ویژگی‌های کلیدی و کاربردی SnapGene، می‌توان در جهت ارائه یک ELN کارآمد در حوزه زیست‌شناسی مولکولی و زیست‌فناوری حرکت کرد. با ارائه ویژگی‌های کاربردی برنامه SnapGene در یک ابزار ELN، بیشتر نیازهای محققان در این حوزه در یک برنامه واحد بر طرف شده و نیاز به استفاده از یک ابزار ثانویه از میان می‌رود.

معرفی برنامه SnapGene

SnapGene ابزاری برجسته در حوزه علوم زیستی و زیست‌فناوری به شمار می‌آید که محبوبیت قابل توجهی در بین محققان در سراسر جهان به دست آورده است. SnapGene به طور گسترده‌ای به عنوان یکی از سریع‌ترین و ساده‌ترین ابزارها برای برنامه‌ریزی، تجسم و مستندسازی روش‌های مختلف زیست‌شناسی مولکولی شناخته شده است. SnapGene با رابط بصری و ویژگی‌های جامع خود، محققان را قادر می‌سازد تا توالی‌های دنا را حاشیه‌نویسی کنند، آغازگر طراحی کنند، تجزیه و تحلیل هضم‌های آنزیمی را انجام

دهند و حتی آزمایش‌های شبیه‌سازی مولکولی را به صورت مجازی بررسی کنند. در مجموع SnapGene به ابزاری ارزشمند برای زیست شناسان مولکولی و زیست فناوران تبدیل شده است.

شکل ۱۹ نمایی از نحوه نمایش توالی‌ها و نقشه‌ها و نیز حاشیه‌نویسی آنها را در این برنامه نشان می‌دهد. این برنامه یکی از پرکاربردترین ابزارهای زیست‌شناسی مولکولی به شمار می‌آید. هزینه SnapGene برای حساب‌های کاربری دانشگاهی، ۲۹۵ دلار در سال (دسترسی برای یک کاربر) است. برای دانشجویان خدمات با پرداخت ۱۴۹ دلار در سال نیز قابل ارائه است.



شکل ۱۹ نمایی از بخش‌های مختلف برنامه SnapGene.

ویژگی‌های برنامه SnapGene:

۱) انواع مختلف شبیه‌سازی مولکولی[۱] (شکل ۲۰).

۲) طراحی آغازگر.

۳) اتصال دو الیگونوکلئوتید برای تشکیل یک محصول دو رشته‌ای.

[۱] Molecular Cloning

۴) شبیه‌سازی واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز[۱] (PCR).

۵) جهش‌زایی هدفمند به کمک آغازگر.

۶) شبیه‌سازی ژل آگارز.

۷) مشاهده و ویرایش ویژگی‌های ترجمه شده توالی‌ها.

۸) بررسی چهارچوب‌های خوانش باز[۲].

۹) ترجمه کل توالی.

۱۰) بررسی چارچوب‌های خوانش برای همجوشی ژن.

۱۱) ترجمه توالی‌ها.

۱۲) ترجمه معکوس.

۱۳) همترازی توالی‌ها.

۱۴) مشاهده چندین نما از یک توالی دنا.

۱۵) پشتیبانی از توالی‌های بزرگ و یا بررسی توالی‌های کروموزومی.

۱۶) ویرایش توالی‌های دنا و پروتئین.

۱۷) کدگذاری رنگی توالی‌ها.

۱۸) بررسی هضم آنزیمی توالی‌ها توسط مجموعه‌های آنزیمی از پیش تعریف شده.

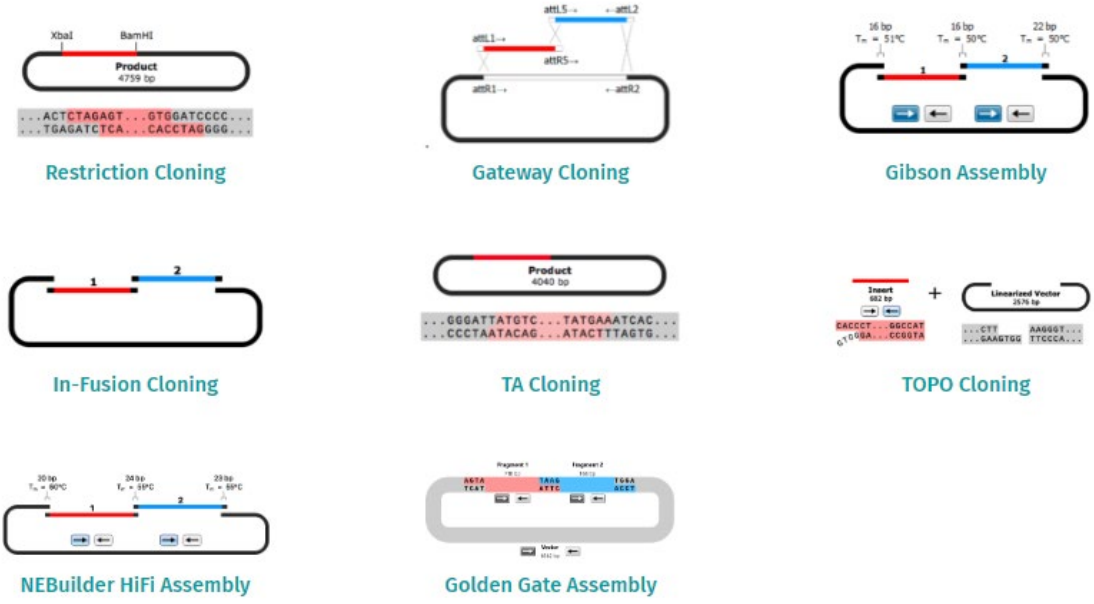
۱۹) تعیین مجموعه‌های آنزیمی سفارشی.

۲۰) مشاهده اطلاعات دقیق آنزیم‌ها.

[۱] Polymerase chain reaction (PCR)
[۲] Open reading frames (ORFs)

۲۱) جست‌وجوی توالی دنا یا پروتئین.

۲۲) جست‌وجوی آنزیم‌ها، ویژگی‌ها یا آغازگرها.



شکل ۲۰ انواع روش‌های شبیه‌سازی مولکولی در نرم‌افزار SnapGene.

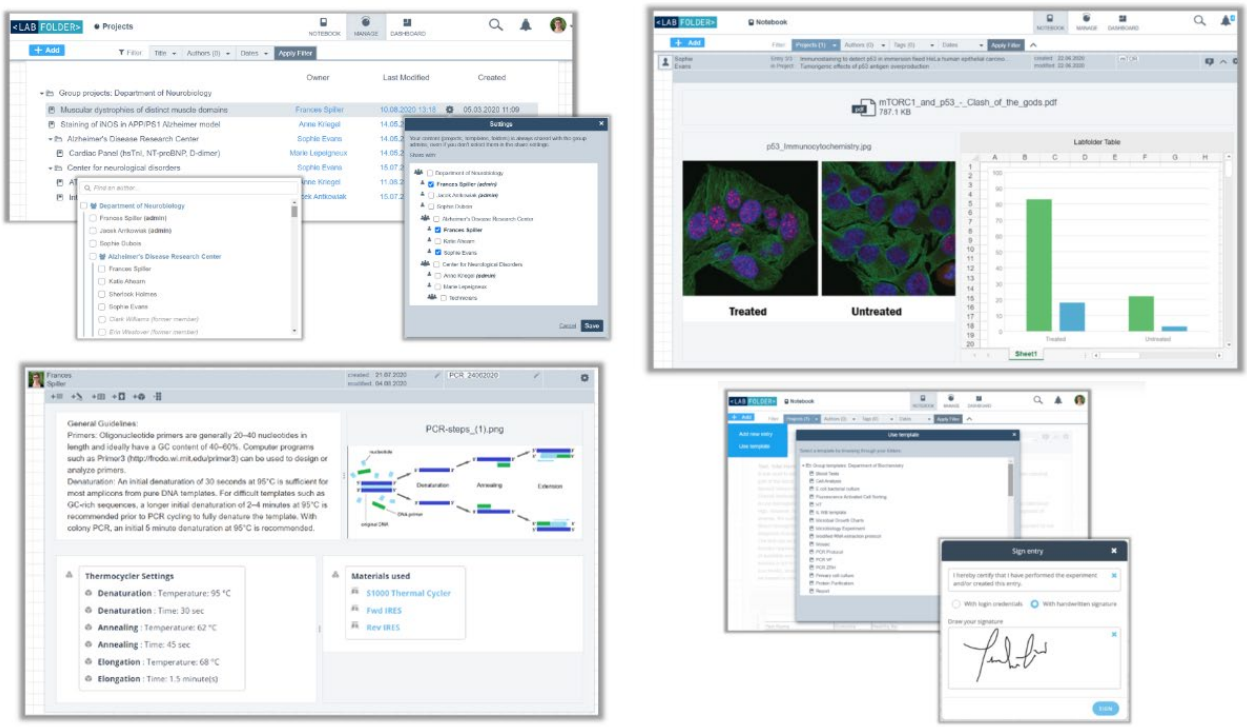
برنامه SnapGene Viewer امکان مشاهده، حاشیه‌نویسی و به اشتراک‌گذاری فایل‌های متخلف توالی، مشاهده نقشه‌های پلاسمیدی و حاشیه‌نویسی آنها را برای کاربران فراهم می‌سازد. این برنامه کاملا رایگان است. برنامه SnapGene Viewer قابلیت‌هایی هم‌چون شبیه‌سازی کلونینگ، PCR و جهش‌زایی، همترازی توالی‌ها و طراحی آغازگرها را ندارد. با این حال، با توجه به رایگان بودن این برنامه، برای نمایش توالی‌ها و حاشیه‌نویسی آنها و نیز مشاهده و ویرایش نقشه‌های پلاسمیدی کاربردی است.

Labforward

Labforward به نشانی labforward.io شرکتی آلمانی است که سه راه‌حل Labfolder، Labregister و Laboperator را در اختیار کاربران حوزه انفورماتیک آزمایشگاه قرار می‌دهد. Labfolder یک ELN برای ثبت و به اشتراک‌گذاری داده‌های آزمایشگاهی است. برنامه Labregister برای مدیریت موجودی توسط Labforward پیاده‌سازی شده است. در این گزارش به جزئیات دو برنامه Labfolder و Labregister پرداخته شده است.

Labfolder

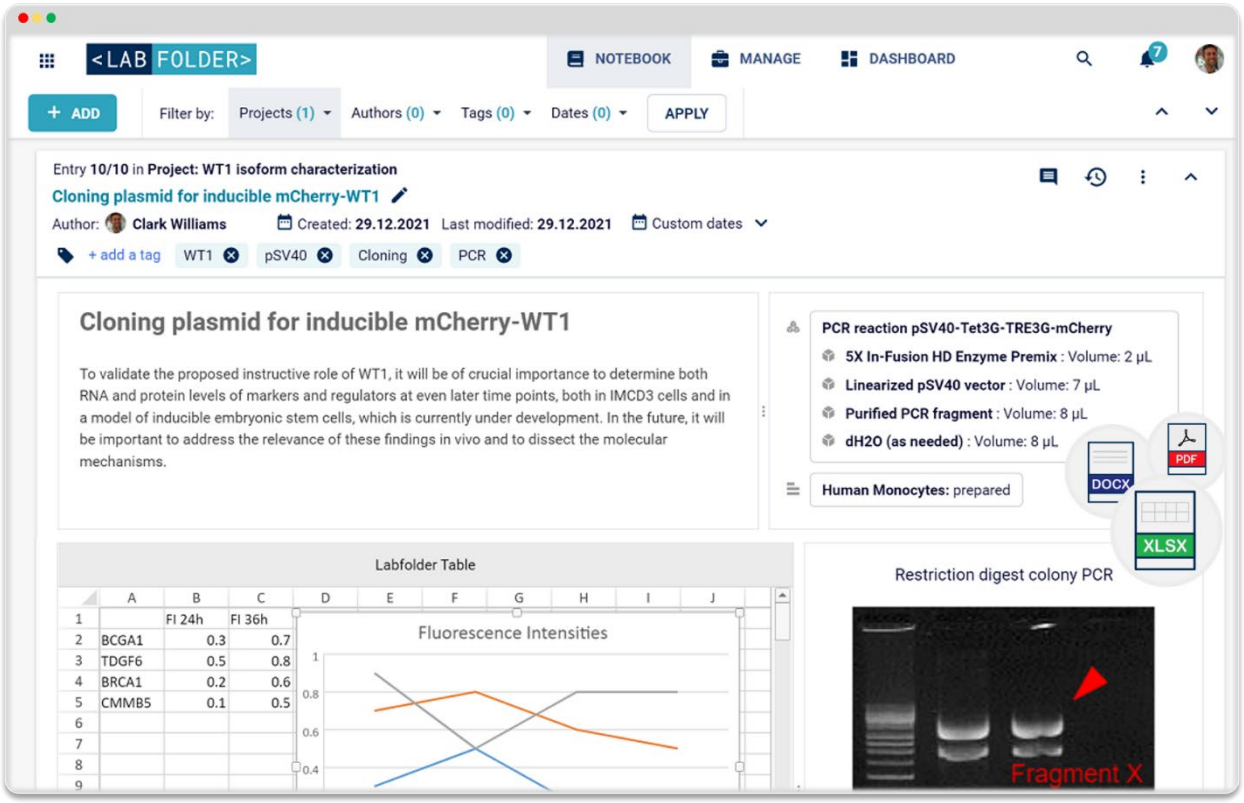
Labfolder به نشانی labfolder.com یک ELN به میزبانی کارسازهای ابری برای ثبت داده‌های تحقیقاتی بر روی یک سکوی قابل دسترسی است. این ELN همکاری، انطباق و استانداردسازی رویکردهای رایج در آزمایشگاه را تسهیل می‌کند (شکل ۲۱). LabFolder نرم‌افزار ELN مبتنی بر مرورگر است و بنابراین با تمام سیستم عامل‌ها و بیشتر مرورگرها سازگار است. شکل ۲۲ نمایی از یک دفترچه آزمایشگاهی ثبت شده در Labfolder را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ نمایی ازبخش‌های مختلفELN در برنامه Labfolder.

ادغام با برنامه‌های Figshare، Dropbox، الگوهای از پیش طراحی شده از پلیت‌ها (شکل ۲۳) و امضای دیجیتال در Labfolder از جمله امکاناتی هستند که در اختیار کاربران قرار گرفته است. Labfolder در دو نسخه رایگان و نسخه پیشرفته با پرداخت هزینه

برای دانشگاهیان و صنعت به صورت مجزا ارائه می‌شود. ورودی‌ها و پروژه‌های نامحدود، آپلود فرمت‌های مختلفی از فایل‌ها، ایجاد یک گروه با حداکثر سه عضو، پیگیری کامل، ابزارهای همکاری، پشتیبانی کامل، پشتیبان‌گیری رایگان، سه گیگابایت فضای ذخیره-سازی از ویژگی‌های نسخه رایگان برنامه Labfolder است.



شکل ۲۲ نمایی از یک دفترچه آزمایشگاهی ثبت شده در Labfolder.

ویژگی‌هایELN در Labfolder

-ایجاد متن یا وارد کردن اسناد Word.

-ایجاد جداول یا وارد کردن فایل‌های اکسل.

-ترسیم نمودار.

-انتقال داده‌ها از دستگاه‌های آزمایشگاهی.

-بارگذاری و ذخیره فایل با قالب‌های متفاوت.

-مشاهده و حاشیه‌نویسی تصاویر.

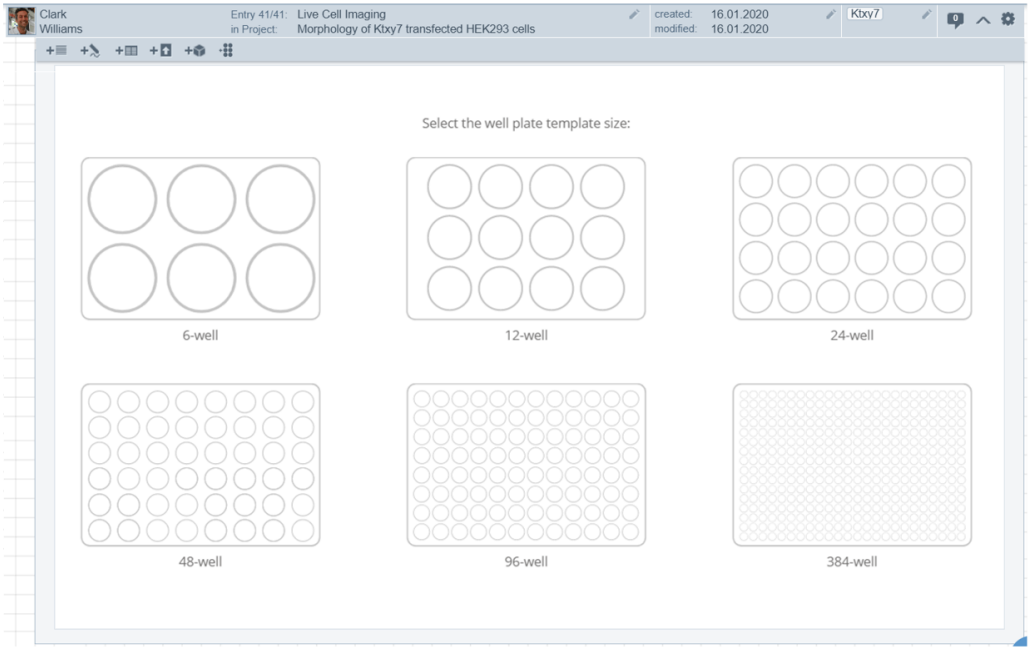
-طراحی و خروجی اسکچ.

-ساختاربندی داده‌ها با عناصر داده.

-خروجی گرفتن از داده‌ها در قالب‌های PDF و XHTML.

-سازماندهی نوشته‌ها با برچسب‌ها.

-الگوی از پیش طراحی شده و قابل ویرایش پلیت‌ها (شکل ۲۳).



شکل ۲۳ نمایی از الگوی از پیش طراحی شده و قابل ویرایش پلیت‌ها در Labfolder.

-فیلتر نتایج بر اساس پروژه، نویسنده یا تاریخ.

-جست‌وجوی محتوای متنی ورودی‌ها.

-بازیابی داده‌های ذخیره شده در پیوست‌ها.

-یافتن آزمایش‌ها بر اساس مواد/تجهیزات مورد استفاده.

-جست‌وجوی پیشرفته با تبدیل واحد و گیت‌های منطقی.

-انتقال پروتکل‌ها و SOP ها.

-اشتراک الگوها با اعضای تیم (شکل ۲۴).

-پیام به اعضای تیم.

-اعمال نظرات در مورد ورودی دفترچه.

-تعریف سطوح دسترسی توسط مدیران.

-مدیریت حساب‌های کاربری، گروه‌ها و پروژه‌ها.

-رمزگذاری SSL و پشتیبان‌گیری روزانه.

-ردیابی تغییرات و زمان.

-پیگیری کامل با تاریخچه نسخه.

-امضای دیجیتال.

-مورد استفاده توسط آزمایشگاه‌های دارای گواهی GxP وISO.

-مطابقت FDA وHIPAA.

-کنترل و مالکیت کامل داده‌ها.

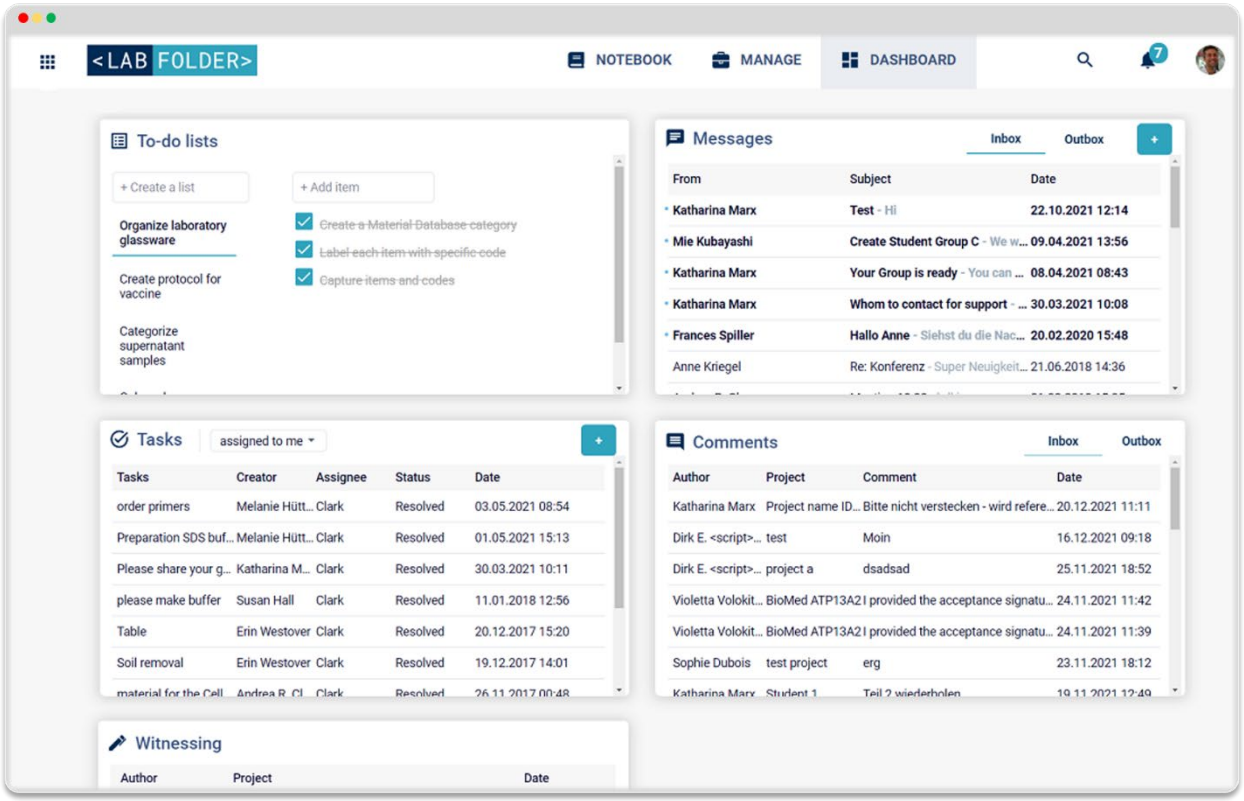
-میزبانی در سرور ابری یا سرورهای شخصی.

-مدیریت موجودی.

-ثبت پلاسمیدها، آنتی بادی‌ها، معرف‌ها و غیره.

-به‌روزرسانی ویژگی‌های استوک‌ها و در دسترس بودن آنها.

-پیوند از یادداشت‌ها به موجودی‌ها.



شکل ۲۴ نمایی از به اشتراک‌گذاری داده‌ها در Labfolder.

برای دانشگاهیان نسخه پیشرفته Labfolder با پرداخت ۱۷ دلار در هر ماه به ازای هر کاربر دردسترس قرار دارد. در این نسخه علاوه بر ویژگی‌های نسخه رایگان، مدیریت گروه، ایجاد گروه‌های فرعی نامحدود، تنظیمات اشتراک‌گذاری پیشرفته، امضا و شاهد، خروجی XHTML برای بایگانی داده‌ها، الگوهای پلیت، مطابقت با FDA و ISO، مطابقت با GxP، ورود شخصی‌سازی شده، نصب بر روی سرورهای شخصی و محلی و ۳۰۰ گیگابایت فضای ذخیره‌سازی برای هر کاربر در فضای ابری از ویژگی‌های نسخه پیشرفته Labfolder برای دانشگاهیان است. برای صنعت خدمات با پرداخت ۵۲ دلار در هر ماه به ازای هر کاربر ارائه می‌شود. شکل ۲۵ نشان تجاری برخی از مشتریان دانشگاهی و تجاری برنامه Labfolder را نشان می‌دهد.

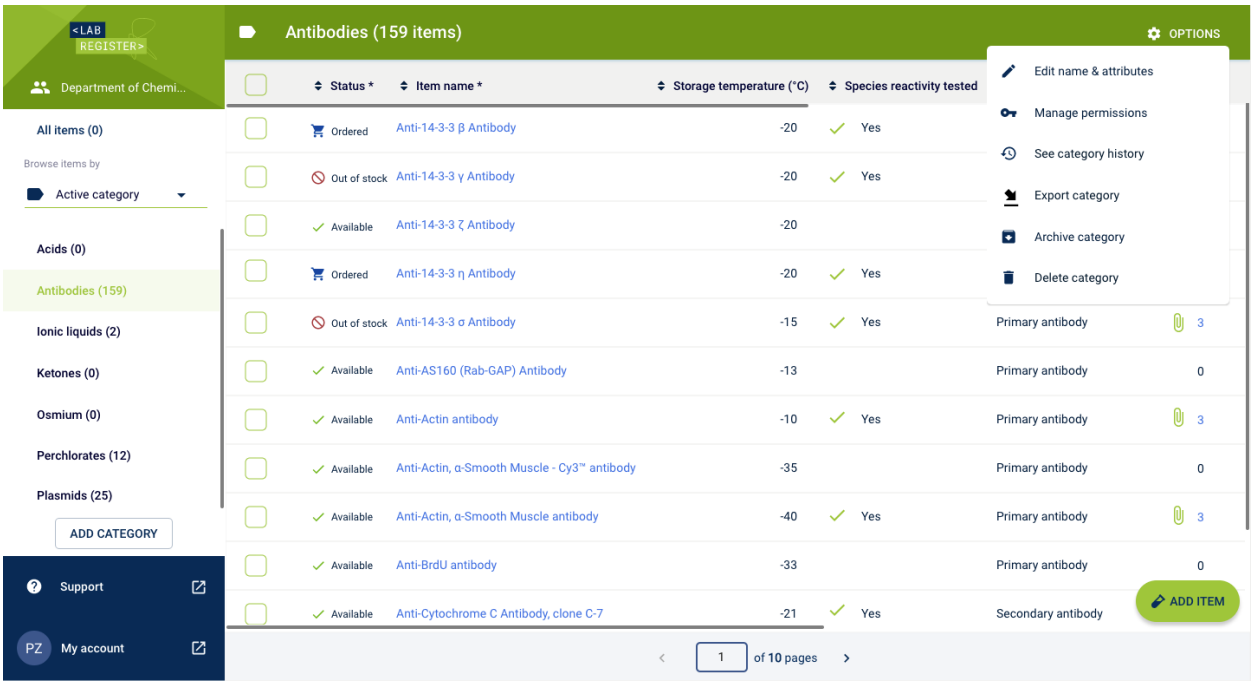
شکل ۲۵ نشان تجاری برخی از مشتریان دانشگاهی و تجاری برنامه Labfolder.

Labregister

Labregister به نشانی labregister.com سیستم مدیریت موجودی آزمایشگاهی موثر و جامعی است که نظارت بر کل موجودی آزمایشگاه را تسهیل می‌کند. محققان می‌توانند مواد را با خواص آنها فهرست کنند تا سازماندهی موجودی در آزمایشگاه را تضمین نمایند (شکل ۲۶). این سیستم به محققان اجازه می‌دهد تا هر ورودی موجودی را در طول چرخه مصرف خاص خود دنبال کنند و ارتباط مستقیم با یادداشت‌های آزمایشگاهی را فراهم می‌سازد. مدیریت لیست و اقلام موجودی به صورت نامحدود، پیگیری مواد، ورود و خروجی موجودی، ادغام با ELN، نسخه‌سازی و تنظیمات اشتراک از جمله ویژگی‌های Labregister است. در حال حاضر تنها نسخه رایگان Labregister دردسترس کاربران قرار دارد و نسخه پیشرفته آن در آینده ارائه خواهد شد.

در این برنامه می توان چندین دسته را بر اساس محصولات آزمایشگاهی مانند معرف‌ها، پلاسمیدها، آنتی‌بادی‌ها و غیره تنظیم کرد، که این دسته‌بندی برای سازماندهی بهتر مواد در آزمایشگاه کاربرد دارد. در Labregister می توان بارکدها را ایجاد کرد یا آنها را

مستقیماً از مواد با استفاده از بارکدخوان اسکن کرد. بارکد به صورت یک فایل تصویری نمایش داده می‌شود که به راحتی می‌توان آن را بارگیری یا چاپ کرد. علاوه بر این، هر یک از مواد موجودی در این برنامه حاوی یک شناسه منحصربه‌فرد است.



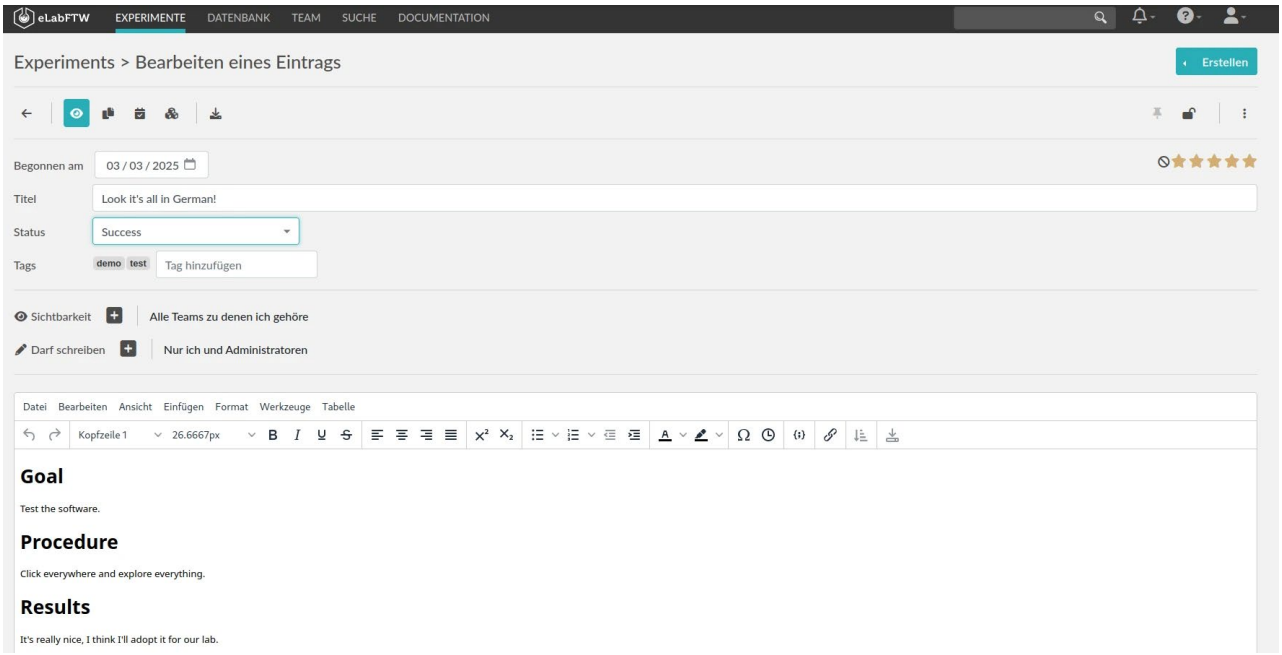
شکل ۲۶ نمایی از مدیریت موجودی در برنامه Labregister ارائه شده توسط Labforward.

Labfolder یک راه جامع برای وارد کردن موجودی در قالب فایل‌های اکسل ارائه می‌دهد. به طور مشابه، یک فایل خروجی را نیز می‌توان مستقیماً از دسته Labregister ایجاد کرد. با استفاده از ویژگی Data Elements، می‌توان مطالب را مستقیماً به ELN مربوطه ارجاع داد و پروتکل‌هایی را تنظیم کرد که مستقیماً به موجودی Labregister پیوند دارند. هر یک از اعضای تیم که به آن پروتکل دسترسی داشته باشد، وقتی روی ماده مورد نظر کلیک کند، می‌تواند ویژگی‌های آن ماده مشخص را مشاهده نماید.

هم‌چنین می‌توان لیست‌های مواد مختلف را با اعضای تیمی که نیاز به دسترسی دارند به اشتراک گذاشت. می‌توان یک انبار مشترک از مواد تعریف کرد و به اعضای تیم اجازه داد تا موجودی‌های خصوصی خود را مدیریت کنند. تمام تغییرات در سیستم موجودی Labregister به عنوان نسخه‌های مختلف ثبت می‌شود. اگر موردی در ورودی ذکر شود، آن مرجع همیشه به نسخه مورد استفاده شده پیوند می‌خورد، صرف نظر از اینکه چند بار بعد از آن تغییر کرده باشد. هم‌چنین می‌توان به راحتی به جدیدترین نسخه آن موجودی دسترسی پیدا کرد. در Labregister، می‌توان تمام اطلاعات مربوط به مواد، از جمله فایل‌های مرجع اضافی، مانند برگه‌های ایمنی شیمیایی را در قالب PDF یا خروجی تصویری پیگیری کرد.

elabFTW

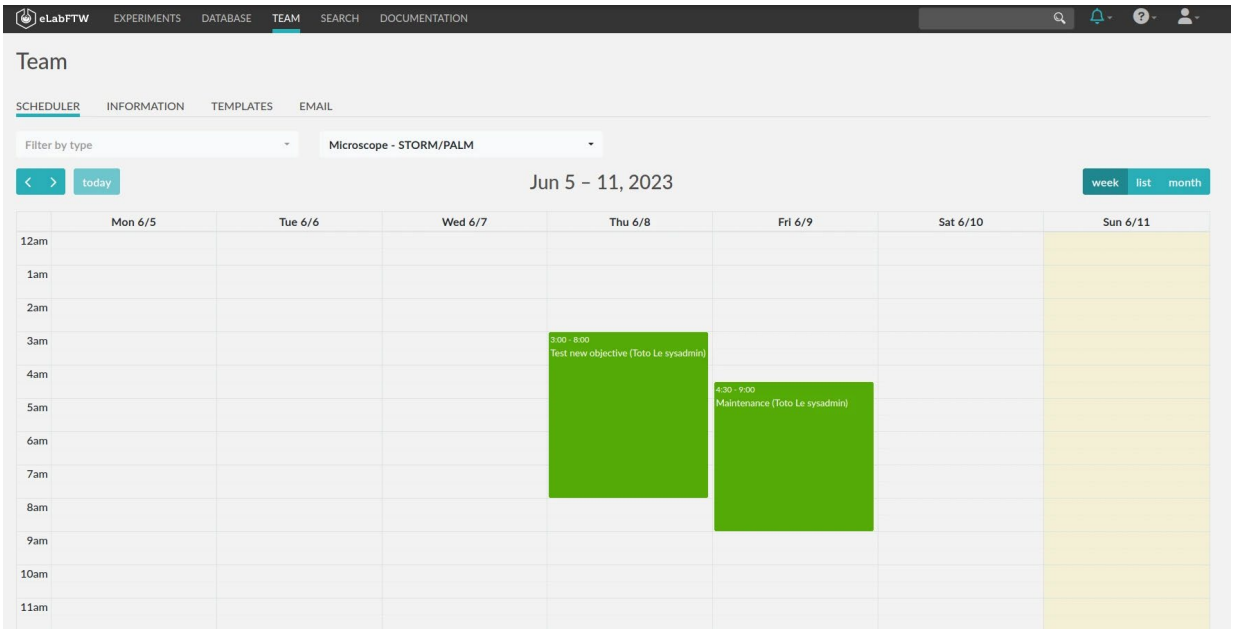
elabFTW به نشانی elabftw.net توسط شرکت فرانسوی Deltablot در سال ۲۰۱۲ معرفی شد. جهت سهولت در استفاده تاکنون، این برنامه به ۱۲ زبان ترجمه شده است. eLabFTW یک ELN منبع باز با مجوز AGPL[۱] و رایگان است. کاربران این اختیار را دارند که آن را تغییر دهند، با نحوه فعالیت آن آشنا شوند و حتی تغییرات خود را مجددا توزیع کنند. رمزگذاری قوی و پایگاه کد مدرن، امنیت را برای داده‌های کاربران در این برنامه فراهم می‌سازد. elabFTW تنها ELN با رتبه A+ در رصدخانه موزیلا[۲] است. شکل ۲۷ نمایی از یک دفترچه ثبت شده در elabFTW را نشان می‌دهد.



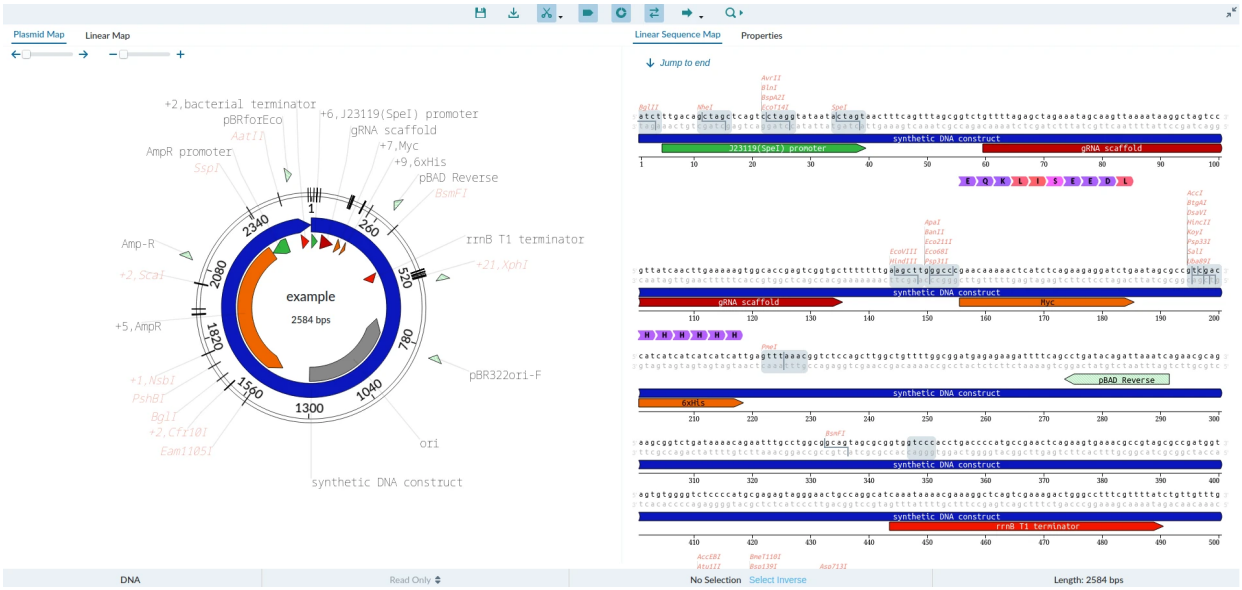
شکل ۲۷ نمایی از یک دفترچه آزمایشگاهی ثبت شده در elabFTW.

چندسکویی بودن این برنامه سازگاری آن با سیستم عامل‌ها و مرورگرهای مختلف برای دسترسی به داده‌ها در هر مکان را تضمین می‌کند. مدیریت موجودی از دیگر امکانات این برنامه است. معرف‌ها، پروتکل‌ها، پلاسمیدها، رده‌های سلولی، موش‌ها یا هر موجودی را می‌توان در برنامه ذخیره و سفارشی کرد. داده‌ها را در قالب‌های رایج، مانند PDF، ZIP، CSV و JSON وارد و نیز از آنها خروجی گرفت. داده‌ها در این ELN در جایی قفل نشده اند. از زمانبندی یکپارچه در برنامه می‌توان برای رزرو هر ابزاری که کاربر به آن نیاز دارد، مانند میکروسکوپ، اتاق، دستگاه و غیره استفاده کرد (شکل ۲۸).

[۱] Affero General Public License (APGL)
[۲] Mozilla's Observatory



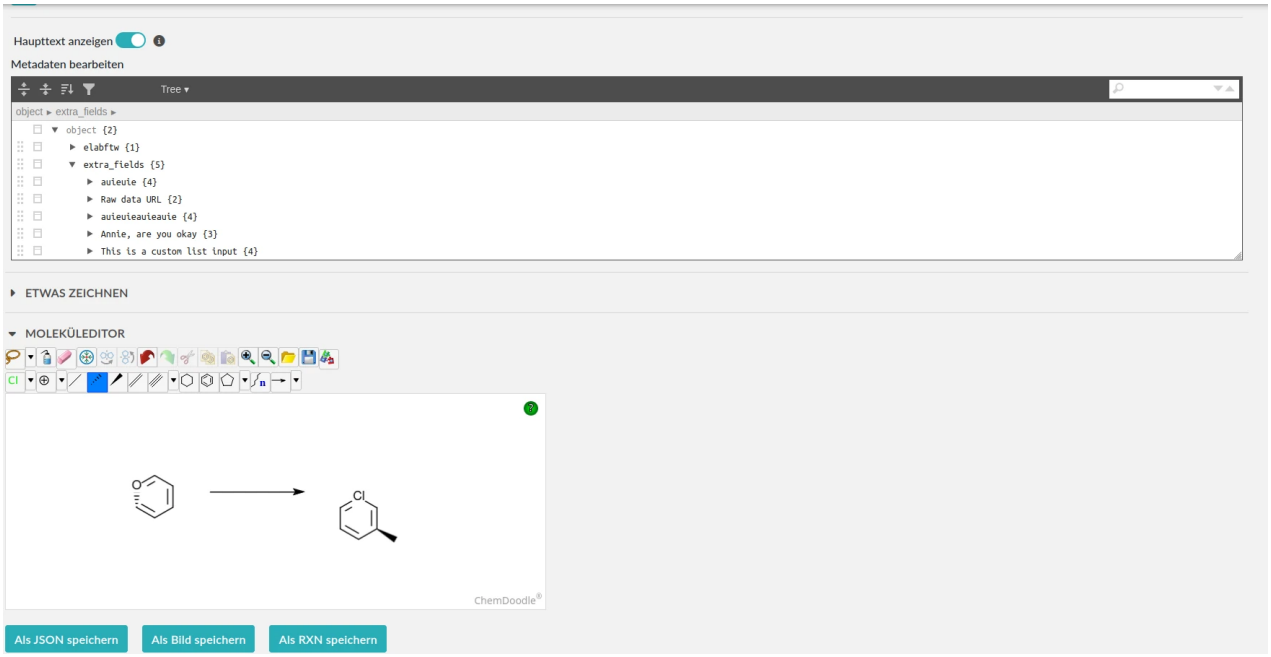
شکل ۲۸ نمایی از رزرو یک دستگاه در elabFTW.



شکل ۲۹ نمایی از بررسی یک نقشه پلاسمیدی وتوالی آن در نمایشگر پلاسمید در elabFTW.

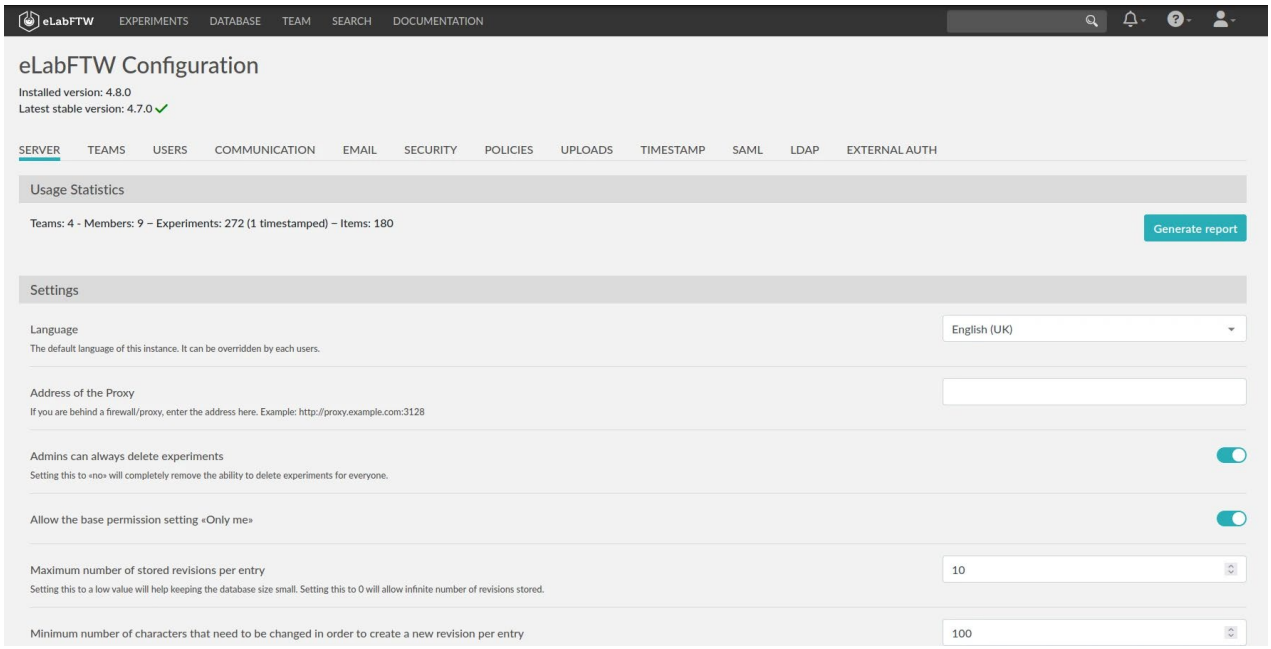
استفاده از الگوها برای آزمایشات، افزودن مراحل به پروتکل‌ها یا آزمایش‌ها، استفاده از REST API برای دسترسی برنامه‌ریزی شده به داده‌ها با یک برنامه خارجی، بارگذاری هر نوع فایل، جاسازی تصاویر در متن، نمایشگر پلاسمید از جمله ویژگی‌های این ELN به شمار می‌آید. شکل ۲۹ نمایی از بررسی یک نقشه پلاسمیدی وتوالی آن در نمایشگر پلاسمید در elabFTW را نشان می‌دهد. ترسیم

مولکول‌ها با Chemdoodle (شکل ۳۰)، تنظیم رنگ‌ها، لیست وضعیت، لیست انواع مواد و غیره، و ایجاد لیست برای انجام کارها از دیگر امکانات این برنامه برای کاربران است.



شکل ۳۰ ترسیم مولکول‌ها با Chemdoodle در elabFTW.

یک نمونه eLabFTW پیاده‌سازی شده می‌تواند میزبان صد تیم و هزاران کاربر باشد. بدون نیاز به RAM یا CPU زیاد، eLabFTW کارآمد است و از منابع زیادی استفاده نمی‌کند. احراز هویت LDAP، احراز هویت SAML۲ با ارائه دهنده هویت متمرکز، دو فاکتور احراز هویت، حفاظت‌های ورود به سیستم CSRF، XSS و bruteforce، اسکن خودکار آسیب‌پذیری، پیکربندی امن، کیفیت کد بالا و و امتیاز کامل در تست رصدخانه موزیلا برای امنیت از ویژگی‌های elabFTW برای مدیران سامانه است (شکل ۳۱).



شکل ۳۱ ویژگی‌های elabFTW برای مدیران سامانه.

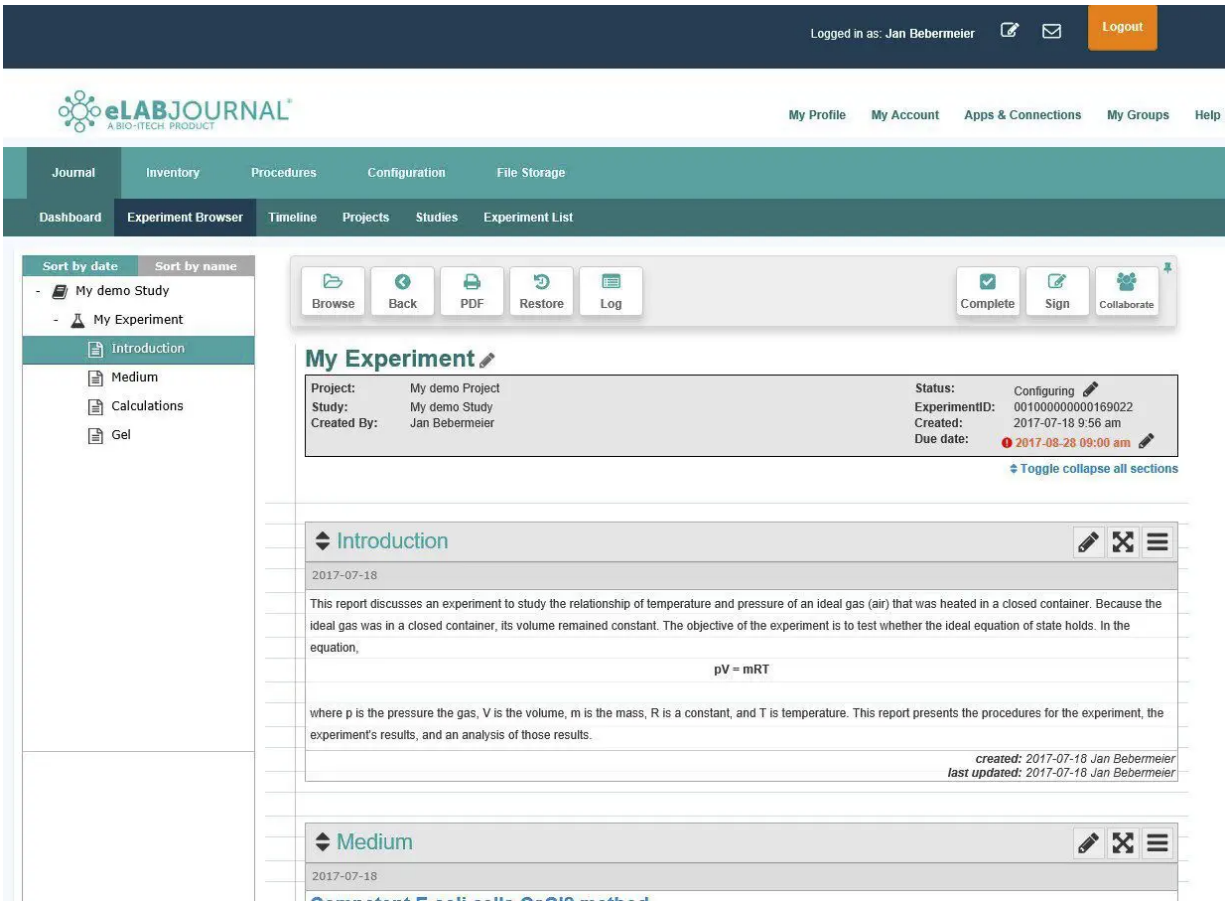
eLabNext

در سال ۲۰۱۰، شرکت eLabNext در راستای بهبود فرآیندهای تحقیقاتی از طریق دیجیتالی کردن آزمایشگاه تأسیس شد. امروزه این شرکت به آزمایشگاه‌های تحقیق و توسعه علوم‌زیستی بسیاری از طریق نرم‌افزارهای توسعه داده و تیم پشتیبانی خود خدمت‌رسانی می‌کند. این نرم‌افزارها به مشتریان eLabNext در تحقیقات سرطان، تولید مواد غذایی پایدار، توسعه واکسن‌ها، تحقیقات قطب شمال و موارد دیگر کمک کرده است. eLabNext نام تجاری Bio-ITech BV است.

در سپتامبر ۲۰۱۰ اولین پلتفرم این شرکت، eLabProtocols، پیاده‌سازی شد. به کمک eLabProtocols، کاربران به آسانی می‌توانند پروتکل‌های زیستی و رویکردهای عملیاتی استاندارد را طراحی، ترسیم و به اشتراک بگذارند. در فوریه ۲۰۱۱، اولین نسخه‌های eLabInventory عرضه شد. eLabInventory یک راه‌حل آسان و کارآمد برای سازماندهی و ردیابی نمونه‌های زیستی، مواد شیمیایی و هر موجودی دیگری در آزمایشگاه را ارائه می‌دهد. در ژوئن ۲۰۱۲، eLabJournal، سومین محصول Bio-ITech پس از eLabinventory و eLabProtocols معرفی شد. دانشگاه اوترخت به عنوان اولین محیط دانشگاهی، مجوز این خدمات را برای کل سازمان خود خریداری کرد.

شکل ۳۲ همکاران و تعدادی از مشتریان دانشگاهی و صنعتی شناخته شده شرکت eLabNext. نشان تجاری همکاران این شرکت در بالا و تعدادی از مشتریان دانشگاهی و صنعتی شناخته شده آن در پایین نشان داده شده است.

در ژانویه ۲۰۱۷، اولین نصب در محل (سرور شخصی) راه‌حل eLabNext در دانشگاه‌های University of Groningen (RuG) و University Medical Center Groningen (UMCG)پیاده‌سازی شد. نرم‌افزار داخلی بر روی رایانه‌های واقع در محل سازمانی که از نرم‌افزار استفاده می‌کردند، نصب شد. در مارس ۲۰۱۷، Eppendorf سهامدار Bio-ITech می‌شود. مشارکت شرکت Eppendorf در Bio-ITech نقطه عطفی در تاریخ این شرکت و گامی مهم برای امکان رشد بیشتر آن محسوب می‌شود. اکنون، Eppendorf SE اکثریت سهام Bio-ITech را در اختیار دارد. شکل ۳۲ همکاران این شرکت و تعدادی از مشتریان دانشگاهی و صنعتی شناخته شده eLabNext را نشان می‌دهد.



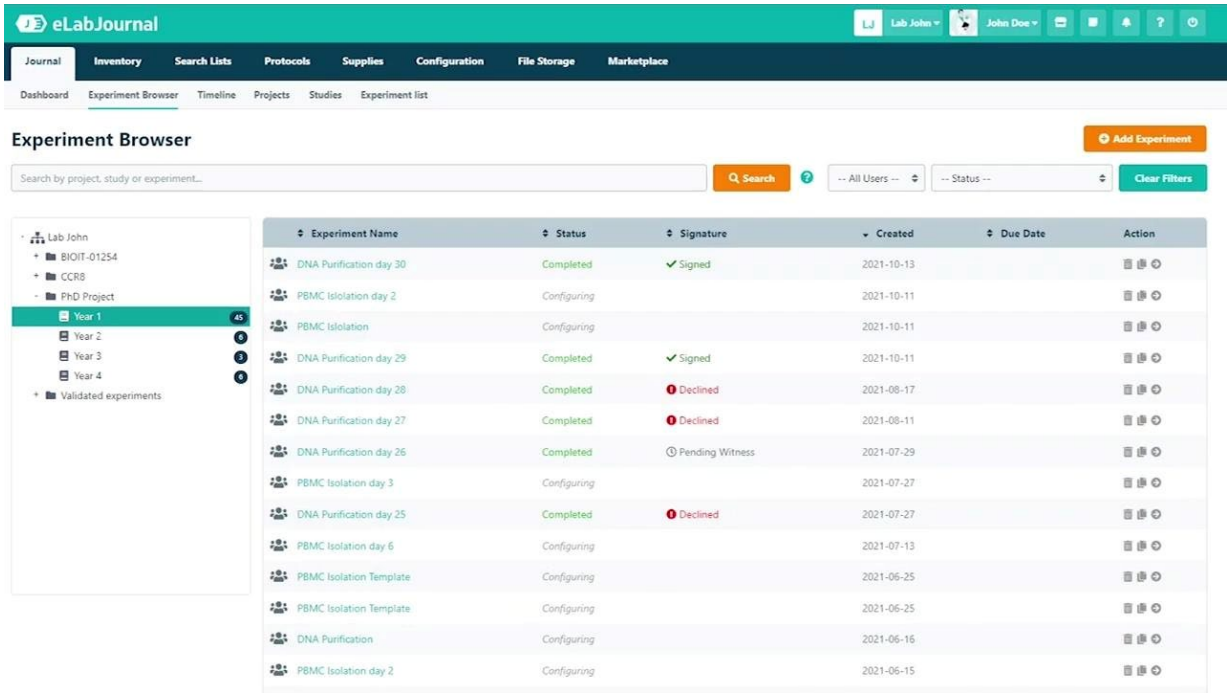
شکل ۳۳ نمایی از یک دفترچه آزمایشگاهی ثبت شده در eLabJournal.

در دسامبر ۲۰۲۰، eLab Marketplace راه‌اندازی شد. eLab Marketplace طیف وسیعی از افزونه‌ها و ادغام‌ها را برای مشتریان فراهم می‌کند تا عملکرد نرم‌افزار eLabNext خود را گسترش دهند. نصب اکثر ابزارها رایگان است. در آوریل ۲۰۲۱، تغییر نام تجاری این شرکت انجام شد. از آنجایی که محصولات ارائه شده با نام اصلی شرکت (Bio-ITech) مطابقت نداشت، نام شرکت به eLabNext تغییر پیدا کرد. به این ترتیب محصولات ارتباط نزدیک‌تری با برند پیدا کردند. اکنون eLabNext، با ۶ دفتر و ۵۶ همکار به بیش از ۱۰ هزار آزمایشگاه در سراسر دنیا خدمت‌رسانی می‌کند.

eLabJournal

eLabJournal به نشانی elabnext.com/products/elabjournal برنامه ELN توسعه یافته توسط شرکت eLabNext است. این برنامه برای هر آزمایشگاه چه به تازگی راه‌اندازی شده باشد، چه یک موسسه دانشگاهی کوچک یا بزرگ، یا یک شرکت فعال در سطح جهانی، و یا یک آزمایشگاه تحقیق و توسعه باشد، کارآمد است. شکل ۳۳ نمایی از یک دفترچه آزمایشگاهی ثبت شده در eLabJournal را نشان می‌دهد.

ردیابی، مطابقت، و تجسم گردش کار دقیق آزمایشگاهی، بهبود بهره‌وری و تلاش‌های مشترک، ارتقا تحقیقات با یک دفترچه آزمایشگاهی برخط، ایمن و سازگار در eLabJournal امکان‌پذیر است. دارا بودن ماژول‌هایی برای ردیابی نمونه و مدیریت پروتکل از دیگر مزایای استفاده از eLabJournal است. شکل‌های ۳۴ و ۳۵ بخش‌هایی از محیط کاربری این برنامه را نشان می‌دهند.



شکل ۳۴ نمایی از محیط کاربری ELN در eLabJournal.

ویژگی‌های کلیدی eLabJournal

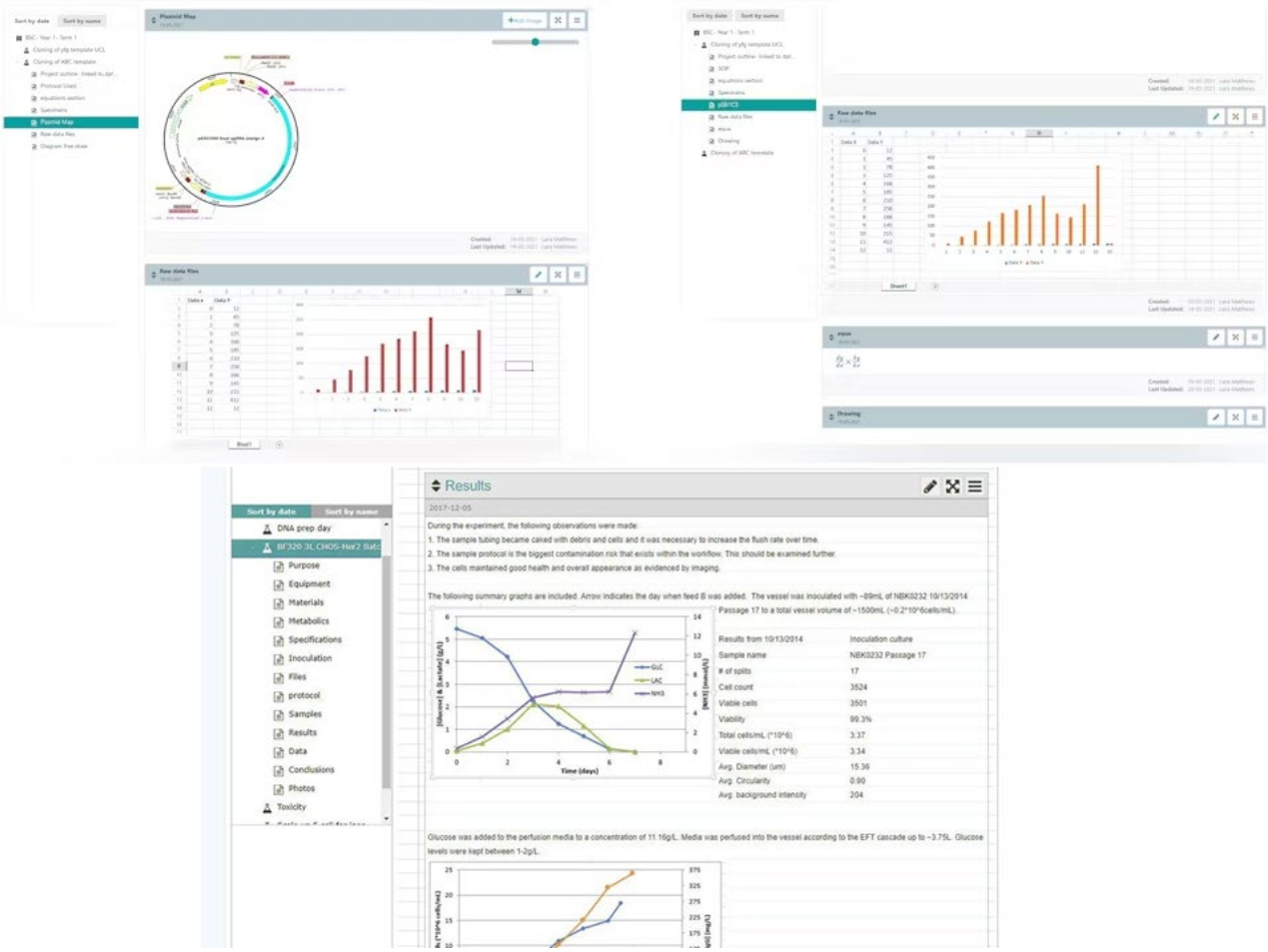
-مدیریت متمرکز داده‌های آزمایشی.

-انتخاب از میان طیف وسیعی از بخش‌ها برای طراحی و انجام دقیق آزمایش‌ها.

-یافتن داده‌ها با جست‌وجوی پیشرفته.

-همکاری بهتر از طریق اشتراک‌گذاری آسان و مجوزهای اختصاص داده شده.

-تنظیم اعلان‌های رویداد برای به‌روز ماندن کاربران.



شکل ۳۵ نمایی از بخش‌های مختلف یک ELN در eLabJournal.

-گسترش قابلیت‌های ELN با افزونه‌های رایگان از طریق eLab Marketplace.

-خروجی گرفتن از فایل‌ها در قالب PDF، HTML، XML یا JSON.

-بهبود بهره‌وری و تولید خروجی بیشتر در همان زمان.

-اتصال داده‌ها از طریق بارگذاری یا پیوند خارجی هر فایل به آزمایش.

-افزودن مستقیم تصاویر به کمک برنامه موبایل.

-به حداکثر رساندن سفارشی‌سازی در راستای مطابقت با نیازهای خاص آزمایشگاه با eLab API و SDK.

-ادغام ELN با سیستم ردیابی و مدیریت نمونه در راستای تجسم کل آزمایشگاه از مکان‌های نمونه گرفته تا در دسترس بودن تجهیزات، تعریف انواع نمونه و افزودن فیلدهای سفارشی، مدیریت تعداد زیادی نمونه، دریافت یک پیگیری کامل از هر نمونه در آزمایشگاه و پیگیری اقلام انبار شده همراه با ارائه کاتالوگ قابل تنظیم.

مراحل پیاده‌سازی eLabJournal

۱) نسخه‌ی نمایشی شخصی

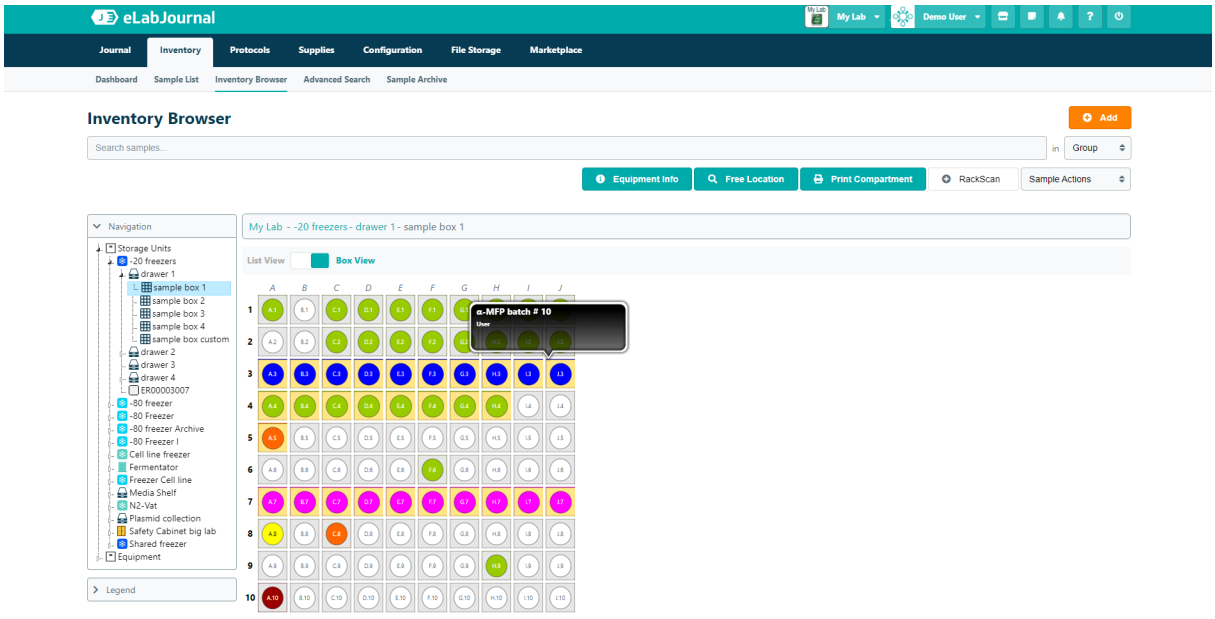
دریافت یک نمایش رایگان و بدون الزام از محصول از طریق مکاتبه با یکی از متخصصان برنامه.

۲) تنظیم گردش کار

باز کردن یک حساب آزمایشی رایگان و دسترسی به تمام ویژگی‌های محصول کامل برای پیاده‌سازی آزمایشگاه دیجیتال.

۳) آموزش تیمی

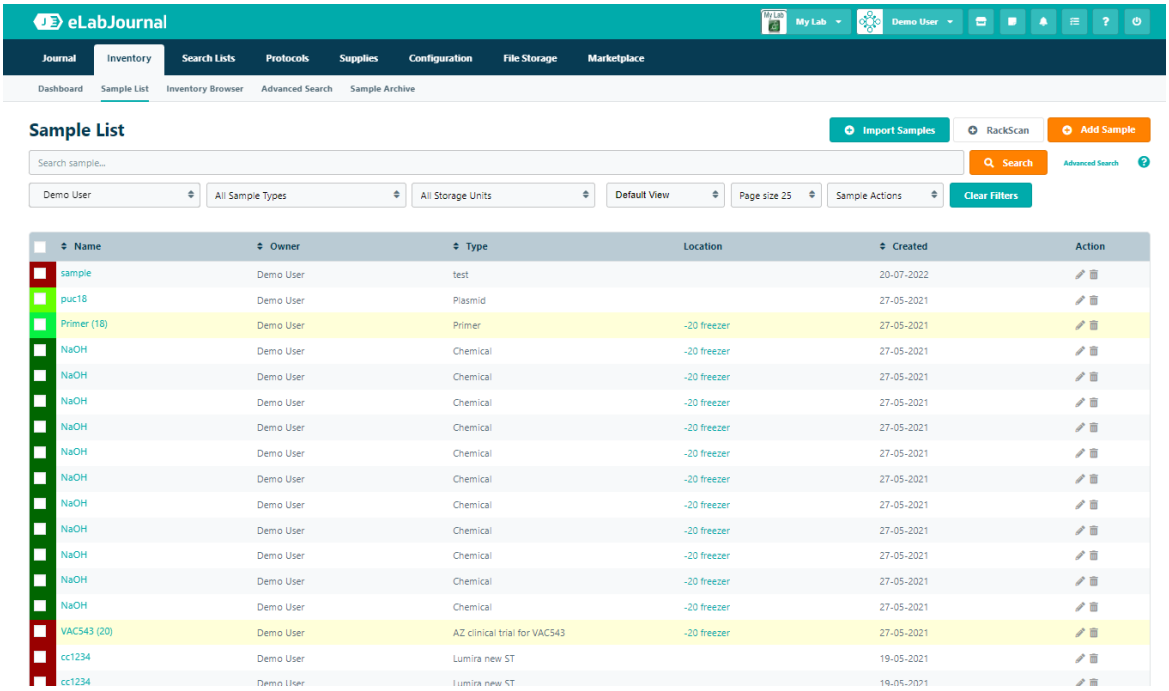
برای انتقال و اجرای نرم محصولات eLabNext، یک وبینار آموزشی رایگان از سوی شرکت ارائه خواهد شد تا اعضای تیم با آزمایشگاه دیجیتال جدید آشنا شوند.



شکل ۳۶ نمایی از محیط کاربری برنامه eLabInventory.

eLabInventory

eLabInventory به نشانی labnext.com/products/elabinventory نرم‌افزار مدیریت موجودی آزمایشگاه انعطاف‌پذیر و قابل تنظیم ارائه شده توسط eLabNext است (شکل ۳۶). این برنامه در راستای تسهیل مدیریت گردش‌های کاری موجودی طراحی شده است. تجسم کل آزمایشگاه، بهینه‌سازی و سازماندهی انبار موجودی آزمایشگاه و حفظ یک پیگیری کامل برای هر نمونه از مزایای این نرم‌افزار محسوب می‌شود. eLabInventory به صورت جداگانه یا ادغام شده در eLabJournal ELN در اختیار کاربران قرار دارد. شکل ۳۷ نمایی از نحوه دسترسی به موجودی‌های تدوین شده به کمک eLabInventory در eLabJournals را نشان می‌دهد. نمونه‌ای از نحوه مدیریت موجودی در این برنامه نیز در شکل ۳۸ نشان داده شده است.



شکل ۳۷ نمایی از نحوه دسترسی به موجودی‌های تدوین شده به کمک eLabInventory در eLabJournals.

ویژگی‌های کلیدی eLabInventory

-ثبت پیگیری کامل به طور خودکار در یک گزارش رویداد به ترتیب زمانی مطابق با دستورالعمل‌های GLP/GMP.

-دسترسی ایمن در هر زمان و از هر مکان به موجودی آزمایشگاه.

-تجسم دیجیتالی پایگاه‌داده موجودی آزمایشگاه و جست‌وجوی آسان موجودی‌ها.

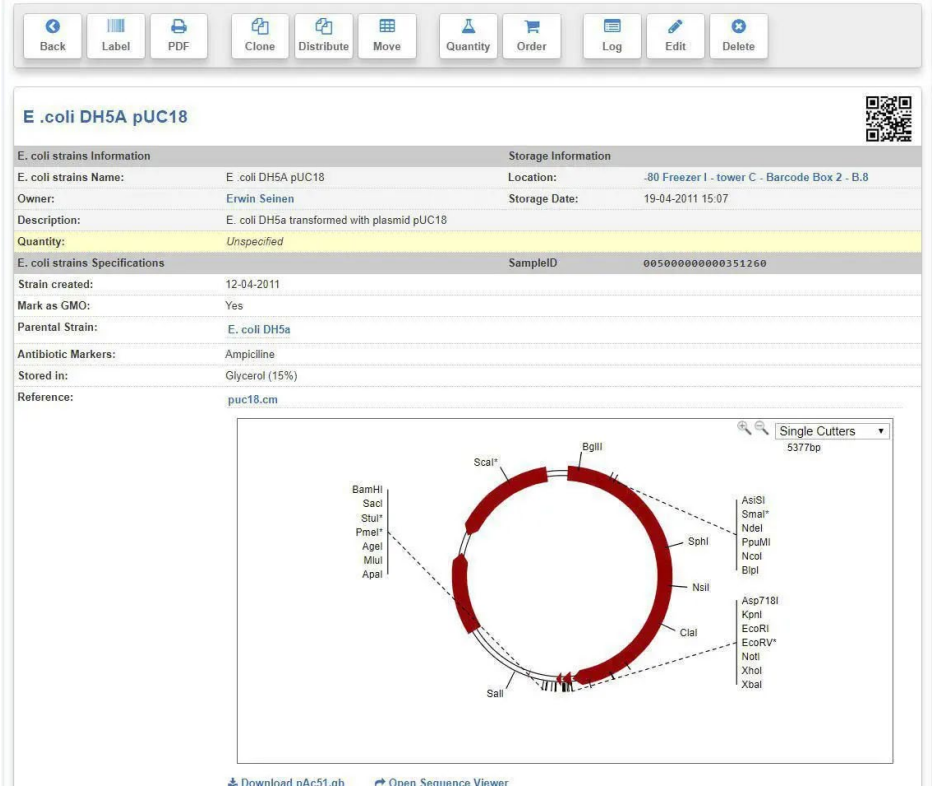
-افزایش بهره‌وری در حین مدیریت نمونه‌ها و موجودی در eLabInventory با اتوماسیون بارکد که با اسکنر بارکد، اسکنر RFID، و اپلیکیشن موبایل سازگار هستند.

-به‌روز نگه داشتن استوک‌ها.

-تنظیم اعلان‌ها برای به‌روز ماندن در زمانی که مواد شیمیایی، نمونه‌ها و مواد مصرفی موجودی کم دارند.

-کاهش خطای انسانی از طریق اسکن بارکدها با برنامه موبایل یا اسکنر بارکد دوبعدی یا استفاده از برنامه وب برای چاپ برچسب لوله‌ها، جعبه‌ها و دستگاه‌های نمونه.

-تنظیم تعداد نامحدودی از نقش‌های کاربری و اختصاص مجوزهایی برای هر نقش خاص در آزمایشگاه.

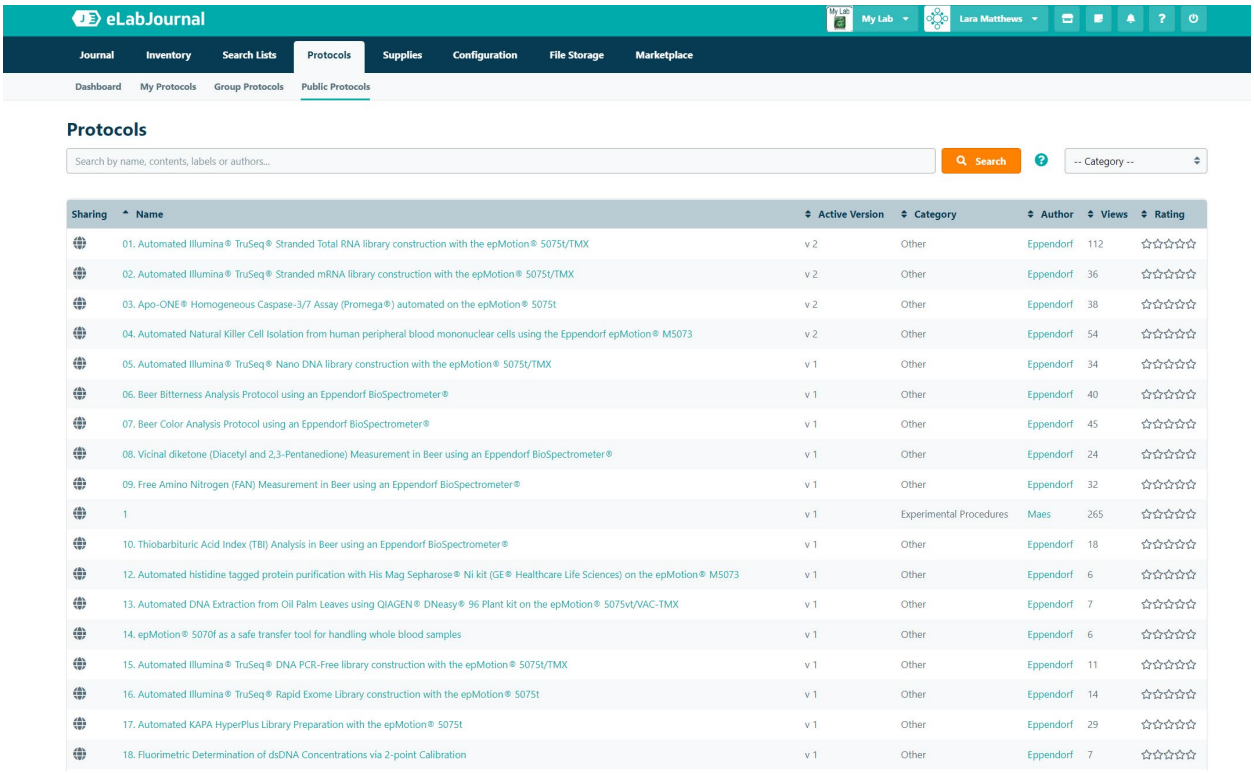


شکل ۳۸ نمونه‌ای از نحوه مدیریت موجودی در برنامه eLabInventory.

eLabProtocols

eLabProtocols به نشانی elabnext.com/products/elabprotocols یک سیستم سریع و آسان برای طراحی و مدیریت پروتکل و SOP مبتنی بر شبکه است که توسط eLabNext پیاده‌سازی شده است. ایجاد مراحل آزمایشی گام به گام، طراحی پارامترهای

خروجی ویژه آزمایش، به حداقل رساندن اشتباهات محاسباتی از ویژگی‌های این برنامه است. این راه‌حل به صورت جداگانه یا ادغام شده در eLabJournal ELN در اختیار کاربران قرار می‌گیرد (شکل ۳۹).



شکل ۳۹ نمایی از نحوه دسترسی به پروتکل‌های تدوین شده به کمک eLabProtocols در eLabJournal.

ویژگی های کلیدی eLabProtocols

-ایجاد و مدیریت کامل الگوهای SOP در سطح فردی یا گروهی جهت تعریف آزمایش‌ها و فرآیندهای جمع‌آوری.

-سفارشی‌سازی رویه‌ها با فیلدهای پویا (متغیرها و فرمول‌ها) و قابل تنظیم.

-تعریف پروتکل‌های آزمایشگاهی مشترک جهانی برای در دسترس قرار دادن پروتکل‌ها برای استفاده در آزمایش‌های دیگر کاربران.

-ورود آسان هر پروتکل آزمایشگاهی یا SOP موجود به این ماژول.

-پشتیبان‌گیری خودکار داده‌ها به میزبانی سرورها در سه مکان جغرافیایی مختلف که داده‌ها را به صورت در لحظه تکرار می‌کنند.

مقایسه ویژگی‌های هر سه ابزار ارائه شده توسط eLabNext

به صورت خلاصه ویژگی‌های ارائه شده سه برنامه eLabInventory، eLabJournal و eLabProtocols در جدول ۱ با یکدیگر مقایسه شده است.

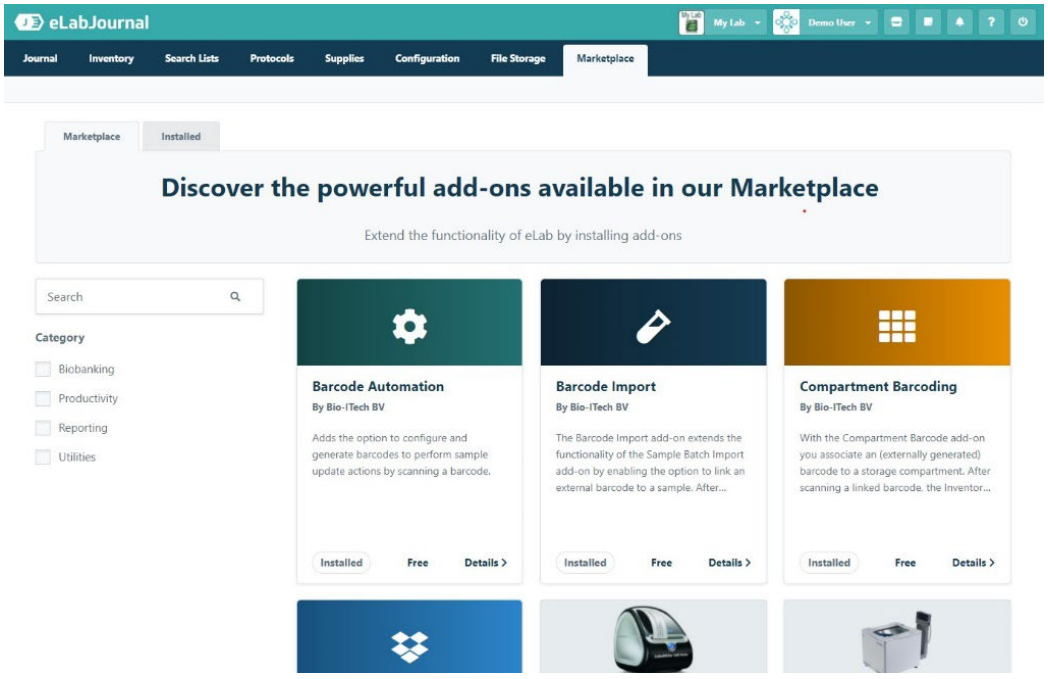
جدول ۱ مقایسه ویژگی‌های ارائه شده توسط سه برنامه eLabInventory، eLabJournal و eLabProtocols.

ویژگی	eLabInventory	eLabJournal	eLabProtocols
مدیریت عمومی و گروهی			
نقش‌ها و مجوزهای کاربر	✓	✓	
پشتیبان‌گیری به صورت در لحظه	✓	✓	
تنظیمات متمرکز گروه	✓	✓	
اپلیکیشن موبایل	✓	✓	
افزونه‌ها و ادغام‌ها	✓	✓	
eLab API & SDK	✓	✓	
تایید دو مرحله‌ای	✓	✓	
رابط کاربری بصری	✓	✓	
تنظیم اعلان‌ها	✓	✓	
مدیریت آزمایش‌ها و داده‌ها			
در دسترس بودن تجهیزات	✓	✓	
جدول زمانی		✓	
جست‌وجوی پیشرفته داده‌ها		✓	
آرشیو داده‌ها		✓	
تجسم گردش کار		✓	
امضا و شاهد		✓	
الگوهای آزمایشی		✓	
بخش‌های تصویر		✓	

بارگذاری و همگام‌سازی فایل		✓	
ذخیره‌سازی گزارش		✓	
مدیریت نمونه			
مرورگر موجودی	✓	✓	
انواع نمونه	✓	✓	
ورودی دسته‌ای نمونه	✓	✓	
جست‌وجوی پیشرفته نمونه	✓	✓	
اطلاعیه‌های رویداد	✓	✓	
مشخصات مکان های ذخیره‌سازی	✓	✓	
پیگیری کامل نمونه	✓	✓	
بارکد نمونه	✓	✓	
چاپ لیبل	✓	✓	
اعلان‌های خودکار	✓	✓	
در دسترس بودن تجهیزات	✓	✓	
لیست سفارشات	✓	✓	
کاتالوگ محصولات	✓	✓	
مدیریت پروتکل			
روش‌های عملیاتی استاندارد		✓	✓
ایجاد پروتکل‌ها		✓	✓
استفاده از پروتکل‌های عمومی		✓	✓
الگوها		✓	✓
ردیابی نسخه		✓	✓
زمینه‌های پویا		✓	✓

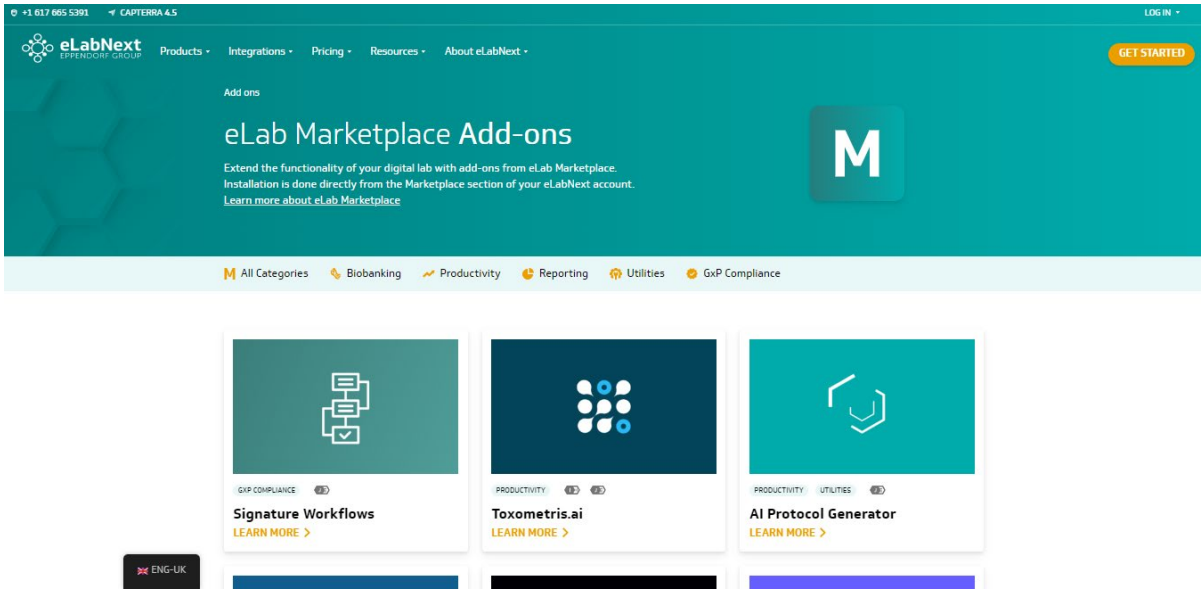
eLab Marketplace

امکان گسترش کارکرد یک آزمایشگاه دیجیتال با استفاده از افزونه‌های ارائه شده در eLab Marketplace برای کاربران eLabNext فراهم شده است (شکل ۴۰). نصب این افزونه‌ها مستقیماً از بخش Marketplace حساب eLabNext انجام می‌شود. در واقع eLab Marketplace طیف گسترده‌ای از افزونه‌ها و ادغام‌ها را برای گسترش عملکرد پلتفرم آزمایشگاه دیجیتال در اختیار کاربران قرار می‌دهد.



شکل ۴۰ نمایی از نحوه دسترسی به eLab Marketplace در برنامه eLabJournal.

استفاده از این بخش صرفه‌جویی در زمان و هزینه را برای کاربران به دنبال دارد. eLab Marketplace به راحتی در پلتفرم eLabNext موجود است و افزونه‌ها به راحتی نصب شده و بلافاصله قابل استفاده هستند. اکثر افزونه‌ها به صورت رایگان در دسترس هستند. دسته‌بندی این افزونه‌ها شامل بانکداری زیستی، بهره‌وری، گزارش‌دهی، ابزارها و مطابقت با GxP را شامل می‌شود. شکل ۴۱ امکانات eLab Marketplace و دسته‌بندی ابزارها در آن را نشان می‌دهد.



شکل ۴۱ امکانات eLab Marketplace و دسته‌بندی ابزارها در آن.

اپلیکیشن موبایل eLabNext

اپلیکیشن موبایل ارائه شده توسط eLabNext در راستای افزایش بهره‌وری توسعه یافته است. کاربران به کمک این اپلیکیشن می‌توانند روی آزمایش‌ها کار کنند، نمونه‌ها را دنبال کنند و به پروتکل‌ها از تلفن هوشمند یا تبلت خود دسترسی پیدا کنند. این اپلیکیشن با eLabInventory، eLabJournal و eLabProtocols سازگار است. برنامه موبایل eLabNext یک برنامه افزونه از برنامه تحت شبکه eLab است. این اپلیکیشن به میزبانی سرورهای ابری پیاده‌سازی شده و به صورت رایگان در اختیار کاربران قرار می‌گیرد. برنامه موبایل eLabNext برای دستگاه‌هایی با سیستم عامل اندروید و iOS در دسترس است.

ویژگی‌های اپلیکیشن موبایل eLabNext

۱) به کمک اپلیکیشن موبایل، کاربران به اطلاعات کامل خود در برنامه تحت شبکه دسترسی دارند، پروژه‌ها، مطالعات و آزمایشات را هدایت می‌کنند، برای یافتن اطلاعات مورد نیاز بخش‌های آزمایش را مرور می‌کنند، همه داده‌ها به طور مستقیم تجسم می‌شوند و پیوندهای مستقیمی به تمام اطلاعات نمونه مرتبط در ELN ارائه می‌دهند.

۲) به کمک اپلیکیشن موبایل، تنظیم جریان فعالیت صورت می‌گیرد. این ویژگی، فهرست زمانی از جدیدترین رویدادها یا اقدامات را ارائه می‌دهد. در تاریخچه اسکن، می‌توان به اقلام اسکن شده دسترسی داشت، نمونه‌ها را بررسی کرد یا تجهیزات را رزرو نمود.

۳) به کمک اپلیکیشن موبایل، دسترسی به پروتکل‌های آزمایشگاهی یا SOP هایی که قبلاً در برنامه وب راه‌اندازی شده‌اند، وجود دارد. کاربران می‌توانند تنظیمات آزمایشی را در پروتکل‌های پویا تغییر دهند تا پروتکل های خود را با چند کلیک سفارشی کنند و مراحل آزمایشی را با توجه به تنظیمات آزمایش مورد نظر به صورت مرحله به مرحله اجرا کنند.

۴) به کمک اپلیکیشن موبایل، اسکن بارکد موجودی، شامل بارکد نمونه‌ها، سری نمونه‌ها، محفظه‌های ذخیره‌سازی و تجهیزات با دوربین تعبیه شده بر روی دستگاه تلفن همراه امکان‌پذیر است. در نتیجه تمام اطلاعات نمونه بازیابی و مشاهده می‌شود و می‌توان نمونه‌ها را بایگانی یا به یک محفظه دیگر منتقل کرد.

۵) به کمک اپلیکیشن موبایل، امکان رزوز تجهیزات نیز تسهیل پیدا می‌کند. کاربران می‌توانند با بارکد دوبعدی تمام تجهیزات آزمایشگاه را اسکن کنند تا رزروهای موجود انجام شده توسط همکاران خود را مشاهده نمایند یا خود دستگاهی را در آزمایشگاه رزرو نمایند.

۶) به کمک اپلیکیشن موبایل، همگام‌سازی تصاویر و یادداشت‌ها و سپس همگام‌سازی آنها با برنامه تحت شبکه قابل انجام است.

۷) اپلیکیشن موبایل، دارای تایید دو مرحله‌ای است. با تأیید دو مرحله‌ای، که به عنوان احراز هویت دو مرحله‌ای نیز شناخته می‌شود، یک لایه امنیتی اضافی به حساب کاربر اضافه می‌شود. پس از فعال‌سازی، هنگام ورود به سیستم، ابتدا نام کاربری و رمز عبور و سپس ورود یک کد ۶ رقمی که در اپلیکیشن موبایل تولید می‌شود و هر دقیقه تغییر می‌کند، الزامی است.

۸) به کمک اپلیکیشن موبایل، کاربران آزمایشگاه به‌روز می‌مانند و از رویدادهای مهم در آزمایشگاه سریع‌تر مطلع شوند. جدا از اعلان‌های به‌روزرسانی سیستم، می‌توان اعلان‌هایی را برای درخواست‌های امضا/ضدامضا برای آزمایش‌ها یا زمانی که مواد مصرفی موجود در آزمایشگاه کم است، تنظیم کرد.

گزینه‌های میزبانی در eLabNext

eLabNext طیف وسیعی از راه‌حل‌های میزبانی را برای برآوردن نیازهای متنوع سازمانی در اختیار کاربران قرار می‌دهد. گزینه‌های میزبانی شامل سرویس ابری، پیاده‌سازی بر روی سرویس ابری اختصاصی مشتری و یا نصب بر روی سرور محلی میزبان است.

۱) میزبانی ابری بهترین گزینه برای آزمایشگاه‌هایی است که به دلیل بودجه کم در دسترس یا منابع کم برای سرمایه‌گذاری، مایل به سرمایه‌گذاری در نگهداری سخت‌افزار یا سیستم موجود در مجوزهای ارائه شده نیستند. این نوع میزبانی در چندین مرکز داده دارای گواهی ISO با در دسترس بودن بالا و افزونگی کامل میزبانی می‌شود. از داده‌ها به صورت در لحظه نسخه

پشتیبان تهیه می‌شود و به صورت دوره‌ای در یک انبار رمزگذاری شده خارج از سایت بایگانی می‌شوند. نگهداری سیستم، به‌روزرسانی نرم‌افزار و پشتیبانی در مجوزهای ارائه شده در این نوع از میزبانی گنجانده شده است.

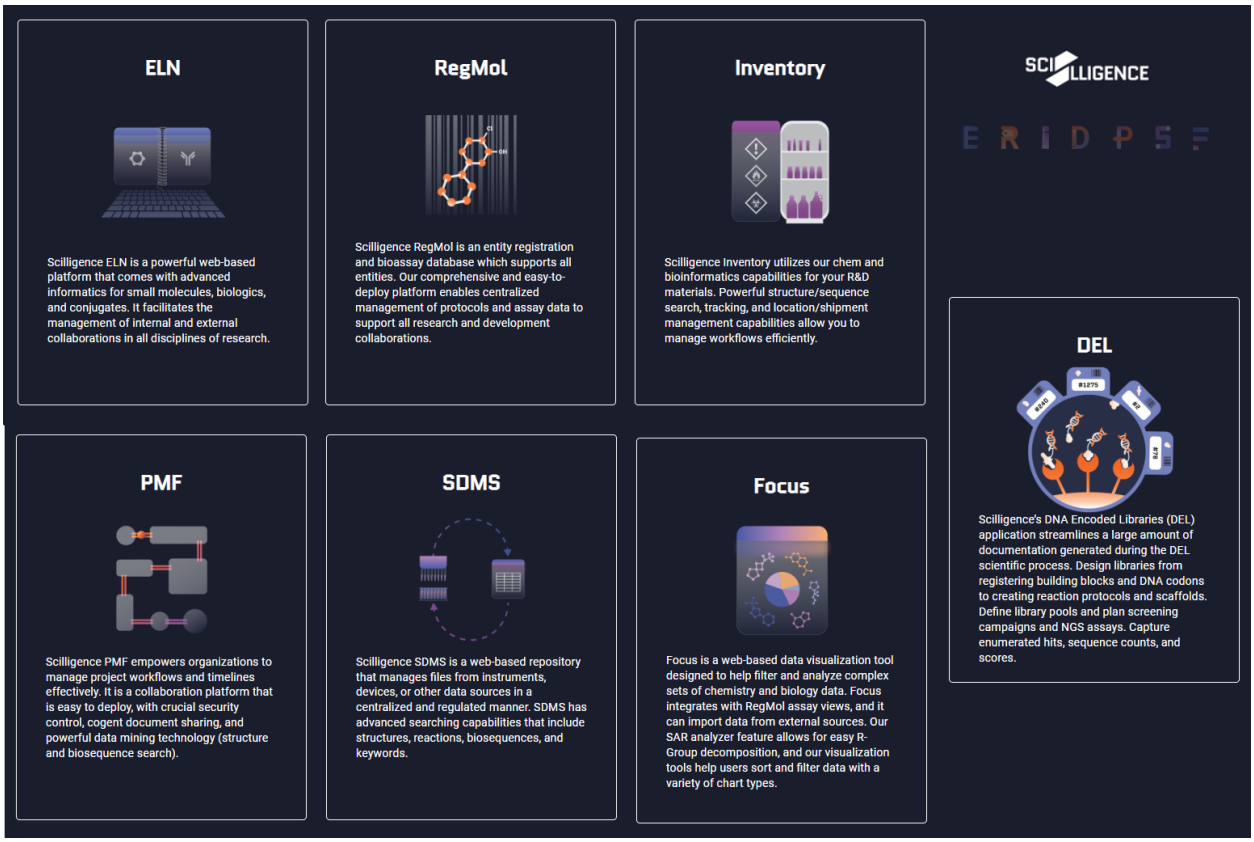
۲) در میزبانی ابر خصوصی سیستم به عنوان یک برنامه ابری پیکربندی می‌شود و دسترسی نیز ممکن است به محدوده IP سازمان خریدار محدود شود. نصب سرور، پیکربندی شبکه و هزینه‌های میزبانی ماهانه در ارائه خدمات سرور ابر خصوصی گنجانده شده است. ابر خصوصی در AWS که توسط مشتری انتخاب شده است، میزبانی می‌شود. این راه‌حل باعث می‌شود تا زمان و عملکرد سیستم به حداکثر برسد.

۳) راه حل نصب در محل شبیه به سرور ابری خصوصی است اما نصب نرم‌افزار و تمام داده ها بر روی سرورهای شرکت یا موسسه درخواست دهنده ارائه می‌شود. این راه‌حل برای سازمان‌هایی که نیاز به پیروی از سیاست‌های سختگیرانه IT، مانند ذخیره داده‌ها به صورت محلی دارند، بهترین گزینه میزبانی است. در این حالت، از سوی eLabNext یک مدیر سامانه اختصاصی به سازمان خریدار اختصاص داده می‌شود تا آنها را در مراحل پیاده‌سازی راهنمایی کند.

Scilligence

Scilligence ELN به نشانی scilligence.com/scilligence-eln توسط شرکت آمریکایی Scilligence ارائه می‌شود. علاوه بر Scilligence ELN راه‌حل‌های دیگری نیز در این حوزه، شامل Scilligence RegMol، Scilligence Inventory، Scilligence DEL، Scilligence PMF، Scilligence SDMS، Scilligence Focus و TouchMol توسط این شرکت معرفی شده است. این راه‌حل‌ها به صورت خلاصه در شکل ۴۲ معرفی شده است.

Scilligence ELN یک سکوی یکپارچه انفورماتیک است که تلاش‌های تحقیق و توسعه در تمام شاخه‌های علمی را با تمرکز بر مولکول‌های کوچک، mRNA، ADCs، DEL[۱] و غیره پشتیبانی می‌کند. این برنامه راه‌حلی برای کار با ماکرومولکول‌ها با استفاده از اهرم پیاده‌سازی‌های پیشرفته زبان ویرایش سلسله مراتبی برای ماکرومولکول‌ها[۲] (HELM) است. این برنامه با CFR ۲۱ بخش ۱۱ مطابقت دارد و دارای گواهی ISO نیز می‌باشد. شکل‌های ۴۳ و ۴۴ به ترتیب نمایی از یک دفترچه آزمایشگاهی تنظیم شده در این برنامه و محیط کاربری Scilligence ELN را نشان می‌دهند.



[۱] DNA Encoded Libraries (DEL)
[۲] Hierarchical Editing Language for Macromolecules (HELM)

شکل ۴۲ راه‌حل‌های ارائه شده توسط شرکت Scilligence در یک نگاه. ابزارهای Scilligence ELN، Scilligence RegMol، Scilligence Inventory، Scilligence DEL، Scilligence PMF، Scilligence SDMS، Scilligence Focus و TouchMol به صورت مختصر در شکل معرفی شده است.

ویژگی‌های کلیدی Scilligence ELN

-انتخاب از میان الگوهای آزمایشی توسط کاربر.

-قابلیت نمایه‌سازی اختصاصی ساختار، HELM، و پرس‌وجو توالی‌های زیستی.

-ادغام با سیستم‌های ثبت نام، موجودی و انبار.

-موتور انفورماتیک اختصاصی برای عملکرد HELM و استریوشیمی پیشرفته.

-استخراج خودکار اطلاعات از فایل‌های مسطح از طریق فناوری داده‌خوان برای گرفتن کارآمد داده‌ها و پردازش آنها.

- مناسب محیط‌های GxP.

-بدون نیاز به نصب نرم‌افزار.

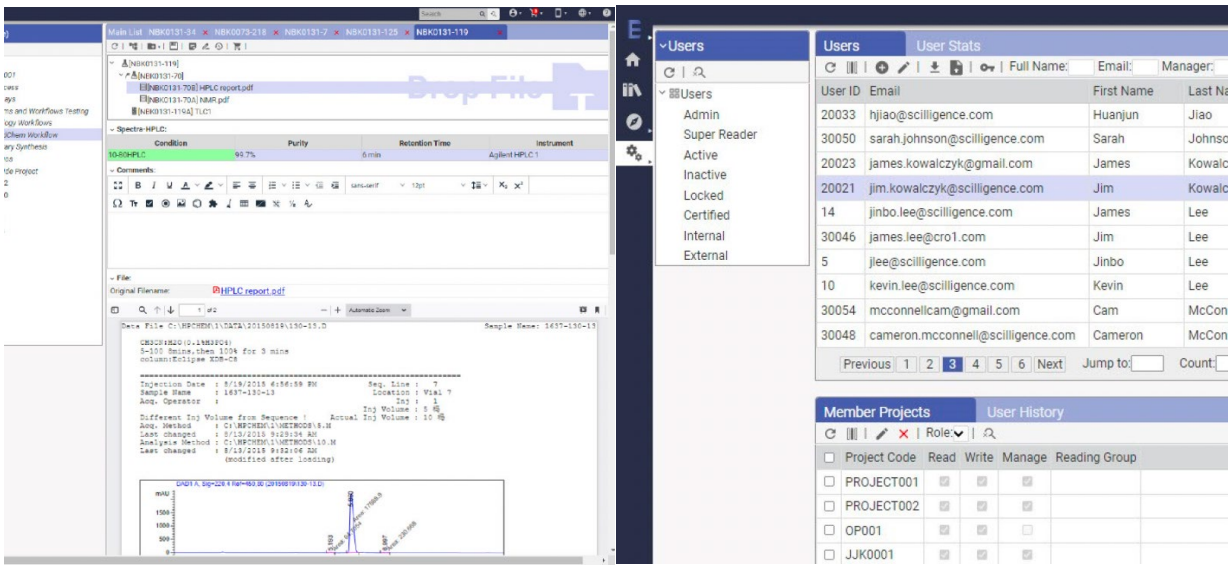
-رمزگذاری داده‌ها.

-برنامه مقیاس‌پذیر و قابل تنظیم و چندسکویی.

-ارائه برنامه گوشی هوشمند.

-ساخت تیم‌ها یا پروژه‌ها همراه با به اشتراک‌گذاری امن داده‌ها.

-ثبت و به اشتراک‌گذاری داده‌ها به صورت ایمن و در لحظه.



شکل ۴۳ نمایی از یک دفترچه آزمایشگاهی ثبت شده در Scilligence ELN.

-ایجاد گزارش‌ها به سرعت برای انتشار مقالات یا ثبت اختراع.

-استقرار سریع و کارآمد به کمک سرور ابری یا سرور محلی کاربر.

-مطابقت با معیارهای تأیید هویت چند عاملی[۱] (MFA) و سامانه SSO [۲] (سامانه SSO یک سرویس متمرکز تایید هویت است که در آن کاربر تنها با استفاده از یک حساب کاربری می‌تواند به چندین برنامه یا سایت دسترسی داشته باشد).

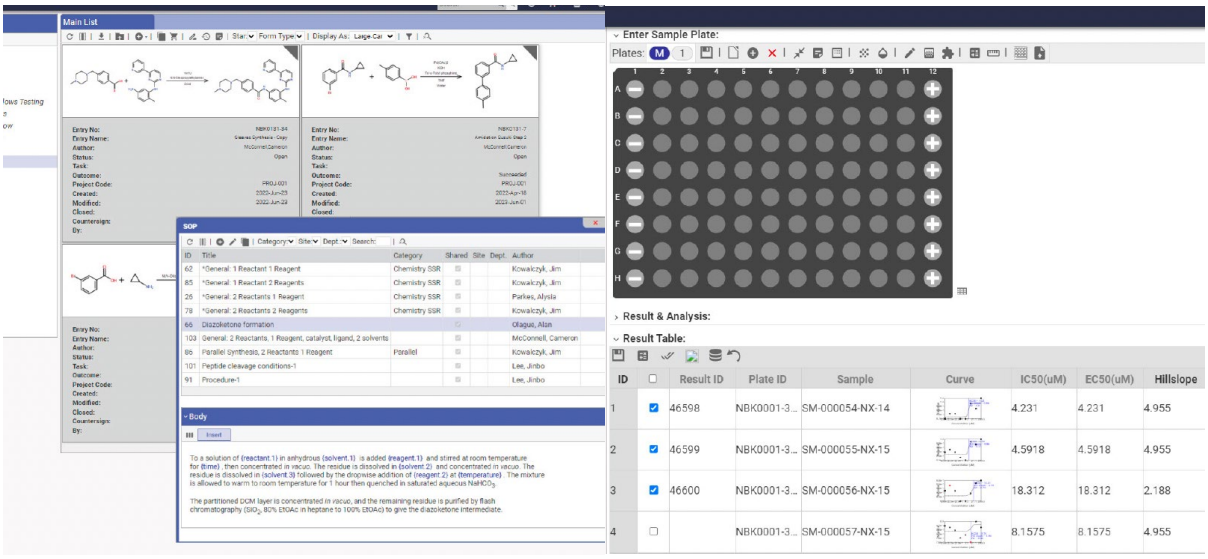
-نمونه جداگانه در هر نصب.

-محدودیت آدرس IP.

-کنترل امنیتی مبتنی بر سایت و پروژه.

-رمزگذاری امن داده‌ها.

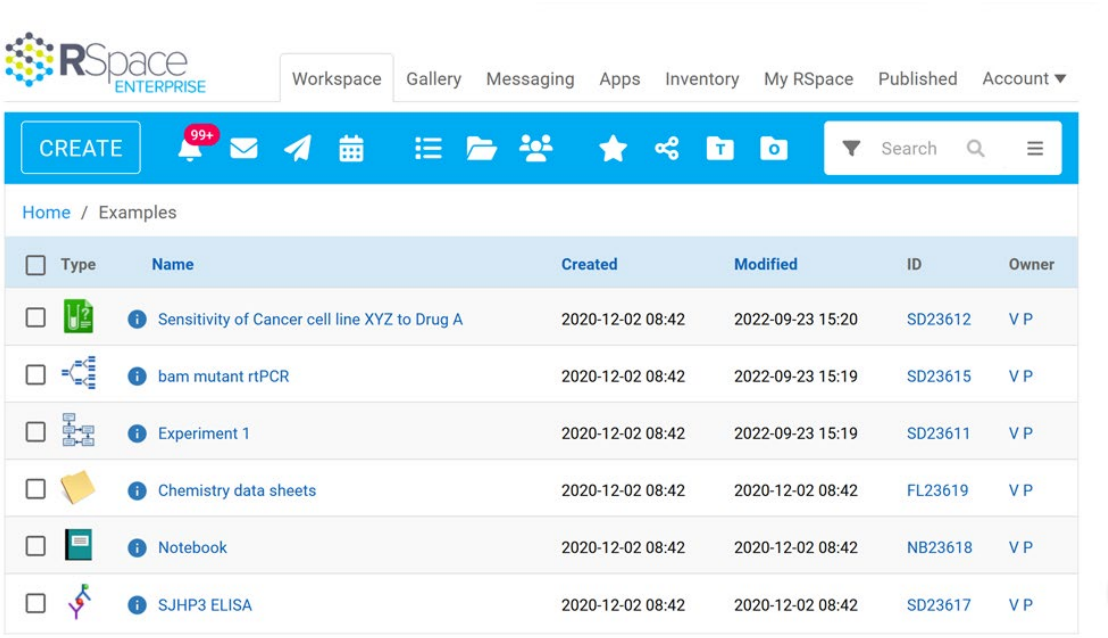
[۱] Multi-factor authentication (MFA)
[۲] Single sign-on (SSO)



شکل ۴۴ نمایی از محیط کاربری Scilligence ELN.

RSpace

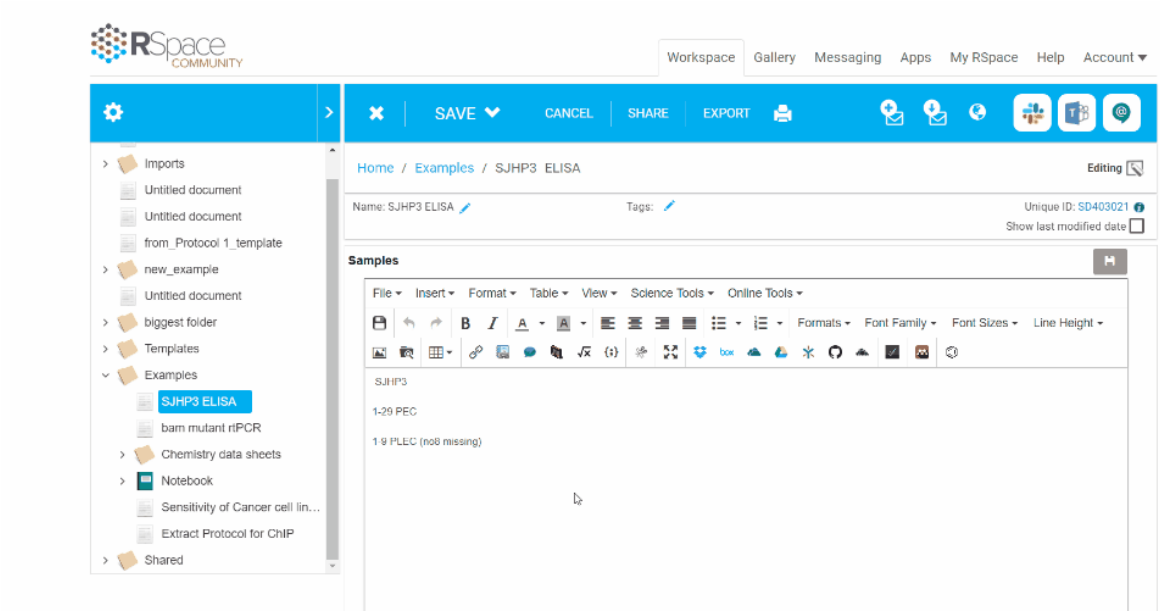
RSpace به نشانی researchspace.com محصول شرکت ResearchSpace است. این شرکت دفاتری در ادینبورگ، اسکاتلند و اوهایو دارد. RSpace ELN برای ثبت، مدیریت و به اشتراک‌گذاری داده‌ها کاربرد دارد و به خوبی با برنامه‌های ذخیره‌سازی داده‌ها، سکوهای تحقیقاتی و آرشیو داده‌ها یکپارچه‌سازی می‌شود. این ELN انعطاف‌پذیر است و شامل طیف گسترده‌ای از ویژگی‌ها و ماژول‌ها است که به طور خاص برای رسیدگی به جریان‌های کاری علمی مدرن و چالش‌های مدیریت داده‌ها، به ویژه ذخیره‌سازی داده‌های آزمایشگاه‌های تحقیقاتی دانشگاهی طراحی شده است. شکل ۴۵ نمایی از محیط کاربری در RSpace ELN را نشان می‌دهد.



شکل ۴۵ نمایی از محیط کاربری در RSpace ELN.

در این برنامه داده‌های تحقیقاتی در سرور محلی کاربر ذخیره نمی‌شود، بلکه در سرور امن RSpace ELN که برای نظارت کارآمد توسط تیم‌های مدیریتی سرور و داده‌های کاربر بهینه‌سازی شده است، ذخیره می‌گردد. برنامه را می‌توان در سایت کاربر یا بر روی سرور ابری انتخابی آن نیز نصب کرد. سرور شامل یک جایگاه ذخیره‌سازی فایل امن و قابل ارتقا (که در آن فایل‌های داده خام در قالب اصلی خود نگهداری می‌شوند) و یک پایگاه‌داده SQL که کل سیستم را به هم متصل می‌کند و همه تراکنش‌ها را ثبت می‌کند، است.

از هر دستگاه مجهز به مرورگر می‌توان برای ایجاد، خواندن و ویرایش محتوا در این برنامه استفاده کرد. هیچ برنامه‌ای برای نصب توسط کاربران وجود ندارد، آنها به سادگی یک مرورگر را باز می‌کنند، به سرور خاص موسسه خود وارد می‌شوند و به ثبت و مدیریت دفترچه‌های آزمایشگاهی خود می‌پردازند. شکل ۴۶ نمایی از یک دفترچه آزمایشگاهی ثبت شده در RSpace ELN را نشان می‌دهد. صدور مجوز بر اساس تعداد کاربران و بر اساس نام اختصاصی آنها صورت می‌گیرد. در این صورت، اگر کاربری سازمان را ترک کند، محیط کاربری خالی در دسترس کاربر جدید قرار می‌گیرد. برنامه RSpace دارای دو نسخه رایگان و با پرداخت هزینه می‌باشد. شکل ۴۷ فهرستی از برنامه‌ها و ابزارها که قابلیت یکپارچه‌سازی با برنامه RSpace ELN را دارند، نشان می‌دهد.



شکل ۴۶ نمایی از یک دفترچه آزمایشگاهی ثبت شده در RSpace ELN.

ویژگی‌های کلیدیELN در برنامه RSpace

-عملکردهای ELN، SDMS و مدیریت فایل در یک مکان.

-عدم رونویسی یا حذف نسخه‌های قدیمی اسناد.

-دسترسی آسان به تاریخچه کامل اسناد.

-دسترسی مناسب مبتنی بر نقش به ویژگی‌ها و زیرمجموعه‌های داده برای زیرجمعیت‌های پویا و در عین حال ساده از محققان.

-حفاظت از IP.

-قابل استفاده در همه دستگاه‌ها.

-پیام‌رسانی داخلی.

-ادغام با برنامه‌هایی مانند Slack (شکل ۴۷).

-نمای بصری.

-مجوزهای ویرایش.

-توانایی انتشار وظایفی که با تقویم سیستمی انتخابی فرد ادغام می‌شود.

-قابلیت اتصال به Google Drive، Dropbox، MS OneDrive و Mendeley (شکل ۴۷)

-قابلیت اتصال به سیستم ردیابی نمونه eCAT موجود در آزمایشگاه.

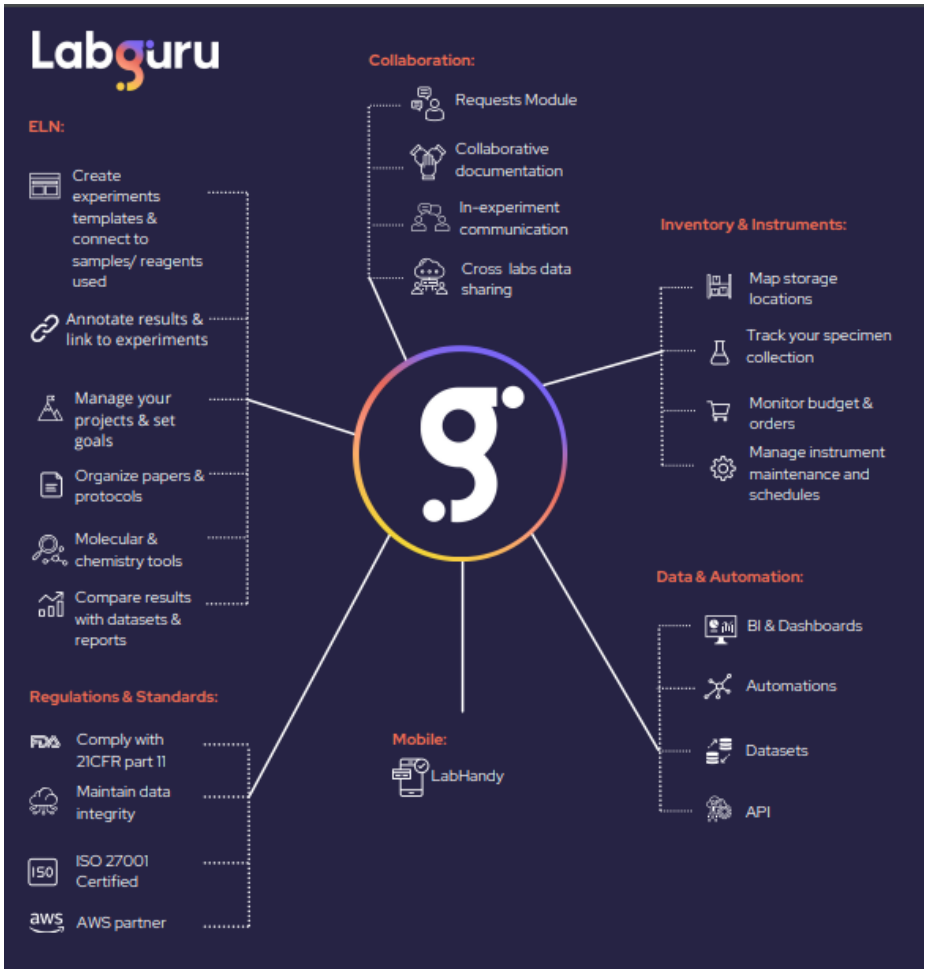
-امکان جست‌وجو، ردیابی یا استفاده مجدد از داده‌ها یا اسناد به صورت ۲۴ ساعته و در هر مکان.

شکل ۴۷ ادغام برنامه RSpace ELN با سایر برنامه‌ها و ابزارها.

Labguru

جاناتان گراس، بنیانگذار Labguru (BioData Inc.)، اولین بار زمانی که کار در آزمایشگاه را آغاز کرد، با چالش‌های مدیریت داده‌ها در گروه‌های تحقیقاتی مواجه شد. او به سرعت تحت تأثیر حجم بالای داده‌هایی که به طور منظم در آزمایشگاه تولید می‌شد، قرار گرفت. از این رو شروع به استفاده از مهارت‌های برنامه‌نویسی خود برای پشتیبانی از وظایف مختلف در آزمایشگاه کرد. درخواست یک استاد دانشگاهی جوان از جاناتان گراس برای توسعه یک سیستم یکپارچه جهت مدیریت آزمایشگاه نوپای خود، زمینه را برای تأسیس Labguru در سال ۲۰۰۸ فراهم ساخت. آن سیستم مدیریتی به Labguru امروزی تکامل یافته است.

Labguru به نشانی labguru.com راه‌حل‌های متنوعی را در اختیار کاربران حوزه انفورماتیک آزمایشگاه قرار می‌دهد. ELN، LIMS، مدیریت موجودی و مدیریت تجهیزات و اپلیکیشن گوشی هوشمند LabHandy از جمله محصولات ارائه شده توسط این شرکت به شمار می‌آیند (شکل ۴۸).



شکل ۴۸ راه‌حل‌های ارائه شده توسط Labguru در یک نگاه.

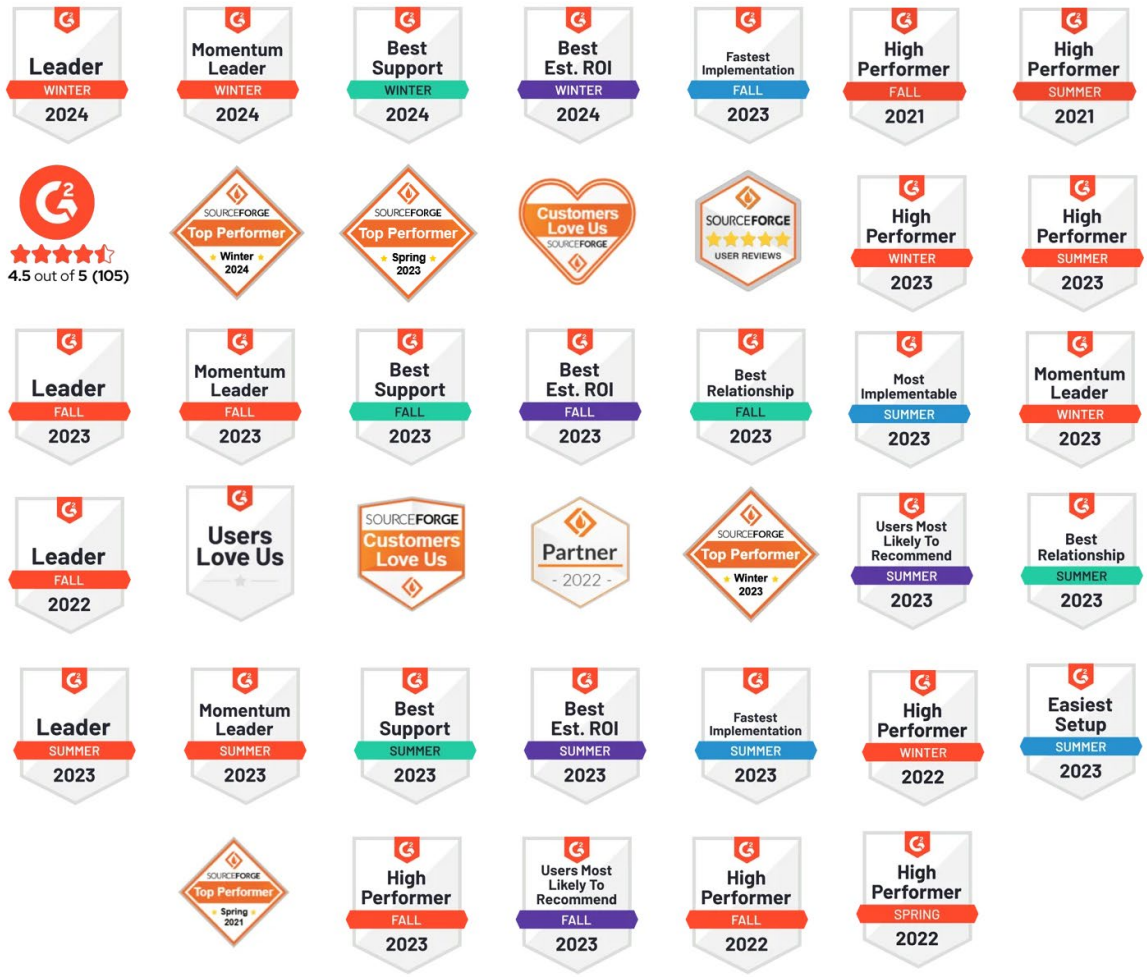
در سال ۲۰۱۰، گروه انتشارات Holtzbrinck سهامی در Labguru از طریق Digital Science به دست آورد. Holtzbrinck تلاش کرد تا سازوکار خود را برای ارائه ابزارها و خدمات نرم‌افزاری در سطح جهانی به دانشمندان، شرکت‌ها و موسسات به منظور ارتقای بهره‌وری و سازمان‌دهی بیشتر تحقیقات به کمک Labguru پیاده‌سازی کند. اکنون Labguru با دفاتری در آمریکا، بریتانیا و یک تیم متشکل از دانشمندان کاربردی، که اکثر آنها دارای مدرک دکتری تخصصی هستند، در زمینه‌های پیاده‌سازی، آموزش، سفارشی‌سازی و نیز در راستای رفع نیازهای خاص آزمایشگاه و بهینه‌سازی روزانه فعالیت‌های پژوهشی فعالیت می‌کنند.

Labguru در واقع چیزی فراتر از یک ELN است. این سکوی انفورماتیکی، برنامه‌های ELN، LIMS و ابزارهای انفورماتیک را با یکدیگر ترکیب می‌کند. با انتخاب Labguru کاربر یک راه‌حل جامع برای تمام نیازهای آزمایشگاه خود بدون نیاز به یکپارچه‌سازی و انتقال داده بین سیستم‌ها یا اشتراک چندین نرم‌افزار دریافت خواهد کرد. Labguru ELN برای ساده کردن عملیات آزمایشگاهی، افزایش کارایی و سرعت بخشیدن به نتایج تحقیقات کاربرد دارد. با انتخاب Labguru ELN و Labguru LIMS، نه تنها می‌توان از بهبود مدیریت تجهیزات، بلکه از ماژول‌های جامع موجودی و ذخیره‌سازی یک ELN و ابزارهای مدیریت پروژه، اتوماسیون و انفورماتیک نیز بهره برد. شکل ۴۹ نشان تجاری برخی از مشتریان صنعتی و همکاران Labguru را نشان می‌دهد.

شکل ۴۹ نشان تجاری برخی از مشتریان صنعتی و همکاران Labguru. در این شکل نشان تجاری برخی از مشتریان صنعتی Labguru (بالا) و همکاران این شرکت (پایین) نشان داده شده است.

پس از ۱۵ سال فعالیت در حوزه انفورماتیک آزمایشگاه، اکنون بیش از ۷۵۰ شرکت و بیش از ۱۲۰ هزار محقق از خدمات Labguru بهره می‌برند. این شرکت ادعای افزایش ۷۵ درصدی در بهره‌وری در وظایفی مانند گزارش‌دهی، مدیریت نمونه و موجودی، ۶۰ درصد صرفه‌جویی در هزینه‌ها و ۲۰ درصد حفظ زمان را پس از استفاده از راه‌حل‌های ارائه شده خود دارد. شکل ۵۰ جوایز کسب شده توسط Labguru را نشان می‌دهد.

Labguru به عنوان یک سکوی انفورماتیکی مبتنی بر سرور ابری دارای گواهی تبادل ۲۰۴۸ بیتی SSL و رمزگذاری داده ۲۵۶ بیتی است. اطلاعات کاربران به طور خودکار روزانه در چندین سرور پشتیبان‌گیری می‌شود. علاوه بر این، Labguru دارای گواهینامه ISO ۲۷۰۰۱ و SOC ۲ است و با HIPAA سازگار می‌باشد.



شکل ۵۰ جوایز کسب شده توسط Labguru.

Labguru برای دو نوع نصب اصلی، چند مستاجری[۱] یا تک مستاجری[۲] که هر دو در AWS میزبانی می‌شوند، دردسترس قرار دارد. چند مستاجری، در دانش رایانه اشاره به شیوه‌ای در طراحی معماری سیستم‌ها است که نرم‌افزار را به صورت سرویس ارائه می‌دهند. یک سیستم چند مستاجری یک نمونه در حال اجرای برنامه را بین گروهی از اجاره‌کنندگان (مشتری‌های سرویس) به اشتراک می‌گذارند. در واقع، به جای اینکه هر کاربر از یک نمونه در حال اجرای برنامه اختصاصی استفاده کند، این نمونه بین چندین کاربر به اشتراک گذارده می‌شود.

[۱] Multi-tenant
[۲] Single-tenant

جدول ۲ ویژگی‌های این دو سیستم میزبانی در Labguru را با یکدیگر مقایسه می‌کند. اگر سازمانی به یک سرور ابر خصوصی نیاز داشته باشد، Labguru یک نمونه AWS جدید را که صرفاً به آن سازمان اختصاص داده شده است، راه‌اندازی می‌کند و آن را با الزامات امنیتی و راه‌اندازی آن سازمان تنظیم می‌کند. برای محیط‌های معتبر، بسته‌های صلاحیت نصب[۱] و صلاحیت عملیاتی[۲] نیز توسط Labguru ارائه می‌شود.

جدول ۲ مقایسه ویژگی‌های سیستم‌های میزبانی چند مستاجری و تک مستاجری در Labguru

ویژگی	چند مستاجری	تک مستاجری
ادغام ۲FA/SSO/LDAP	✓	✓
رمزگذاری ۲۵۶ بیتی	✓	✓
میزبانی شده توسط AWS	✓	✓
گزینه‌ای برای انتخاب منطقه میزبانی AWS	اروپا/آمریکا	بر اساس درخواست کاربر
گزینه‌های امنیتی پیشرفته	×	✓
منابع اختصاصی و مجزا	×	✓
دامنه اختصاصی	×	✓

Labguru در دو نسخه با نام‌های Labguru و Labguru Pro در اختیار کاربران قرار می‌گیرد. نسخه Labguru Pro علاوه بر خدمات نسخه Labguru ویژگی‌های بیشتری را نیز برای محققان فراهم می‌سازد. در جدول ۳ ویژگی‌های این دو نسخه خلاصه شده است.

جدول ۳ ویژگی‌های نسخه‌های Labguru و Labguru Pro

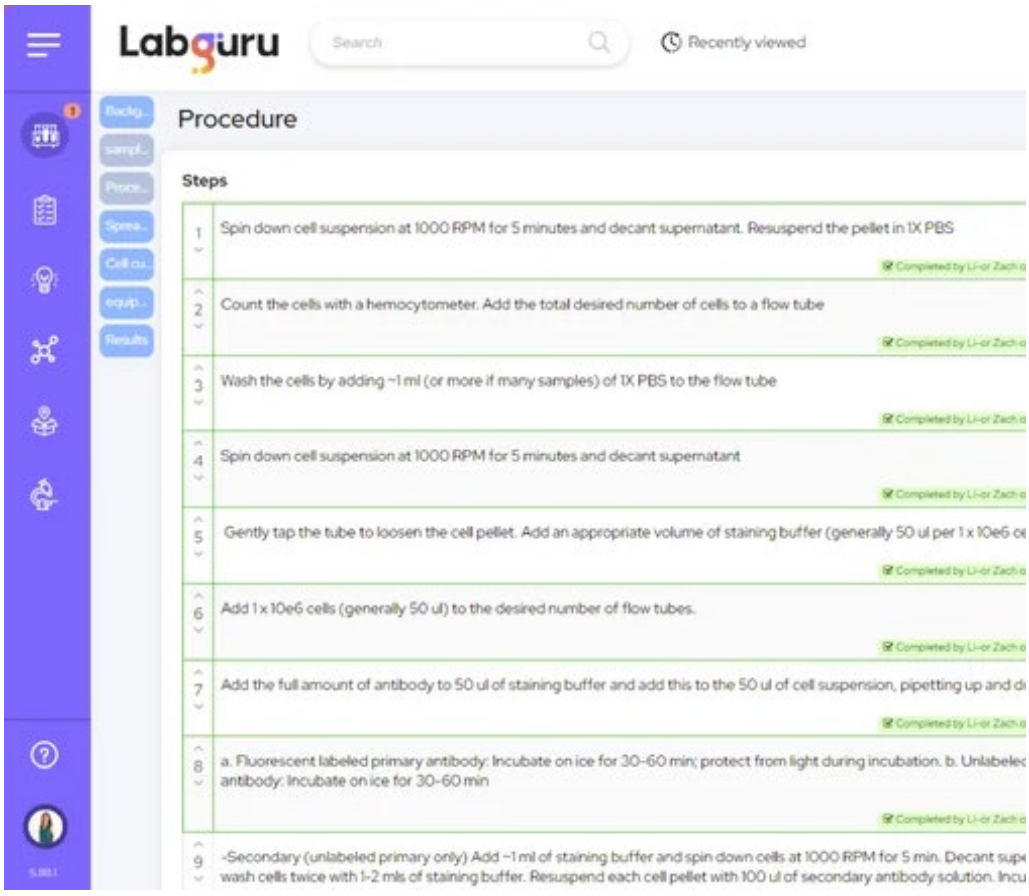
Labguru	Labguru Pro
ELN/LIMS	تمام خدمات Labguru
مدیریت موجودی	پشتیبانی از API و Slack

[۱] Installation Qualification
[۲] Operational Qualification

تعمیر و نگهداری و برنامه‌ریزی ابزار	گردش کار خودکار
ابزارهای زیست‌شناسی مولکولی	داشبوردها
ابزارهای شیمی	چاپگر لیبل
مجموعه داده‌ها	اتصال ابزار
پشتیبانی اولیه	مدیریت دسته‌ای
	پشتیبانی حرفه‌ای

Labguru ELN

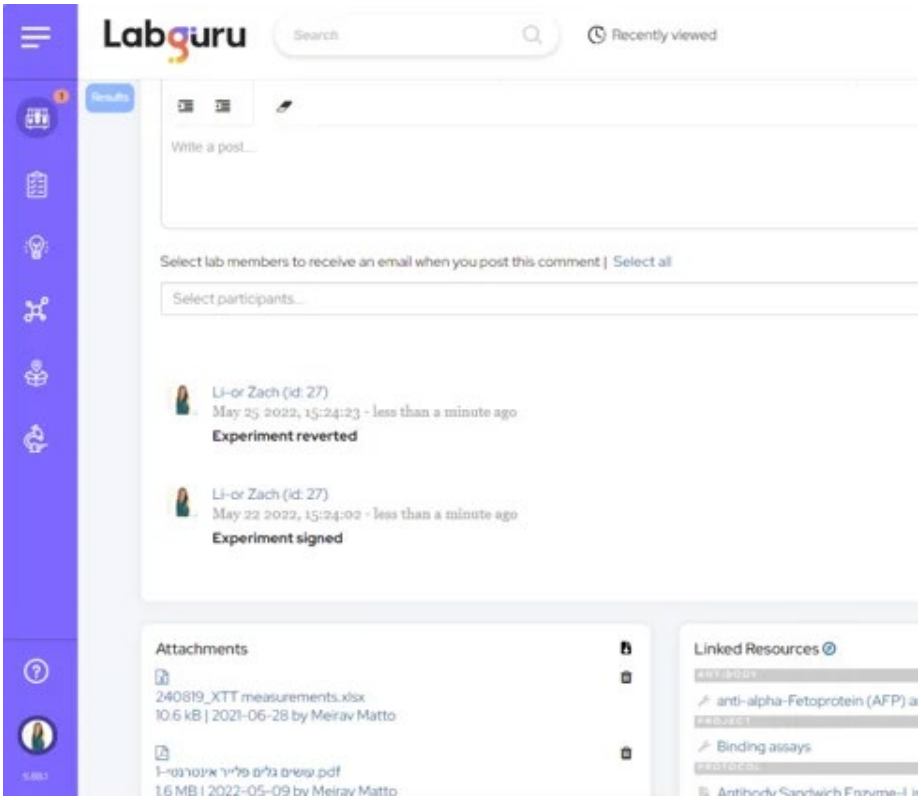
Labguru ELN به عنوان یک راه‌حل ساده و قابل تنظیم برای ارتقای بهره‌وری در تحقیقات به کمک یک رابط کاربری بصری و کاربرپسند، ساختار لازم برای سازمان‌دهی داده‌ها و بهره‌گیری حداکثری از نتایج را بدون به خطر انداختن انعطاف‌پذیری و سازگاری در اختیار محققان قرار می‌دهد. این ELN برای سازماندهی، ساختاردهی، ایمن‌سازی و متمرکز کردن اطلاعات در یک پایگاه‌داده دردسترس و قابل جست‌وجو برای پشتیبانی و تسریع تحقیق و توسعه کاربرد دارد.



شکل ۵۱ نمایی از طراحی و بررسی روند آزمایش در محیط کاربری Labguru ELN.

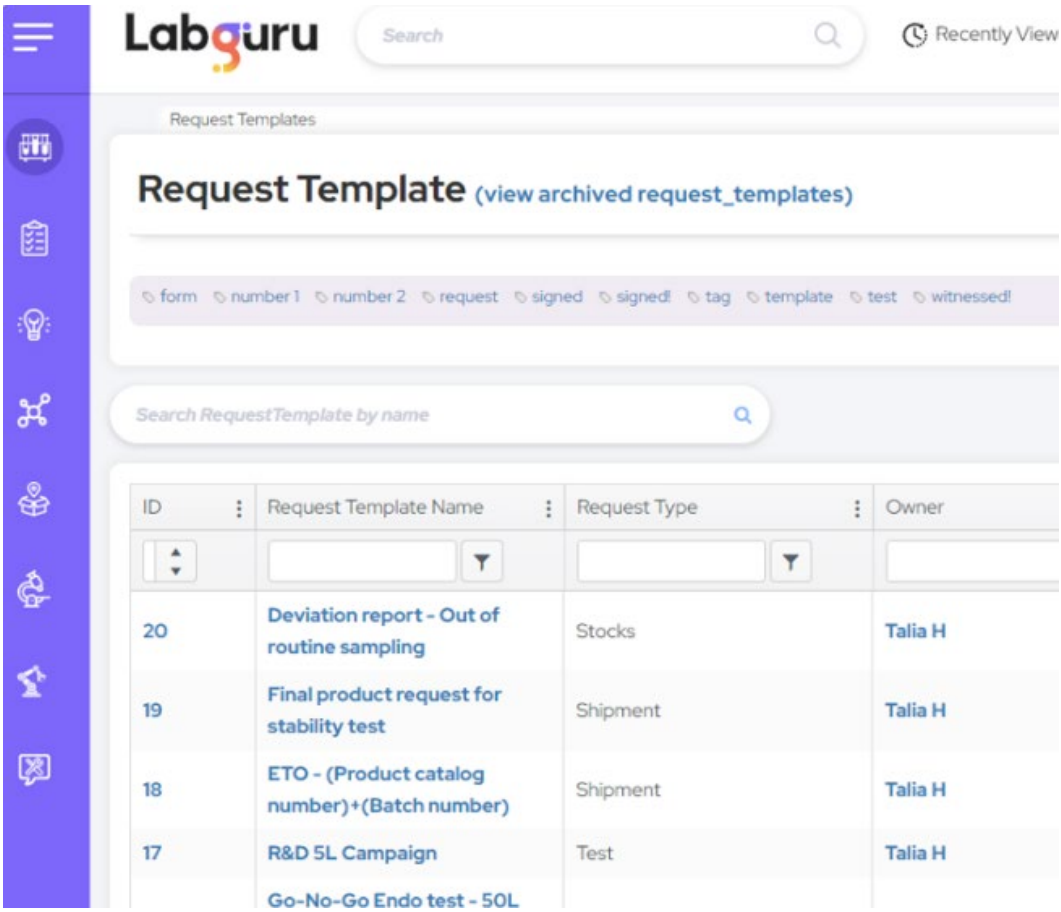
انتقال آسان دسته‌های جداگانه داده‌ها به یک پایگاه‌داده متمرکز و منسجم، سازماندهی اطلاعات بر اساس پروژه‌ها و پوشه‌ها، جست-وجو و دسترسی سریع به تاریخچه اطلاعات، حاشیه‌نویسی نتایج و پیوند آنها به آزمایشات در ELN، ایجاد گزارش، مقایسه نتایج با استفاده از مجموعه داده‌های سریالی و تجزیه و تحلیل آنها، بازتولید آزمایش‌ها از جمله ویژگی‌های ELN ارائه شده توسط Labguru است. به عنوان نمونه نمایی از طراحی و بررسی روند آزمایش در محیط کاربری Labguru ELN در شکل ۵۱ نشان داده شده است.

بهبود کار تیمی و همکاری از دیگر مزایای کاربرد این ELN به شمار می‌آید. شکل ۵۲ نمایی از نحوه همکاری و به اشتراک‌گذاری داده‌ها در Labguru ELN را نشان می‌دهد. ایجاد آزمایش‌ها و وظایف مشترک برای کار با هم‌تیمی‌ها، بحث و اظهار نظر در مورد هر صفحه، پیشگیری از کار اضافی و اطلاع از وضعیت کار هم‌تیمی‌ها از جمله مزایای کاربرد این ELN است. ایجاد یک پایگاه‌داده مشترک برای پروتکل‌ها و SOP ها، آموزش اعضا و کارکنان برای اجرای فرآیندهای داخلی، انطباق با مقررات و مستندات، استفاده و ضبط گفت‌وگوهای داخلی و جلسات ویدیویی برای حفظ بحث‌ها در متن و پیوند آنها به پروژه‌ها و آزمایش‌ها، اشتراک اطلاعات با همکاران داخلی و خارجی در راستای بهبود کار تیمی از دیگر ویژگی‌های Labguru ELN به شمار می‌آید.



شکل ۵۲ نمایی از نحوه همکاری و به اشتراک‌گذاری داده‌ها در Labguru ELN.

ماژول جدید درخواست‌های Labguru به آزمایشگاه‌های کنترل کیفیت، سازمان‌های تحقیقاتی قرارداد و آزمایشگاه‌های خدماتی و تیم‌های تحقیق و توسعه، تولید و تدارکات پاسخ می‌دهد و شیوه ارسال، پیگیری و مدیریت درخواست‌ها را متحول می‌کند (شکل ۵۳). این ماژول الگوهای یکپارچه ارتباط شفاف را امکان‌پذیر می‌سازد و اطمینان می‌دهد که همه به خوبی در مورد وظایف خود در پلتفرم ELN پاسخگو هستند.



شکل ۵۳ نمایی از ماژول درخواست در محیط کاربری Labguru ELN.

علاوه بر این، ماژول درخواست‌ها مدیریت داده را بهینه می‌سازد و کارایی کلی را بهبود می‌بخشد. تخصیص کارآمد منابع از طریق اولویت‌بندی و زمان‌بندی آزمایش‌ها بر اساس فوریت‌ها و ضرب‌الاجل‌ها که به اعضای تیم اجازه می‌دهد منابع را به طور موثر تخصیص دهند و به نتایج سریع‌تری دست یابند، از دیگر ویژگی‌های این ماژول به شمار می‌آید. به‌روزرسانی‌های در لحظه در مورد وضعیت درخواست و تکالیف، ارائه نمای پانوراما از فرآیندها که تصمیم‌گیری مؤثر و مدیریت پروژه را تقویت می‌بخشند، مزایای ماژول درخواست در Labguru ELN محسوب می‌شود.

دیگر ویژگی‌های Labguru ELN

-مقایسه نتایج با مجموعه داده‌ها و گزارش‌ها برای مشاهده پیشرفت در آزمایش‌ها.

-حاشیه‌نویسی نتایج و پیوند آنها به آزمایش‌ها برای دسترسی بیشتر و حفظ اطلاعات مهم.

-مدیریت پروژه‌ها، تعیین اهداف، اختصاص وظایف اعضا و پیگیری پیشرفت تحقیقات در هر زمان و هر مکان.

-متمرکزسازی تمام پروتکل‌ها، مقالات و برگه‌های داده در یک مرکز دیجیتال و حفظ اطلاعات ارزشمند در یک سیستم قابل جست‌وجو.

-ابزارهای مولکولی و شیمی شامل ترسیم ترکیبات شیمیایی، واکنش‌ها و مولکول‌ها و ادغام آنها در اسناد و گزارش‌های آزمایشگاهی.

-دریافت گزارش در مورد فعالیت آزمایشگاه، پیشرفت و استفاده از مواد.

-حفظ سابقه تحقیقات.

-اشتراک آزمایشات و داده‌ها در راستای اطمینان از تداوم تحقیق، تقویت همکاری بین آزمایشگاهی و نظارت بر خروجی برای کسب نتایج تکرارپذیر و مورد تایید.

-مدیریت داده‌ها و IP.

-بهینه‌سازی استفاده از تجهیزات.

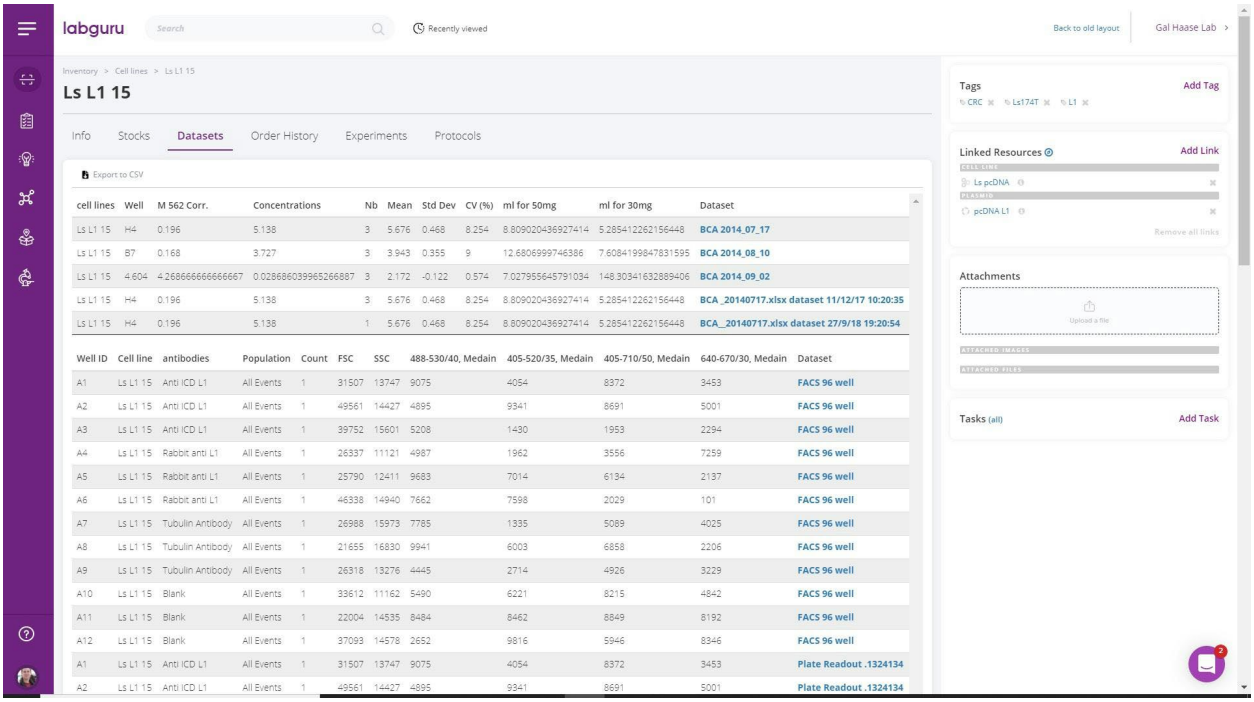
-نظارت بر منابع (مواد، نمونه ها، ابزارها)، ثبت مکان‌های ذخیره مواد، نظارت بر سفارشات و حذف سفارشات تکراری.

-طراحی مراحل گردش کار، حاشیه نویسی تصاویر، بارگذاری و تجسم داده‌ها، پیوند آزمایشات به یکدیگر.

Labguru Inventory Management System

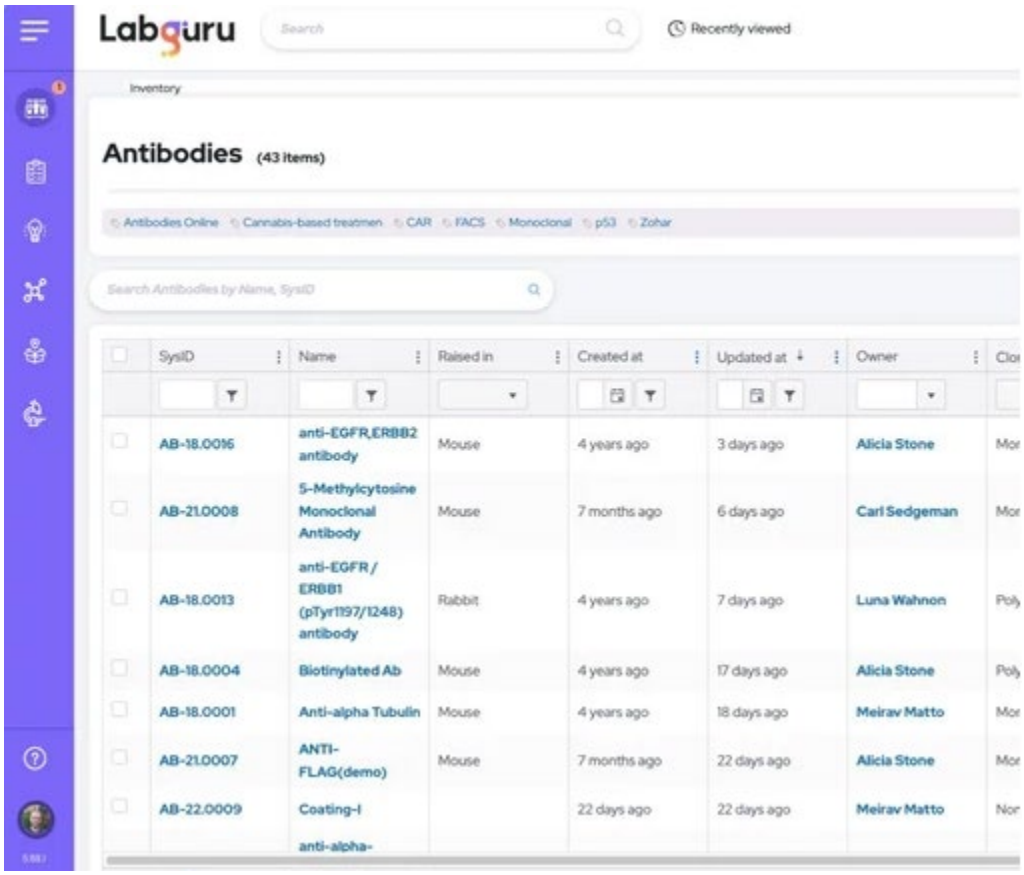
استفاده از نرم‌افزارهای مدیریت موجودی آزمایشگاهی موثر می‌تواند هزینه ها را به میزان قابل توجهی کاهش داده و در زمان صرفه‌جویی کند. علاوه بر این، استفاده از این سیستم‌ها به کابران این امکان را می‌دهد تا آزمایشگاه خود را کارآمدتر راه‌اندازی کرده و بهره‌وری را افزایش دهند.

به کمک سیستم مدیریت موجودی Labguru، در قدم اول کاربران می‌توانند فهرست موجودی آزمایشگاه خود را سازماندهی کنند. اختصاص یک مکان فیزیکی به هر نمونه، استفاده از برچسب‌های بارکد و QR کد برای شناسایی موارد و اسکن اطلاعات آنها به طور مستقیم در پایگاه‌داده از مزایای کاربرد این سیستم مدیریتی محسوب می‌شود. بهبود کارایی مدیریت موجودی آزمایشگاه از طریق مدیریت تمام درخواست‌های لیست خرید در یک مکان، برنامه‌ریزی جلسات تجهیزات و تعیین وظایف تعمیر و نگهداری آنها، همکاری در مدیریت نمونه و به اشتراک‌گذاری اطلاعات، صرفه‌جویی در هزینه‌ها از طریق گرفتن تصمیمات خرید آگاهانه، خودداری از سفارشات تکراری، اطلاع از تاریخ انقضای موجودی‌ها از دیگر ویژگی‌های سیستم مدیریت موجودی Labguru به‌شمار می‌آید. شکل ۵۴ نمایی از برنامه سیستم مدیریت موجودی در Labguru را نشان می‌دهد.



شکل ۵۴ نمایی از برنامه سیستم مدیریت موجودی در Labguru.

نرم‌افزار مدیریت موجودی Labguru برای مدیریت نمونه‌های آزمایشگاهی نیز کاربرد دارد. این برنامه به عنوان یک پایگاه‌داده مرکزی از نمونه‌ها عمل می‌کند که به راحتی برای همه اعضای آزمایشگاه در همه زمان‌ها و از هر دستگاه متصل به اینترنت قابل دسترسی است. کاربران می‌توانند هر مجموعه موجودی را ایجاد و ویرایش کنند و با انتخاب از میان طیف گسترده‌ای از فیلدهای پیش فرض یا افزودن فیلدهای سفارشی، ویژگی‌ها و فیلدهای آنها را تعریف نمایند (شکل ۵۵).

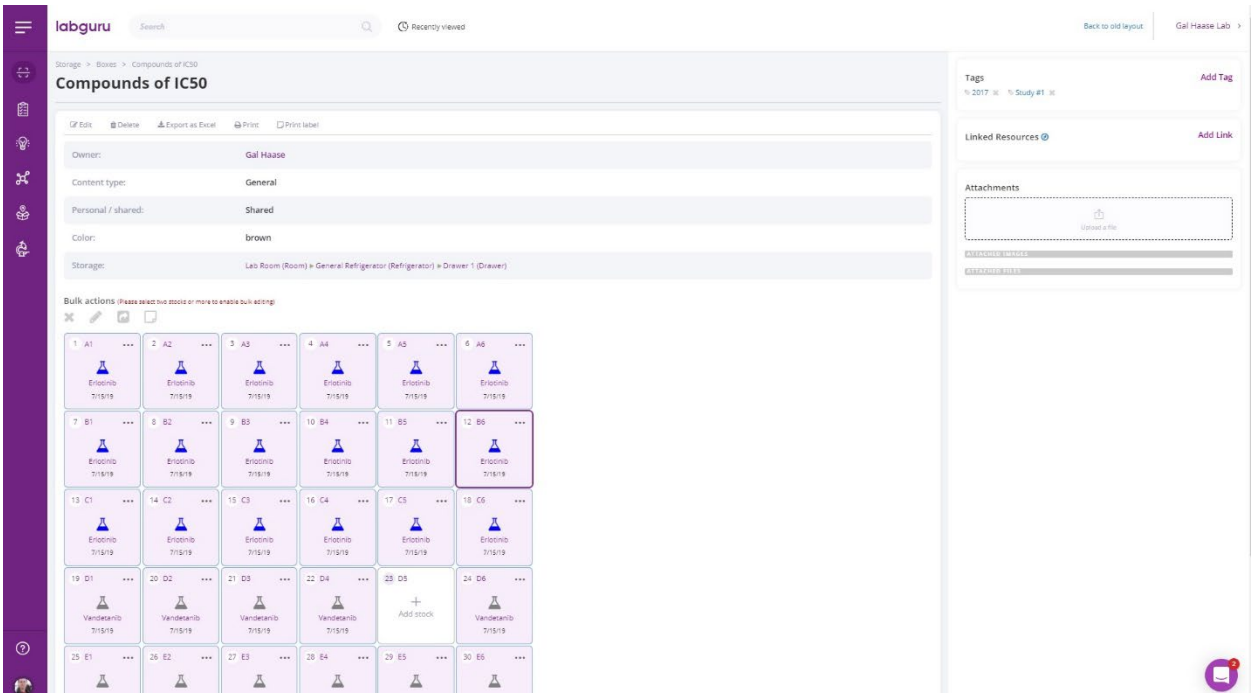


شکل ۵۵ مدیریت نمونه‌های آزمایشگاهی در سیستم مدیریت موجودی در Labguru.

علاوه بر این، در سیستم مدیریت موجودی Labguru، قابلیت استفاده از ابزارهای داخلی برای مجموعه‌های زیستی، شیمیایی و مولکولی، تنظیم وظایف و دریافت یادآورهایی برای تعمیر و نگهداری یا آزمایش پیاده‌سازی شده است. در این سیستم کاربران می‌توانند مجموعه‌های خود را با افزودن دستی اقلام موجودی یا وارد کردن انبوه با استفاده از یک الگوی اکسل تکمیل نمایند، اطلاعات نمونه را با اعضای آزمایشگاه به اشتراک بگذارند و در هر صفحه با یکدیگر همکاری کنند.

سیستم مدیریت موجودی Labguru برای ردیابی مکان‌های ذخیره‌سازی نمونه‌ها نیز کاربرد دارد. مکان فیزیکی همه نمونه‌ها و ابزارهای موجود در آزمایشگاه، از اتاق‌های ذخیره‌سازی گرفته تا لوله‌ها و بطری‌های خاص را می‌توان در این برنامه مشخص کرد (شکل ۵۶). ظروف مصرف شده را با استفاده از گزینه‌های پیش‌فرض مشخص کرد، مقدار موجودی باقیمانده را ردیابی کرد و زمانی که موجودی رو به اتمام است، اعلان دریافت کرد. ردیابی تاریخ انقضا و دریافت اطلاعیه در مورد مواد منقضی شده، دریافت تصویر واضح‌تری از میزان مصرف واقعی و اتخاذ تصمیمات خرید آگاهانه که از انباشت غیرضروری جلوگیری می‌کند، را فراهم می‌سازد. این ویژگی‌ها صرفه جویی در هزینه‌های آزمایشگاه را به همراه دارد.

Labguru یک راه‌حل جامع برای آزمایشگاه است که ELN را با سیستم مدیریت موجودی و انفورماتیک آزمایشگاهی یکپارچه می‌سازد. ماژول موجودی به طور یکپارچه به ورودی‌های ELN متصل می‌شود و به کاربر این امکان را می‌دهد تا نمونه‌ها و لوازم خاصی را به آزمایش‌ها اضافه کند. هم‌چنین، ماژول موجودی به کاربران اجازه می‌دهد تا موارد استفاده و مکان مواد را پیگیری کنند، پروتکل‌های قابل استفاده مجدد با مراحل و مواد مصرفی ایجاد کنند، تمام آزمایش‌های انجام شده را روی یک نمونه خاص مشاهده کنند و استوک‌ها را به عنوان مصرف شده پس از استفاده در آزمایش‌ها علامت‌گذاری کنند.



شکل ۵۶ مدیریت مکان فیزیکی نمونه‌ها در سیستم مدیریت موجودی در Labguru.

Labguru به طور کامل برای هر صفحه الکترونیکی پاسخگو است. این ویژگی پاسخگویی به کاربر کمک می‌کند تا با استفاده از دسکتاپ، تلفن هوشمند یا تبلت به اطلاعات آزمایشگاه خود در هر مکانی دسترسی داشته باشد. کار بر روی Labguru از طریق دستگاه‌های هوشمند کمک می‌کند تا موجودی را به صورت لحظه‌ای مدیریت کرد، بارکدها را اسکن کرد و مستقیماً در Labguru عکس گرفت.

API هوشمند و کاملاً قابل ردیابی Labguru یکپارچگی کامل بین سیستم‌های موجودی در آزمایشگاه را تضمین‌می‌کند. هر جنبه‌ای از Labguru را می‌توان بر اساس نیازهای منحصر به فرد کاربر تنظیم کرد و انعطاف‌پذیری برای دستیابی به پیشرفت‌های علمی را فراهم ساخت.

در می ۲۰۲۳ ادغام Avantor® به نشانی avantorsciences.com با Labguru صورت گرفت. با دسترسی به Avantor VWR از طریق Labguru، انبارهای آزمایشگاه به طور موثر مدیریت و کنترل می‌شوند. با همکاری اخیر Labguru با مدیریت موجودی Avantor، کارایی آزمایشگاه افزایش یافته و مدیریت موجودی آزمایشگاه ساده و بهینه می‌شود.

مزایای کلیدی این یکپارچه‌سازی شامل:

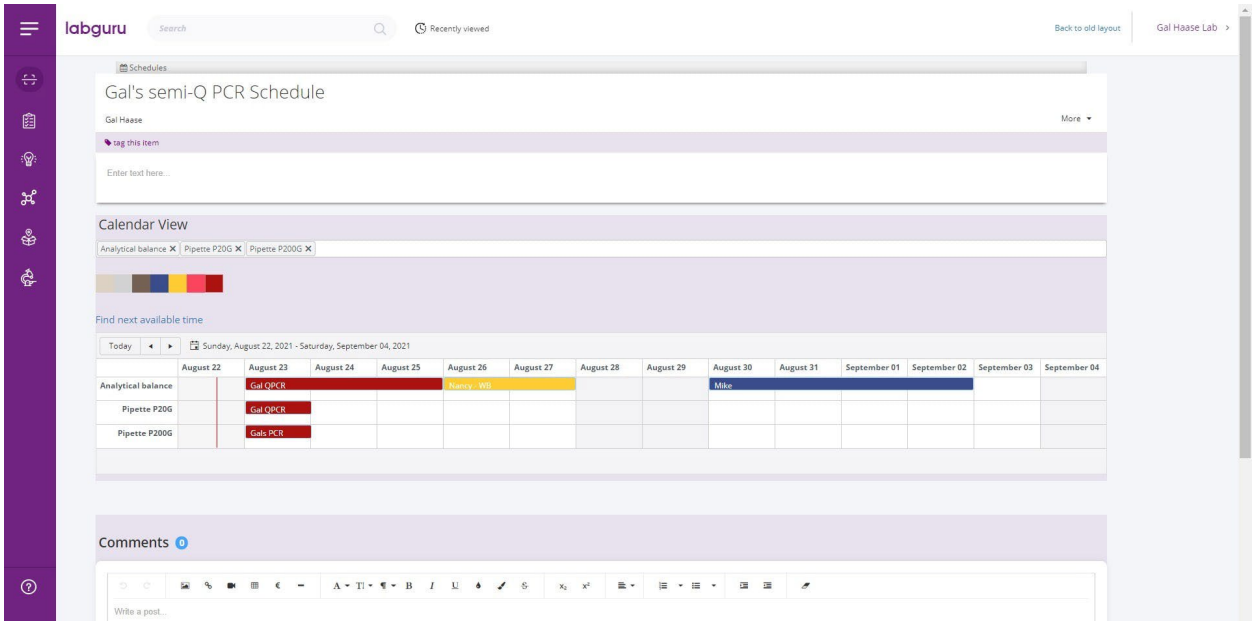
۱) سکوی یکپارچه: کاربران مستقیماً از Labguru به کانال تجارت الکترونیک گسترده Avantor دسترسی پیدا کرده، که این ویژگی فرآیند خرید را یکپارچه و کارآمد می‌کند.

۲) گزارش به صورت در لحظه: کاربر می‌تواند موجودی آزمایشگاه خود را با ویژگی گزارش در لحظه پیگیری کند و اطمینان حاصل کند که همیشه به‌روز است.

۳) سفارش برحسب تقاضا: با ویژگی سفارشی‌سازی مجدد برحسب تقاضا، کاربران با اتمام مواد مصرفی ضروری روبرو نخواهد شد.

۴) گردش کار ساده: کارایی عملیاتی با گردش کار ساده بهبود یافته و زمان بیشتری برای کارهای تحقیقاتی در اختیار محققان قرار می‌گیرد.

۵) مدیر موجودی Avantor طیف گسترده‌ای از محصولات با کیفیت بالا را برای نیازهای آزمایشگاهی فراهم می‌کند.



شکل ۵۷ بهینه‌سازی استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی در سیستم مدیریت موجودی آزمایشگاه در Labguru.

دیگر ویژگی‌های سیستم مدیریت موجودی در Labguru

۱) تجسم داده‌ها و ایجاد گزارش

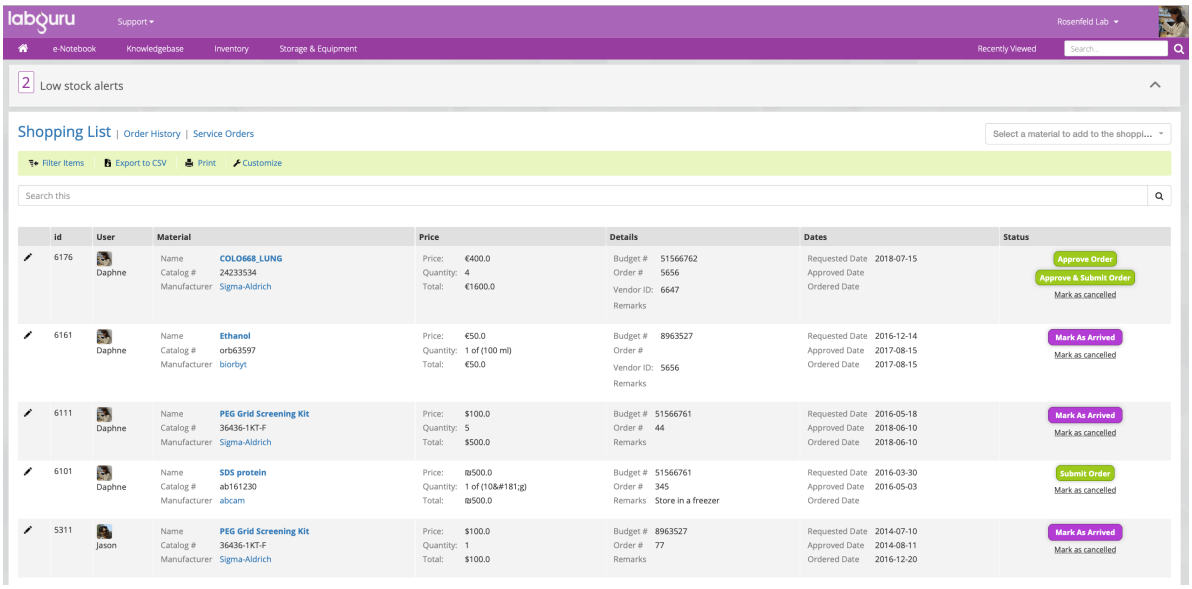
افزونه داشبورد برای ایجاد و ارائه گزارش‌های تصویری و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده کاربرد دارد. داشبورد مخزنی از پرس‌وجوهای SQL از پیش طراحی شده را ارائه می‌دهد. هم‌چنین به کمک داشبورد می‌توان پرس‌وجوهای سفارشی شده را ایجاد یا پرس‌وجوهای بیشتری را با کدگذاری پایتون، روبی و C# پیاده‌سازی کرد.

۲) بهینه‌سازی استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی

به کمک این برنامه می‌توان همه ابزارها را در آزمایشگاه ثبت کرد. استفاده از تجهیزات را در تقویم Labguru برنامه‌ریزی کرد، وظایف تعمیر و نگهداری و کالیبراسیون را تنظیم کرد و در زمان مقرر اعلان‌ها را دریافت کرد (شکل ۵۷).

۳) دیجیتالی کردن لیست‌های خرید

به کمک سیستم مدیریت موجودی در Labguu تمام درخواست‌های سفارش از اعضای مختلف آزمایشگاه در یک مکان متمرکز می‌شود تا از تکراری شدن سفارش‌ها جلوگیری شود. پس از ثبت، سفارش‌ها بررسی و ارسال می‌شوند. علاوه بر این، قیمت‌ها پیوست شده و وضعیت سفارش را می‌توان پیگیری کرد (شکل ۵۸).



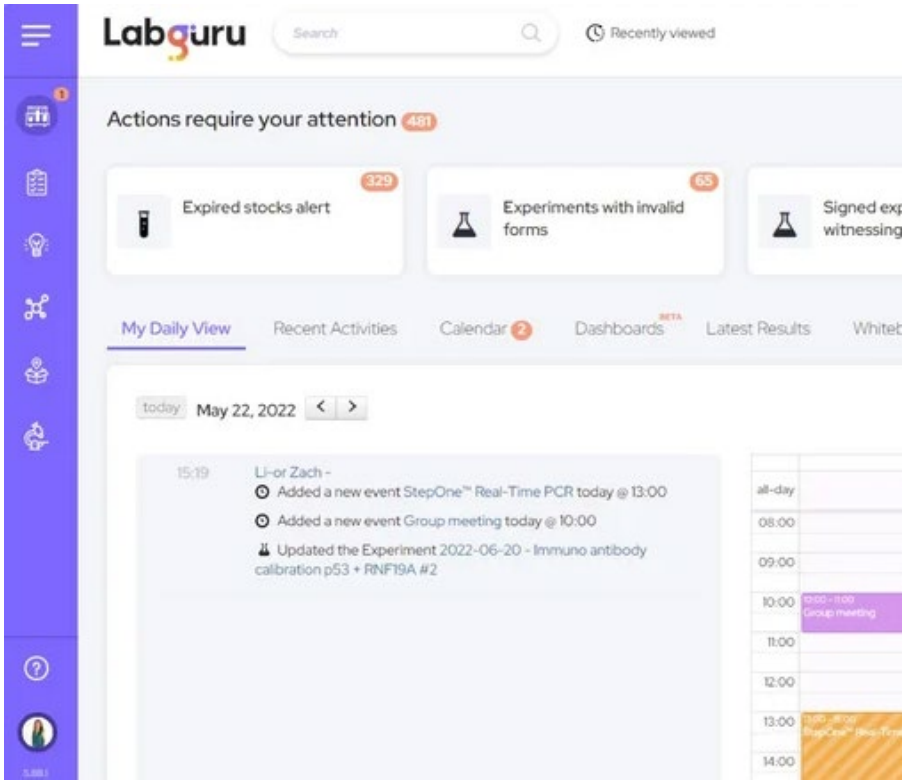
شکل ۵۸ دیجیتالی کردن لیست‌های خرید در سیستم مدیریت موجودی Labguru.

۴) استفاده از برچسب

در این برنامه می‌توان برچسب‌های بارکد یک‌بعدی یا دوبعدی با فیلدهای مورد نیاز برای استوک‌ها، پلیت‌ها، تجهیزات و جعبه‌ها چاپ کرد. این ویژگی کمک می‌کند تا با اسکن بارکد/QR کد استوک به آسانی اقلام را جابجا یا در صورت نیاز استفاده کرد.

Labguru LIMS

با LIMS قابل تنظیم و سازگار Labguru، کارایی عملیات آزمایشگاهی ارتقا یافته، گردش کار برای مدیریت نمونه‌های بیشتری خودکار شده، تولید گزارش تسریع یافته و رشد آزمایشگاه افزایش می‌یابد. شکل ۵۹ نمایی از محیط کاربری Labguru LIMS را نشان می‌دهد. استفاده از یک سیستم یکپارچه ELN و LIMS در Labguru به کاربران این امکان را می‌دهد تا عملیات آزمایشگاهی را ساده کنند، کارایی را افزایش دهند و نتایج تحقیقات خود را سرعت بخشند و بنابراین در وقت و هزینه خود صرفه‌جویی کنند. با کمک این سیستم متمرکز کاربران مجبور نیستید از سیستم‌های جداگانه برای عملکردهای مختلف (مدیریت موجودی، نگهداری سوابق، تجزیه و تحلیل داده‌ها، و غیره) استفاده کنند و اطلاعات را بین آنها انتقال دهند. علاوه بر این، از پرداخت هزینه به چندین فروشنده و خطر از دست دادن اطلاعات ارزشمند نیز محفوظ می‌مانند.



شکل ۵۹ نمایی از محیط کاربری Labguru LIMS.

این سیستم یکپارچه ELN و LIMS شامل:

-یک ELN غنی برای مدیریت پروژه‌ها، آزمایش‌ها و پروتکل‌ها در یک مکان و دسترسی به آنها در هر زمان و هر مکان.

-مدیریت موجودی و نمونه برای اطمینان از سازماندهی نمونه‌ها، مدیریت مکان‌های فیزیکی آنها و اطلاع از مقدار موجودی هر کدام.

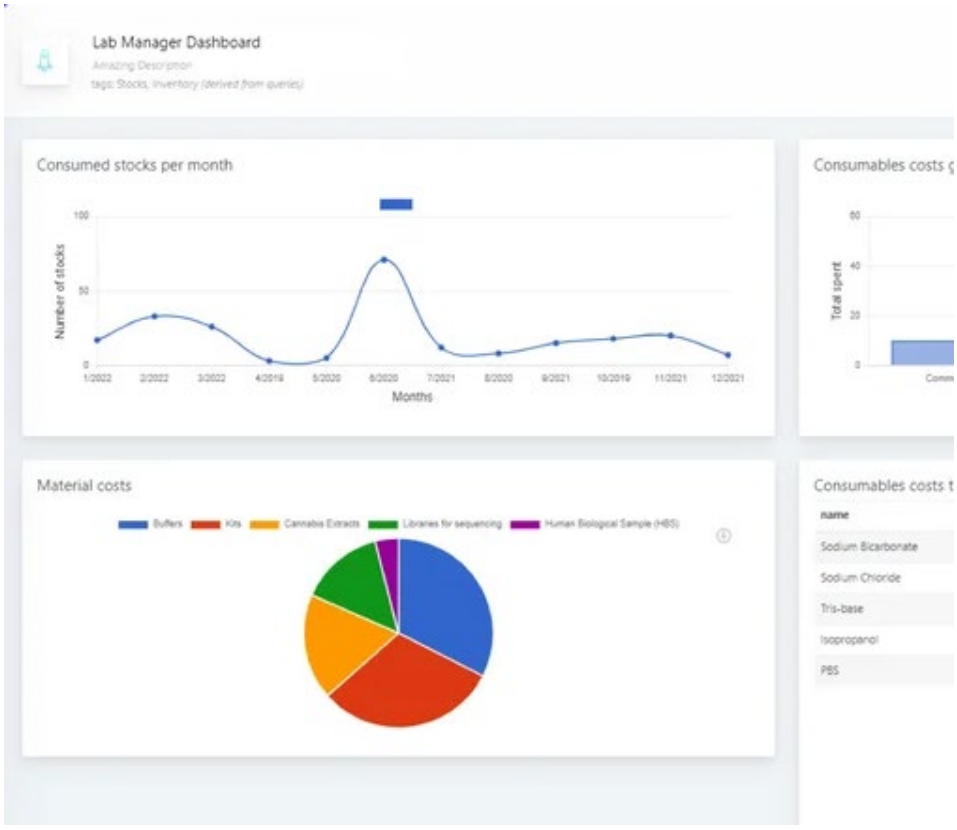
-تجزیه و تحلیل گواهی.

-خودکارسازی گردش کار.

-ارائه گزارش‌ها و تجزیه و تحلیل آنها از طریق تجسم نتایج و ایجاد پرس‌وجوهای از پیش ساخته یا سفارشی بر روی داده‌ها.

-مدیریت تجهیزات، تعمیر، کالیبراسیون و نگهداری از آنها و برنامه‌ریزی جلسات پیرامون تجهیزات آزمایشگاهی.

-مدیریت داده‌های بزرگ از طریق بارگذاری و خروجی گرفتن از حجم زیادی از داده‌های تحقیقاتی.



شکل ۶۰ نمایی از داشبورد مدیریت آزمایشگاه در Labguru LIMS.

مزایای کلیدی نرم‌افزار Labguru LIMS

-حفاظت از مالکیت معنوی داده‌ها.

-اشتراک آسان داده‌ها با اعضای آزمایشگاه.

-حفظ یکپارچگی داده‌ها و اطمینان از انطباق با مقررات.

-تجزیه و تحلیل تحقیقات به کمک داشبوردهای Labguru LIMS (شکل ۶۰)

-خودکارسازی فرآیندها و ایجاد گردش کار.

-افزایش بهره‌وری و کاهش خطاهای انسانی.

-تنظیم استانداردهای بالای مدیریت داده.

-پیاده‌سازی، پیکربندی و نصب سریع و آسان نرم‌افزار در هر آزمایشگاهی، اعم از دارویی، شیمیایی، CRO، محیطی، بالینی یا دانشگاهی.

-ادغام کامل با ابزارهای انفورماتیک مانند ELN.

-مدیریت کالیبراسیون.

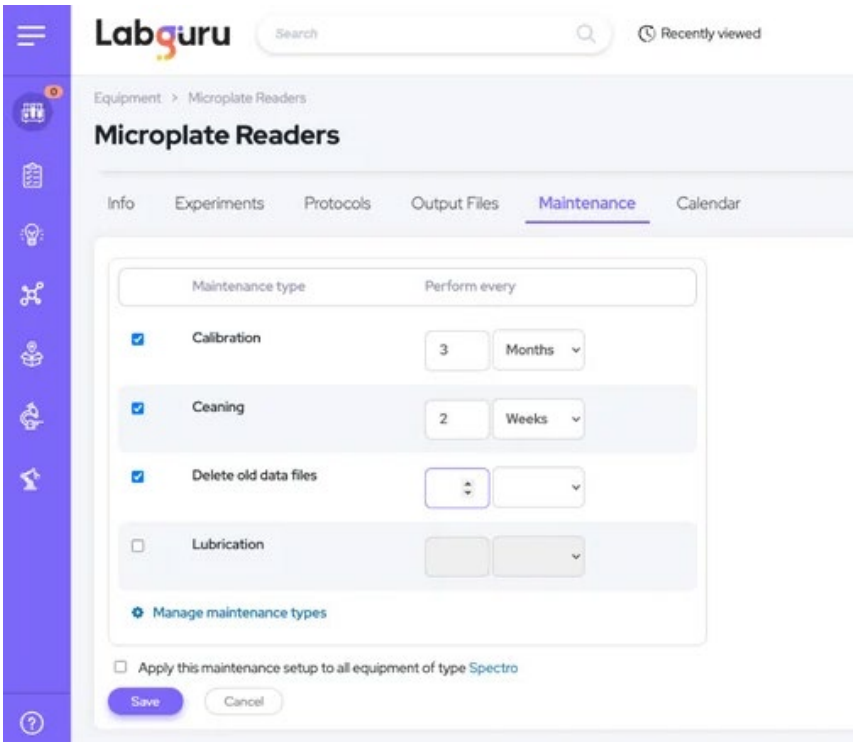
-تسهیل همکاری در چارچوب.

-استفاده از RESTful API برای وارد کردن داده‌ها از ابزارها و منابع دیگر.

-ایمنی بالا و سازگاری با GxP.

Labguru Equipment Management

سیستم مدیریت تجهیزات آزمایشگاهی Labguru به کاربران کمک می‌کند تا تمام تجهیزات خود را در یک سیستم مدیریت آزمایشگاهی سازماندهی کنند تا مدیریت زمان را بهینه‌سازی کرده، دقت نتایج را بهبود بخشیده و کار تیمی را تقویت کنند. شکل ۶۱ نمایی از سیستم مدیریت تجهیزات آزمایشگاهی Labguru را نشان می‌دهد.



شکل ۶۱ نمایی از سیستم مدیریت تجهیزات آزمایشگاهی Labguru.

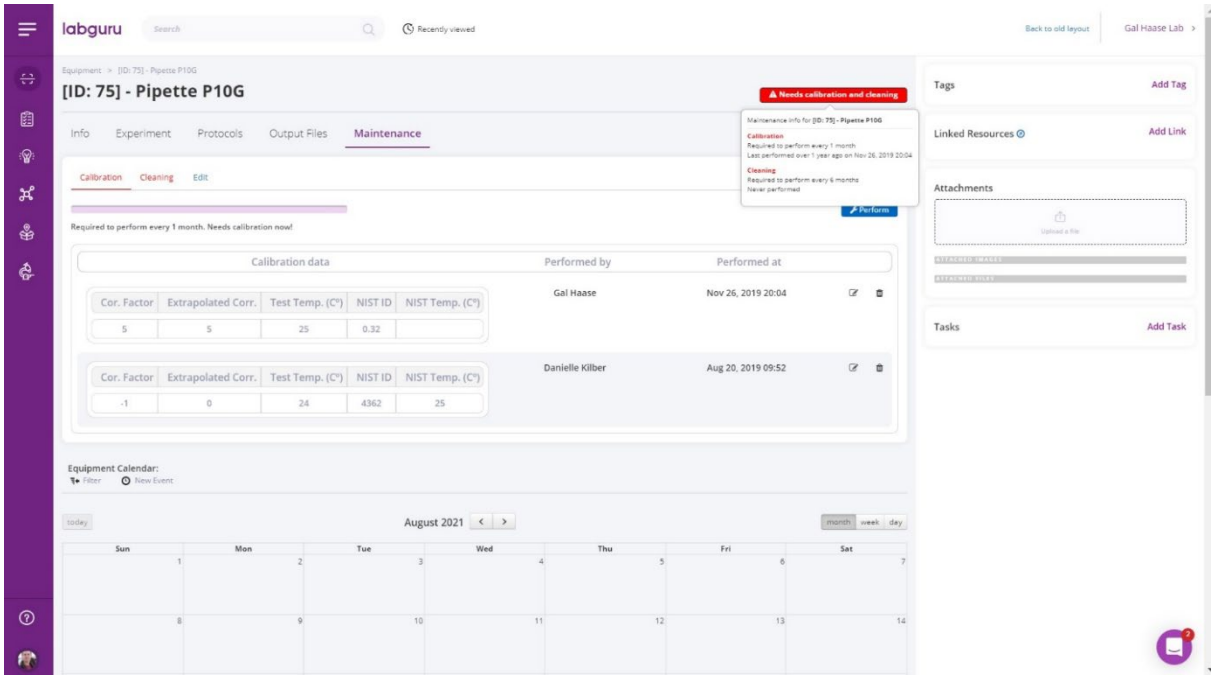
ویژگی‌های سیستم مدیریت تجهیزات آزمایشگاهی Labguru

-حفظ برنامه تعمیر، کالیبراسیون و نگهداری از تجهیزات (شکل ۶۲).

-تنظیم نوع نگهداری و دوره زمانی مورد نیاز برای هر ابزار.

-دریافت اعلان در صورت نیاز به کالیبراسیون یا تعمیر.

-اختصاص وظایف کالیبراسیون به اعضای آزمایشگاه.



شکل ۶۲ حفظ برنامه تعمیر، کالیبراسیون و نگهداری از تجهیزات در سیستم مدیریت تجهیزات آزمایشگاهی Labguru.

-ثبت رویدادهای تعمیر و نگهداری با الگوهای ساختاریافته و قابل استفاده مجدد.

-مشاهده تمام کارهای تکمیل شده تعمیر و نگهداری در "گزارش تعمیر و نگهداری".

-برنامه‌ریزی جلسات پیرامون تجهیزات آزمایشگاهی.

-یافتن زمان در دسترس ابزار مورد نیاز هر کاربر با استفاده از برنامه زمان‌بندی.

-پیوند هر تعداد ابزار لازم به هر رویدادی در تقویم.

-اشتراک جدول زمانی تجهیزات در آزمایشگاه یا بخش، جلوگیری از رزرو دوگانه و تنظیم شرایط برای مدیریت تجهیزات.

-دریافت اعلان‌ها هنگام اتمام زمان کار با هر دستگاه.

-ایجاد یک سیستم برچسب‌گذاری استاندارد در راستای پیوند تجهیزات به آزمایشات.

-ایجاد برچسب‌های سفارشی با QR کد یا بارکد برای هر ابزار با استفاده از برنامه Label Wizard (شکل ۶۳).

-افزودن جزئیاتی مانند نام، مالک، شماره کاتالوگ و نشان سازمان.

-پیوند تجهیزات به آزمایشات از طریق اسکن بارکدها.

-ایجاد الگوهای برچسب قابل استفاده مجدد برای استاندارد کردن مدیریت ذخیره‌سازی تجهیزات در آزمایشگاه.

شکل ۶۳ نمایی از ایجاد برچسب‌های سفارشی با QR کد یا بارکد برای هر ابزار سیستم مدیریت تجهیزات آزمایشگاهی Labguru.

بهبود مدیریت تجهیزات با ابزارهای هوشمند در سیستم مدیریت تجهیزات آزمایشگاهی Labguru

ایجاد گزارش تجهیزات یکی از مزایای سیستم مدیریت تجهیزات آزمایشگاهی Labguru در راستای بهبود مدیریت تجهیزات است. این کار با کمک یک افزونه صورت می‌گیرد. افزونه Labguru's Dashboards یک ابزار انفورماتیک و هوش تجاری[۱] است که برای کمک به کاربران در تصمیم‌گیری‌های داده محور و بهبود کارایی آزمایشگاه ایجاد شده است. در میان بسیاری از ویژگی‌های آن، داشبورد به کاربران این امکان را می‌دهد تا گزارش‌های استفاده از تجهیزات را با استفاده از پرس‌وجوهای SQL از پیش ساخته یا سفارشی، با جزئیاتی مانند ابزارهای مورد استفاده، تعداد روزهای غیرعملیاتی در هر ابزار، استفاده از تجهیزات در هر پروژه، زمان‌های

[۱] Business Intelligence

خرابی و غیره ایجاد کنند. گزارش‌ها را می‌توان در نمودارها و جداول انتخابی ترسیم کرد و با استفاده از کدنویسی‌ها آن‌ها را مورد تجزیه و تحلیل بیشتر قرار داد.

انتقال خودکار داده‌ها از دیگر ویژگی‌های سیستم مدیریت تجهیزات آزمایشگاهی Labguru است. می‌توان از Labguru UpFolder برای ادغام ابزارهای آزمایشگاهی و LIMS استفاده کرد. به سادگی یک پوشه در رایانه‌ی ابزار ایجاد کرده و همه فایل‌های ایجاد شده یا منتقل شده به این پوشه را در حساب Labguru کاربر بارگذاری کرد.

ابزار اتوماسیون Labgure، با نام Workflow Editor، برای خودکارسازی فرآیندهای مدیریت داده‌های تحقیقاتی کاربرد دارد. با ایجاد گردش کار گام به گام برای ساختاردهی، تجزیه و تحلیل یا سازماندهی نتایجی که از تجهیزات آزمایشگاهی دریافت می‌شود، در زمان صرفه جویی شده و خطاهای انسانی نیز کاهش می‌یابد.

راهکارهای مبتنی بر هوش مصنوعی Labguru

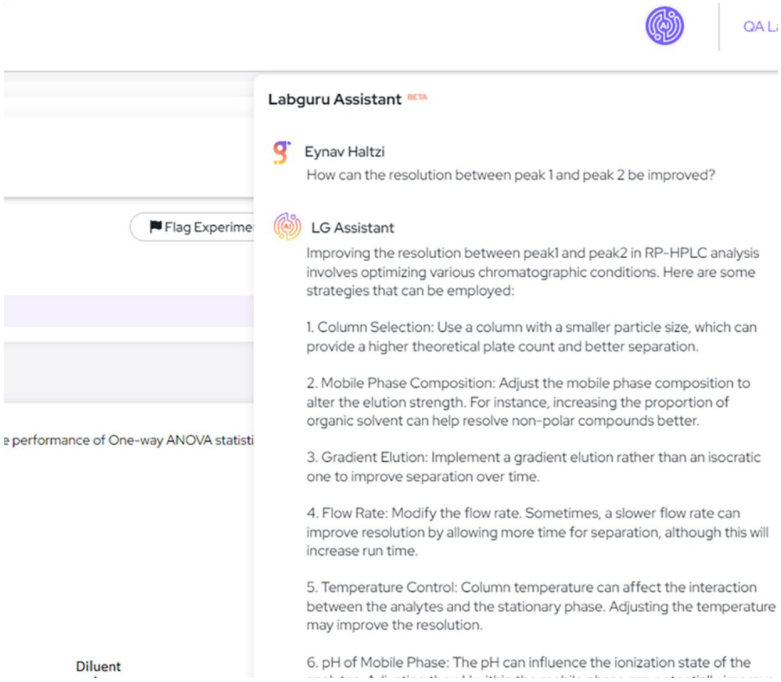
Labguru در راستای پایه‌ریزی آزمایشگاه‌های آینده از راهکارهای مبتنی بر هوش مصنوعی، علم داده و یادگیری ماشین برای تسهیل و تسریع عملیات آزمایشگاهی بهره برده است. راه حل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی عملیات، کاهش خطاها و صرفه‌جویی در زمان طراحی شده‌اند و از تحقیقات پیشرفته کاربران پشتیبانی می‌کنند. دستیار هوش مصنوعی Labguru (Labguru Assistant)، مبدل پروتکل (Protocol Converter)، پیش‌بینی تامین هوش مصنوعی، برنامه‌ریزی هوشمند و پیش‌بینی ساختار سوم پروتئین‌ها به کمک آلفا فولد از جمله این راهکارهای ارائه شده توسط Labguru به شمار می‌آیند.

۱) دستیار هوش مصنوعی Labguru

Labguru Assistant، ربات گفت‌وگوی جدید و همیشه حاضر هوش مصنوعی Labguru است، که توسط OpenAI یا LLM داخلی پشتیبانی می‌شود (شکل ۶۴). این دستیار هوشمند از هر صفحه برنامه قابل دسترسی است و برای رسیدگی به چالش‌های چندوجهی که دانشمندان و محققان روزانه با آن مواجه هستند، مانند مدیریت آزمایش‌های پیچیده، مدیریت مجموعه داده‌های گسترده و هماهنگی پروژه‌های مشترک طراحی شده است.

ربات گفت‌وگوی هوش مصنوعی Labguru برای توانمندسازی محققان در راستای تلاش برای کشف و نوآوری طراحی شده است. Labguru Assistant پلتفرم مورد استفاده کاربران برای کمک به صورت در لحظه است که امکان مکالمات پویا و یافتن سریع پاسخ

سوالات را فراهم می‌سازد. در هر مرحله از سفر علمی مانند مقابله با چالش‌ها، پیمایش مجموعه داده‌های گسترده یا تقویت همکاری‌ها، دستیار Labguru ار کاربران پشتیبانی می‌کند.



شکل ۶۴ نمایی از دستیار هوش مصنوعی Labguru با نام Labguru Assistant.

ویژگی‌ها و مزایا Labguru Assitant

دستیار هوشمند Labguru همراه با پشتیبانی مداوم در سراسر برنامه برای عیب‌یابی آزمایشگاهی و رسیدگی به مسائل آزمایشی غیرمنتظره به صورت در لحظه کاربرد دارد. برای حفظ یکپارچگی تحقیقات، رفع سریع نقص‌های تجهیزات، غلبه بر نتایج پیش‌بینی نشده و انحرافات پروتکل می‌توان از دستیار Labguru کمک گرفت. بهینه‌سازی پروتکل‌ها از دیگر مزایای کاربرد دستیار هوشمند Labguru است. کاربران می‌توانند پروتکل‌های آزمایشی خود را با پیشنهادات مبتنی بر هوش مصنوعی اصلاح کنند، روش‌های خود را برای نتایج قوی و قابل تکرار بهبود بخشند و در زمان و منابع با ارزش صرفه جویی کنند.

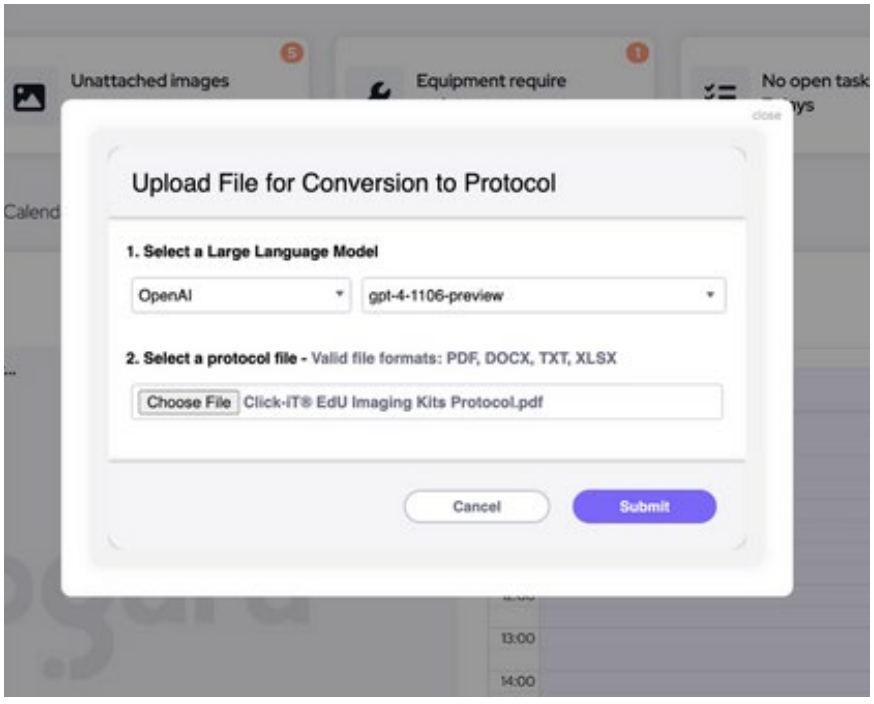
تجزیه و تحلیل داده‌های پیشرفته نیز به کمک دستیار هوشمند امکان‌پذیر است. کاربران می‌توانند مجموعه داده‌های پیچیده و روش‌های آماری را به سهولت و به صورت در لحظه پیمایش کنند. Labguru Assistant بینش‌هایی در مورد تکنیک‌های تجسم داده‌ها و تفسیر نتایج ارائه می‌دهد تا قابلیت اطمینان نتایج را ارتقا بخشد و با عدم قطعیت‌ها در طول آزمایش‌ها مقابله کند. علاوه بر

این، در مورد گام‌های بعدی بالقوه و رویکردهای جایگزین در راستای کسب نتایج تحقیقاتی تأثیرگذار، می‌توان راهنمایی‌های تخصصی از Labguru Assistant دریافت کرد.

حفظ یکپارچگی داده‌ها و حصول اطمینان از رعایت استانداردهای نظارتی با یادآوری و راهنمایی در مورد اقدامات کنترل کیفیت از دیگر مزایای این دستیار هوشمند محسوب می‌شود. بازیابی کارآمد داده‌ها، با دور زدن منوها و رابط‌های پیچیده و تنها با پرسیدن سوالات به زبان طبیعی از دستیار Labguru، امکان‌پذیر است. هم‌چنین، استفاده از پیشنهادات مبتنی بر هوش مصنوعی برای ورود دقیق داده‌ها، حفظ یکپارچگی، قابلیت اطمینان داده‌ها و کاهش خطا را به دنبال دارد.

۲) مبدل پروتکل

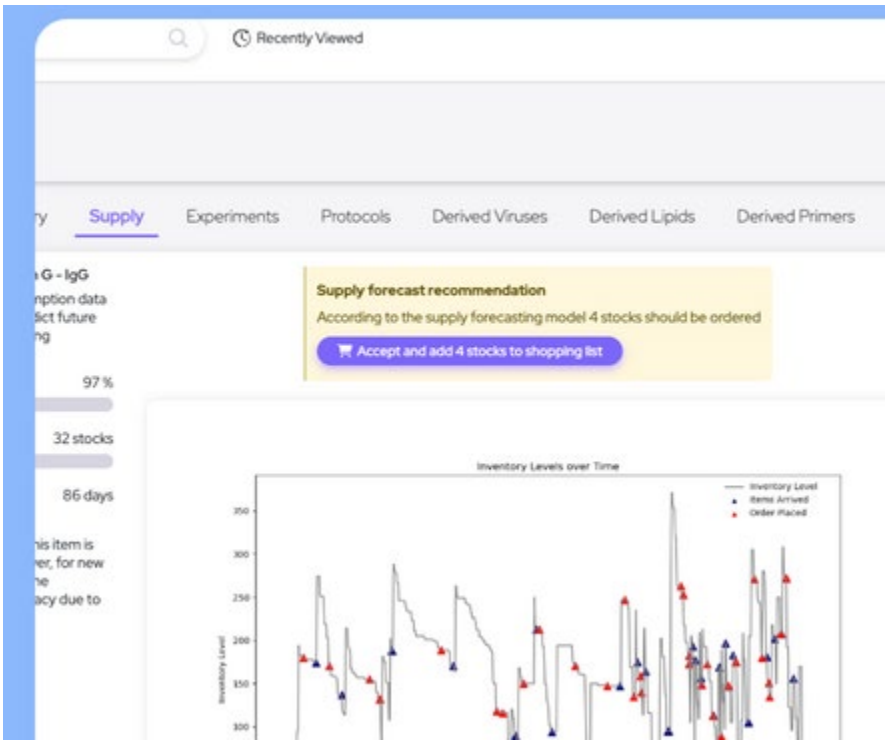
با کمک برنامه مبدل پروتکل در Labguru، گردش کار ورودی بهینه و خودکار خواهد شد. کاربران می‌توانند هر فایلی را بارگذاری کرده تا موتور هوش مصنوعی Labguru آن را به یک پروتکل تعاملی تبدیل کند (شکل ۶۵). طیف گسترده‌ای از انواع فایل‌ها، از جمله اسناد Word، PDF، XLSX و غیره توسط این مبدل، قابل تبدیل است. به کمک مبدل پروتکل، انتظار می‌رود در نحوه پردازش داده‌ها تغییراتی مشاهده شود که منجر به اسناد یکپارچه‌تر، همکاری بهبود یافته و تجربه کاری ساده‌تر شود.



شکل ۶۵ نمایی از برنامه مبدل پروتکل Labguru برای تبدیل هوشمند فایل‌ها به پروتکل‌ها.

۳) پیش‌بینی عرضه مبتنی بر هوش مصنوعی

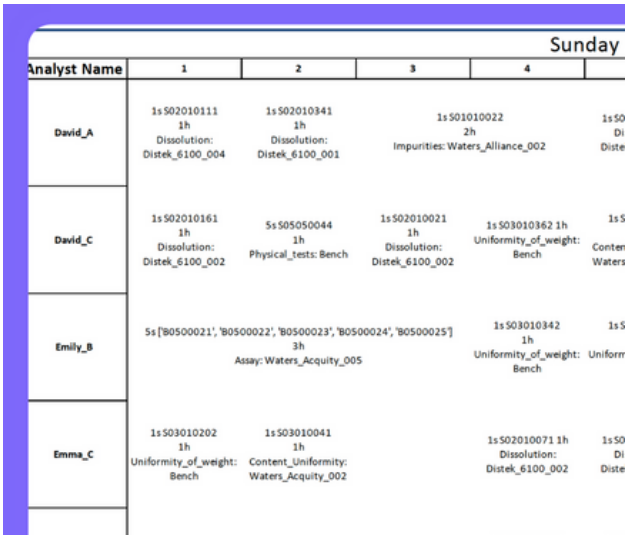
مدیریت کارآمد موجودی آزمایشگاه برای موفقیت آن بسیار حائز اهمیت است. ویژگی پیش‌بینی عرضه مبتنی بر هوش مصنوعی Labguru در راستای حفظ سطوح بهینه استوک‌ها، این فرآیند را ساده می‌کند (شکل ۶۶). پیش‌بینی‌های دقیق با کمک الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی نرخ مصرف اقلام موجودی و زمان‌های تحویل از سوی فروشندگان از مزایای این برنامه است. تعیین بهترین زمان برای سفارش مجدد و مقادیر ایده‌آل مورد نیاز، اطمینان از موجودی کافی و جلوگیری از زیاده‌روی در تجمع در انبار از جمله فرآیندهایی هستند که به کمک این برنامه تسهیل خواهند شد. برنامه پیش‌بینی کننده عرضه مبتنی بر هوش مصنوعی برای حفظ موجودی متعادل تاخیرهای عملیاتی را کاهش داده و در زمان و منابع صرفه جویی کرده و در عین حال کارایی آزمایشگاه را ارتقا می‌بخشد.



شکل ۶۶ نمایی از برنامه پیش‌بینی عرضه مبتنی بر هوش مصنوعی در Labguru.

۴) برنامه‌ریزی هوشمند

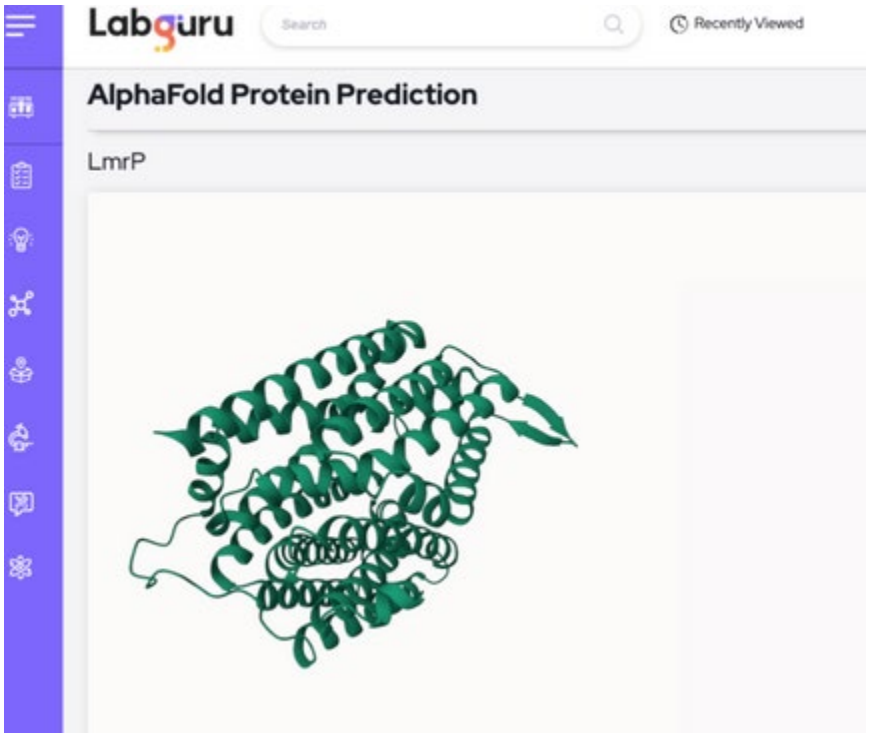
برنامه‌ریزی کارآمد فعالیت‌های آزمایشگاهی امری بسیار مهم اما پیچیده است. سیستم برنامه‌ریزی هوشمند Labguru برای ایجاد یک برنامه کاری بهینه در آزمایشگاه کاربرد دارد (شکل ۶۷). به کمک این برنامه می‌توان از صرفه‌جویی در زمان، کاهش خطا و بهینه‌سازی منابع در راستای اهداف آزمایشگاه اطمینان حاصل کرد.



شکل ۶۷ نمایی از برنامه‌ریز هوشمند Labguru.

۵) پیش‌بینی ساختار سه‌بعدی پروتئین‌ها به کمک AlphaFold در Labguru

در Labguru یکپارچه‌سازی برنامه AlphaFold برای پیش‌بینی مستقیم ساختار سه‌بعدی پروتئین‌ها پیاده‌سازی شده است تا تحقیقات پیرامون اکتشافات دارویی در یک پلتفرم واحد ساده‌سازی شود (شکل ۶۸). این یکپارچه‌سازی نیازی به بارگیری یا بارگذاری در منابع خارجی، مانند پوشه‌های مشترک، AWS S۳ یا Google Drive را از میان می‌برد. هم‌چنین، از زیرساخت ابری برای کار با ساختارهای پروتئینی بزرگ و انجام محاسبات گسترده استفاده می‌کند. بنابراین، محدودیت‌های سخت‌افزاری کاربر مانعی برای انجام این محاسبات محسوب نمی‌شود. دسترسی سریع به پیش‌بینی‌های قبلی و در دسترس نگه داشتن نتایج مستقیماً در حساب Labguru، و استفاده از رابط آشنا همرا با نمایشگر و عملکردهایی شناخته شده از ویژگی‌های پیش‌بینی ساختار پروتئینی مبتنی بر هوش مصنوعی در Labguru به شمار می‌آید.



شکل ۶۸ نمایی از پیش‌بینی مستقیم ساختار سه‌بعدی پروتئین‌ها به کمک AlphaFold در Labguru.

Benchling

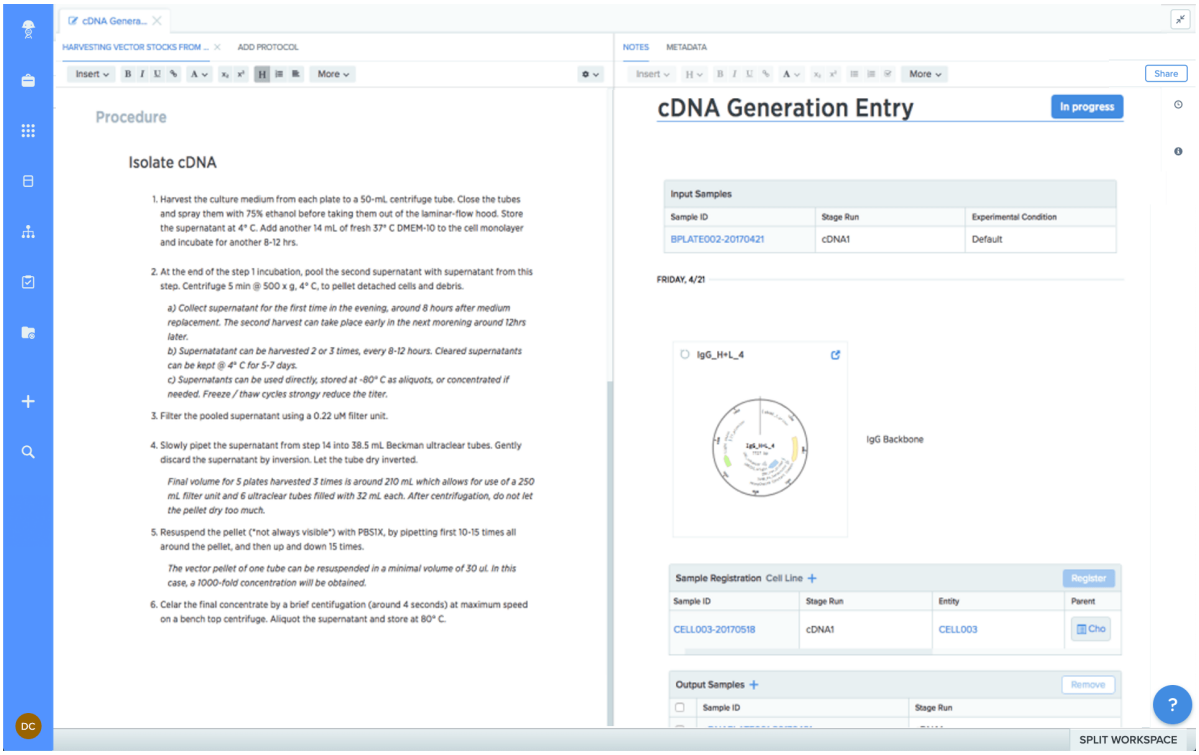
Benchling به نشانی benchling.com پلتفرم مبتنی بر سرور ابری برای تحقیق و توسعه در حوزه زیست‌فناوری و تنها بستر انحصاری زیست‌شناسی برای داده‌های علمی، همکاری و نوآوری است. این شرکت در سال ۲۰۱۲ در آمریکا توسط دو محقق فارغ‌التحصیل از دانشگاه استنفورد تاسیس شد. در حال حاضر بیش از ۲۰۰ هزار محقق در بیش از ۵۰ شرکت، استارت‌آپ و مؤسسه دانشگاهی مشهور از خدمات ارائه شده توسط Benchling بهره می‌برند. شکل ۶۹ نشان تجاری برخی از مشتریان تجاری بیشتر شناخته شده این شرکت را نشان می‌دهد. Benchling برای تقویت کار علمی، از فعالیت‌های روزمره آزمایشگاهی گرفته تا مدیریت برنامه‌ها طراحی و پیاده‌سازی شده است.

شکل ۶۹ نشان تجاری برخی از مشتریان تجاری Benchling.

قابلیت‌های Benchling برای تحقیق و توسعه در حوزه زیست‌فناوری امروزی طراحی و توسعه یافته‌اند. ارائه یک ELN کامل و کارآمد و همچنین پیاده‌سازی ابزارهای متعدد و متنوع در حوزه زیست‌شناسی مولکولی از مهم‌ترین قابلیت‌های Benchling و نقاط تمایز آن با سایر برنامه‌ها محسوب می‌شوند. مدیریت کامل نمونه‌ها و پیوند توالی‌ها و نقشه‌ها به آنها، یافتن مکان فیزیکی نمونه‌ها و دسترسی کامل به تاریخچه آنها، ثبت نام و چاپ لیبل در تمام مراحل آزمایشگاهی، کشیدن و رها کردن برای برنامه‌ریزی فرآیندها بدون نیاز به کدنویسی، تنظیم وابستگی‌های متقابل، اختصاص وظایف به طور خودکار پس از اتمام کار و حفظ نبض پیشرفت کار، استفاده از کوئری‌ها، داشبوردها و ادغام‌ها برای تجزیه و تحلیل تخصیص منابع، کارایی فرآیندها و آزمایش‌ها، بررسی سرعت برنامه‌ها و موارد دیگر از قابلیت‌های Benchling به شمار می‌آیند. در ادامه با ELN و ابزارهای زیست‌شناسی مولکولی Benchling بیشتر آشنا خواهیم شد.

Benchling ELN

به کمک ELN ارائه شده توسط Benchling کاربران می‌توانند داده‌های آزمایشی را با ورودی‌ها و الگوهای قابل تکرار ضبط و قالب‌بندی کنند، و بر روی نمونه‌ها، انجام آزمایشات و نتایج از طریق ایجاد جداول مشترک، تدوین لیست انجام کارها و ویرایش آنها به صورت در لحظه با یکدیگر همکاری کنند. شکل ۷۰ نمایی از یک دفترچه آزمایشگاهی ثبت شده در Benchling را نشان می‌دهد.



شکل ۷۰ نمایی از یک دفترچه آزمایشگاهی ثبت شده در Benchling.

شکل ۷۱ بخش‌های مختلف ارائه شده در ELN توسعه یافته توسط Benchling را نشان می‌دهد. اینELN مزایای کاربردی زیر را در اختیار محققان حوزه زیست‌شناسی و زیست‌فناوری قرار می‌دهد:

-ویرایش فایل‌های پیوست شده از داخل محیط رابط کاربری Benchling.

-ایجاد جداول مشابه با جداول اکسل در ورودی‌های دفترچه.

-تنظیم تقویم به صورت خودکار با ورودی‌های دفترچه.

-مدیریت وظایف از طریق تنظیم لیست کارها.

-ورود انواع فایل‌ها به کمک کشیدن و رها کردن.

-جمع‌آوری اطلاعات به صورت یکپارچه در بین برنامه‌ها.

-ثبت ورودی‌ها و مدیریت موجودی به صورت مستقیم از ورودی‌های دفترچه.

-ثبت نتایج ساختاریافته.

-به‌روزرسانی مستقیم نمونه‌ها با داده‌های نتایج از ورودی‌های دفترچه.

-پر کردن خودکار جداول در ورودی‌ها با داده‌های بدست آمده از ابزارها.

-استانداردسازی ورودی‌ها.

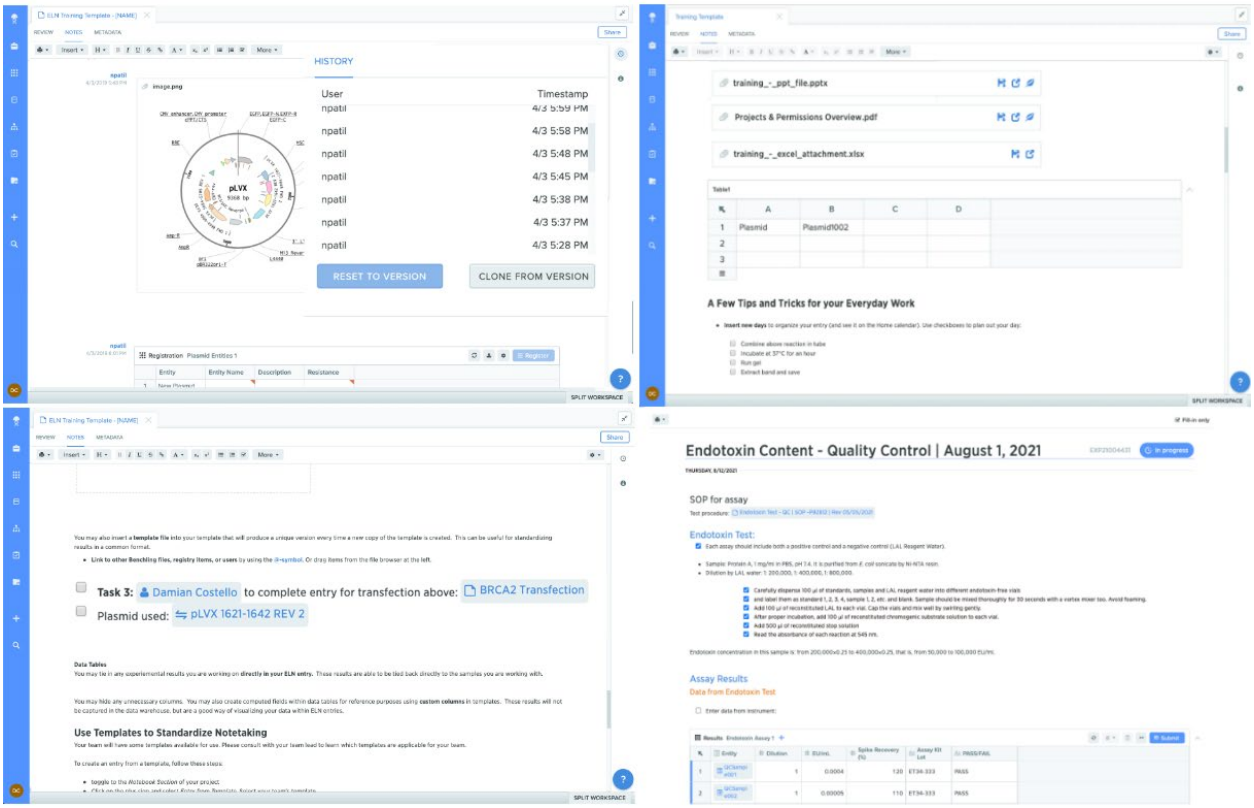
-ایجاد الگوهای انعطاف‌پذیر و قابل ویرایش.

-ایجاد ورودی‌ها با قابلیت قفل شدن برای تعریف و مستندسازی فرآیندهای کلیدی.

-ساده‌سازی روش‌های آزمایش.

-ساختاردهی فرآیندهای شاهد و بررسی سفارشی آنها با کمک امضای الکترونیکی.

-مطابقت با CFR ۲۱ بخش ۱۱.



شکل ۷۱ بخش‌های مختلف ارائه شده در ELN توسعه یافته توسط Benchling.

-ثبت گام به گام پیگیری فرآیندها.

-دسترسی خودکار به تاریخچه اسناد بدون نیاز به ذخیره دستی.

-پیوند به صورت دو طرفه به هر فایل دیگر در ورودی‌های Benchling.

-اطلاع‌رسانی دیگر کاربران با کمک افزودن نشانه @.

-اشتراک نوشته‌های دفترچه یادداشت با اعضای تیم.

-مشاهده نحوه فعالیت افراد بر روی ورودی‌ها به صورت در لحظه و بررسی تغییرات به اشتراک گذاشته شده.

-بارگذاری نتایج از طریق Benchling's API در قالب JSON و مشاهده آنها در ورودی‌های دفترچه.

-ذخیره‌سازی و مدیریت ایمن، قابل تنظیم و سازگار داده‌ها.

-ایجاد و بازیابی داده‌ها و نمونه‌ها به صورت در لحظه.

-یکپارچه‌سازی با سیستم LIMS برای اتصال نمونه‌ها و نتایج برای بهینه‌سازی گردش کار.

-گردش کار خودکار از طریق تعریف الگوها و SOP ها برای بهبود بهره‌وری.

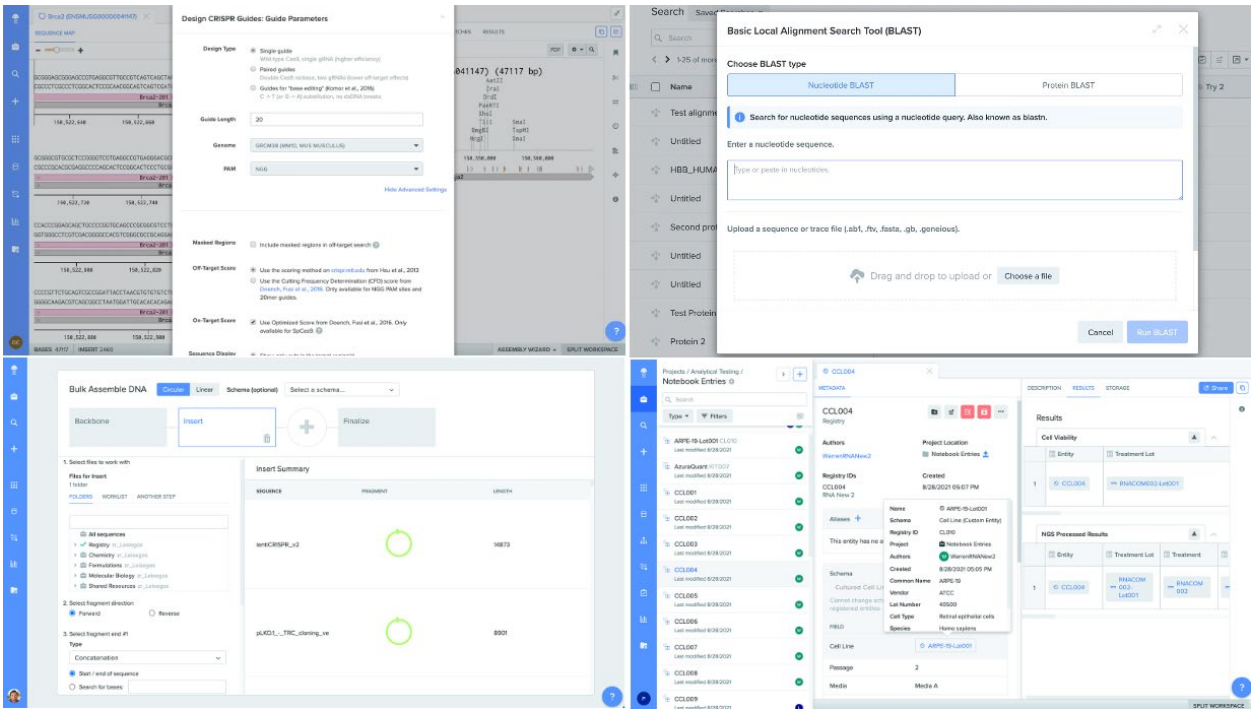
Benchling Molecular Biology

بخش زیست‌شناسی مولکولی در Benchling طراحی، تجسم، و تجزیه و تحلیل توالی‌های دنا، رنا، پروتئینی و الیگونوکلئوتیدهای اصلاح شده را تسهیل و تسریع می‌نماید. پیاده‌سازی ابزارهای شبیه‌سازی، همترازی و ترجمه، جست‌وجو به کمک BLAST و حاشیه‌نویسی خودکار از جمله مزایای بسیار کاربردی برای محققان زیست‌فناوری در بخش زیست‌شناسی مولکولی Benchling می‌باشند. شکل ۷۲ نمایی از نحوه نمایش توالی‌ها در بخش زیست‌شناسی مولکولی برنامه Benchling را نشان می‌دهد.

ایجاد نماهای متنی از توالی‌های زیستی یا سنتزی مورد بررسی، انتخاب نقشه‌های دقیق از توالی‌ها در فرمت‌های حلقوی یا خطی برای تجسم بهتر توالی‌ها، تعیین و مستندسازی حاشیه‌نویسی‌ها، ORF ها، آغازگرها و جایگاه‌های آنزیم‌های محدود کننده برای ایجاد یک نمای جامع از توالی‌های ورودی با جزئیات کاربردی، از جمله ویژگی‌های ارائه شده توسط بخش زیست‌شناسی مولکولی Benchling محسوب می‌شوند.

شکل ۷۲ نمایی از نحوه نمایش توالی‌ها در بخش زیست‌شناسی مولکولی برنامه Benchling.

وارد کردن توالی‌ها به صورت انبوه از پایگاه‌های داده عمومی به Benchling، انجام کلونینگ، مونتاژ گیبسون[۱] و مونتاژ گلدن‌گیت[۲]، همترازی[۳] توالی‌ها، طراحی درون رایانه‌ای مولکول‌های رنا و mRNA اصلاح شده شیمیایی، مشاهده ترجمه توالی دنا ساخته شده، ترجمه برگشتی پروتئین‌ها برای استنباط اصلاحات و بهینه‌سازی بهتر توالی طراحی شده، بهینه‌سازی آغازگرهای دنا و رنا، طراحی رنای راهنما[۴] برای مطالعات CRISPR[۵] از دیگر ویژگی‌های بخش زیست‌شناسی مولکولی Benchling به شمار می‌آیند.



شکل ۷۳ نمایی از بخش‌های مختلف برنامه زیست‌شناسی مولکولی Benchling.

یافتن و مشخص کردن توالی‌های مشابه با استفاده از BLASTn و BLASTp، پیش‌بینی و تجسم ساختارهای پروتئینی سه‌بعدی با استفاده از AlphaFold۲، حاشیه‌نویسی توالی‌ها با کمک کتابخانه‌های تعریف شده مشترک، محاسبه خودکار خواص بیوشیمیایی برای هر توالی، حاشیه‌نویسی توالی آمینواسیدی با اطلاعات اختصاصی آنتی‌بادی، از جمله چارچوب‌های خوانش باز و مناطق تعیین کننده مکمل، انجام همترازی‌های تکی و یا چندتایی با استفاده از مجموعه‌ای از الگوریتم‌های توسعه‌یافته از جمله بررسی‌هایی هستند

[۱] Gibson assembly
[۲] Golden Gate assembly
[۳] Alignment
[۴] Guide RNAs (gRNAs)
[۵] Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR)

که در بخش زیست‌شناسی مولکولی پیاده‌سازی شده در Benchling امکان‌پذیر شده‌اند. نمایی از بخش‌های مختلف برنامه زیست-شناسی مولکولی Benchling در شکل ۷۳ نشان داده شده است.

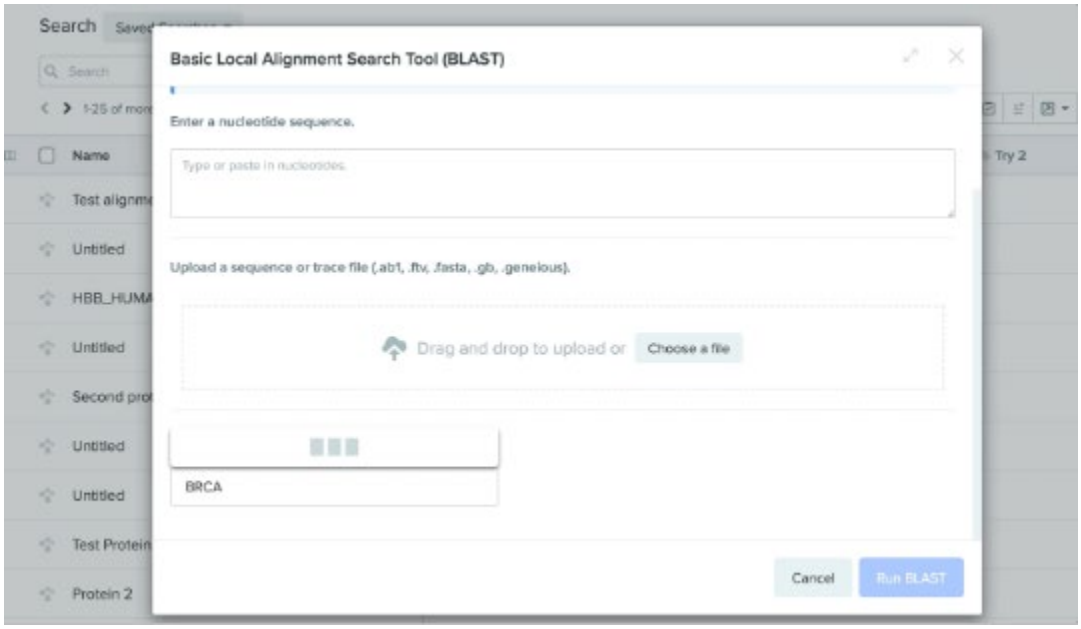
حصول اطمینان از منحصر به فرد بودن توالی در هنگام ثبت، شناسایی و پیوند خودکار قطعات ثبت شده رنا/دنا مانند نواحی پروموتری، متمرکزسازی داده‌های آزمایشگاهی و تحلیلی به طور خودکار در برابر توالی‌های ثبت شده از دیگر ویژگی‌های کاربردی بخش زیست‌شناسی مولکولی Bechling می‌باشند.

علاوه بر این، قابلیت‌های حفظ تاریخچه نسخه برای شناسایی یا بازیابی تغییرات در خروجی‌های توالی، تعریف کنترل‌های دسترسی و مجوزهای مبتنی بر نقش برای پاسخگویی واضح و بهبود همکاری بین تیم‌ها و انجام جست‌وجوهای پیشرفته برای یافتن توالی‌ها و نتایج مرتبط در پروژه‌ها و تیم‌ها نیز در این بخش پیاده‌سازی شده است.

در ادامه ویژگی‌های ارائه شده در بخش‌های مختلف زیست‌شناسی مولکولی Benchling معرفی می‌شوند.

-توالی‌ها:

-جست‌وجوی شباهت بین توالی‌ها از طریق BLAST (در حال حاضر الگوریتم‌های blastn، blastp، blastx، tblastn و tblastx در Benchling پشتیبانی می‌شوند. علاوه بر این، امکان BLAST توالی‌ها با پایگاه‌های داده خارجی وجود ندارد و توالی مورد بررسی تنها با توالی‌های ثبت شده‌ی موجود در Benchling مقایسه می‌شود (شکل ۷۴)).



شکل ۷۴ جست‌وجوی شباهت بین توالی‌ها از طریق BLAST در برنامه Benchling.

-وارد کردن توالی‌های دنا (شکل ۷۵).

-ویرایش توالی‌های دنا.

-مشاهده توالی دنا و تغییر ویژگی‌های نمایش داده شده.

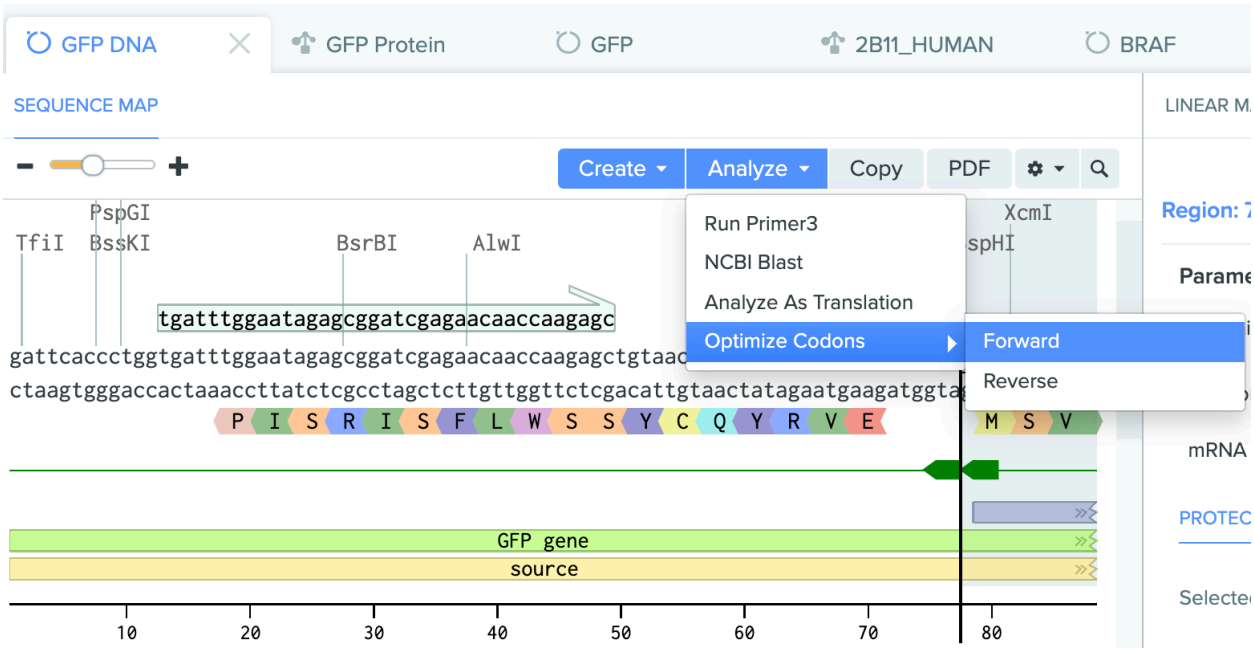
شکل ۷۵ نحوه نمایش توالی اسیدنوکلئیکی در برنامه Benchling.

-جست‌وجوی توالی برای یافتن ویژگی‌های مورد نظر کاربر.

-ایجاد و ثبت تعداد زیادی توالی‌های دنا و آمینواسیدی به صورت یک‌جا.

-به‌روزرسانی شاخص‌ها در توالی دنا.

-بهینه‌سازی کدون در توالی‌های دنا (شکل ۷۶).



شکل ۷۶ بهینه‌سازی کدون در توالی‌های دنا در برنامه Benchling.

-استفاده از قطعات برای طراحی توالی‌های مدولار.

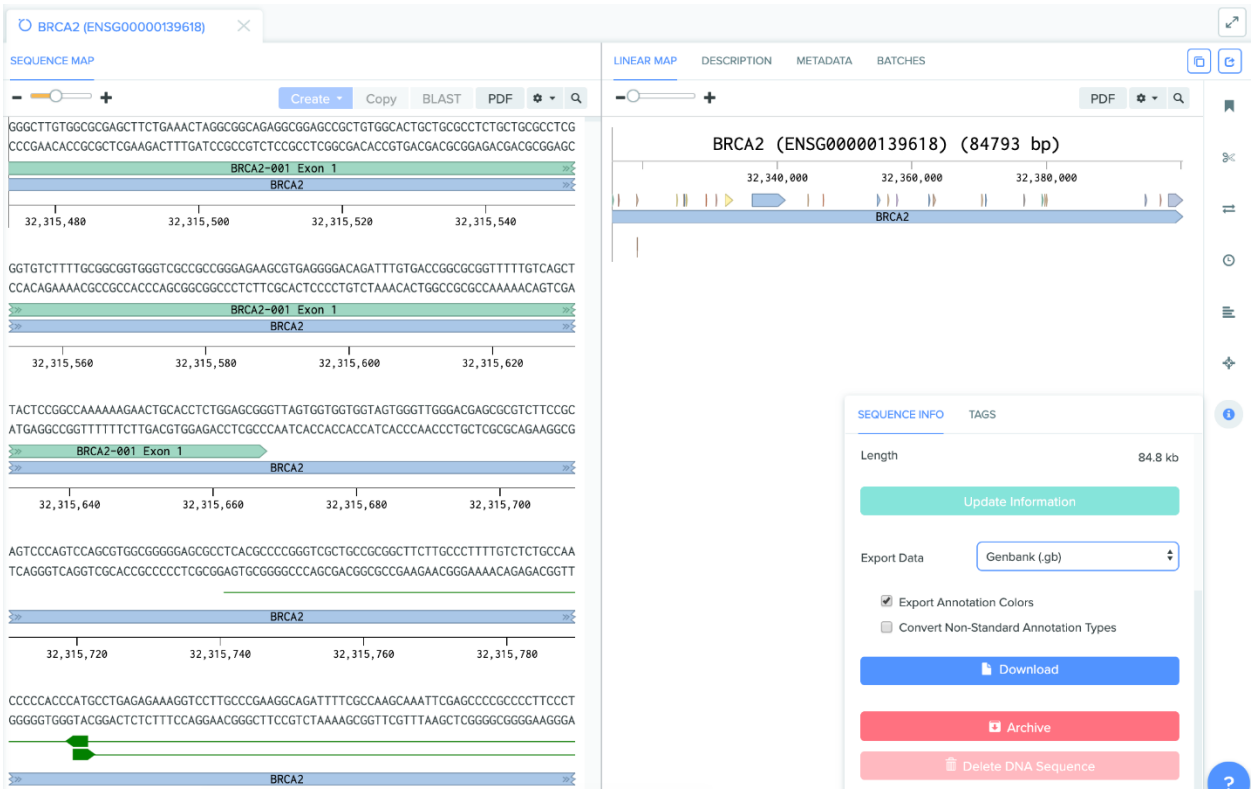
-دسترسی به نسخه قدیمی یک توالی و بازیابی آن.

-ایجاد ترجمه خودکار توالی‌ها.

-اشتراک فایل‌های توالی.

-قفل کردن یک فایل توالی.

-خروجی گرفتن از توالی‌های دنا به فرمت‌های gb.، fasta.، csv.، svg.، rdf.، zi. (شکل ۷۷).



شکل ۷۷ نحوه خروجی گرفتن از توالی‌های دنا در برنامه Benchling.

-حاشیه نویسی‌ها:

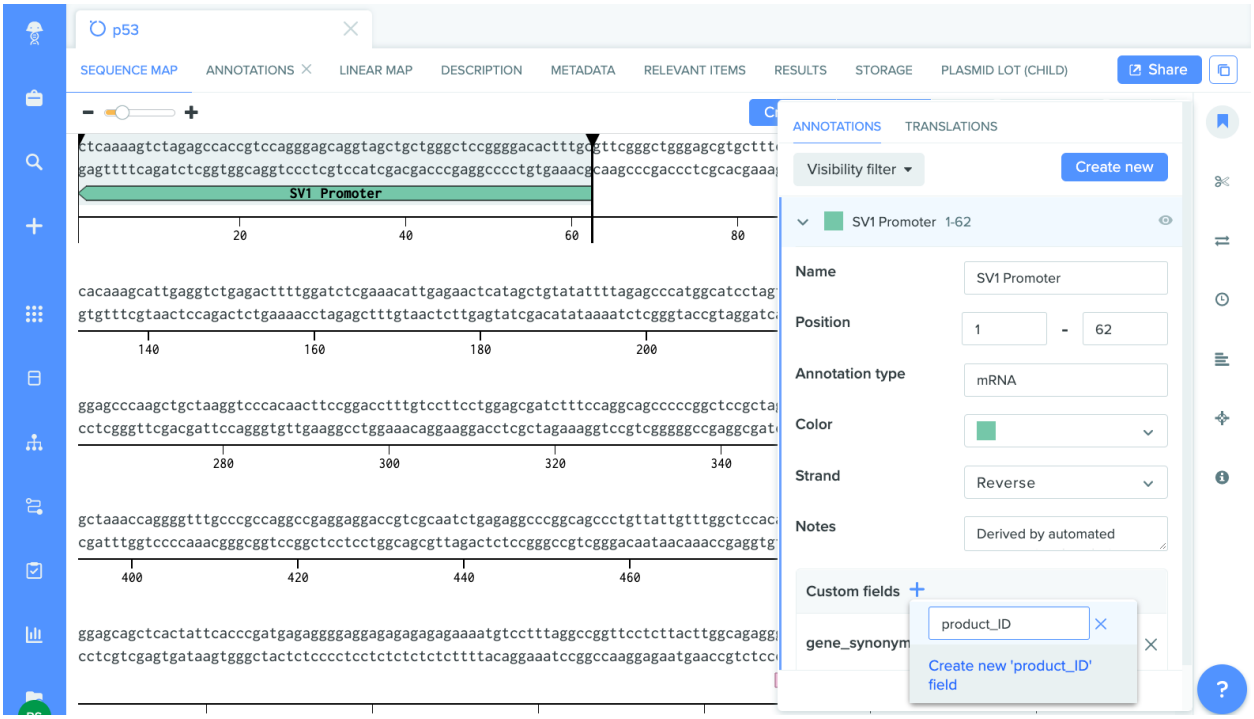
-ترجمه توالی دنا و رنا به آمینواسیدها با استفاده از کدهای ژنتیکی جایگزین.

-حاشیه‌نویسی اطلاعات اختصاصی آنتی‌بادی بر روی توالی‌های پروتئینی.

-ایجاد و ویرایش حاشیه‌نویسی توالی‌ها (شکل ۷۸).

-حاشیه‌نویسی خودکار توالی‌ها.

-ایجاد یک کتابخانه از ویژگی‌های توالی‌های مورد بررسی برای حاشیه‌نویسی خودکار.



شکل ۷۸ نمایی از نحوه حاشیه‌نویسی توالی‌ها در برنامه Benchling.

-آغازگرها:

-مشاهده و مدیریت آغازگرها (شکل ۷۹).

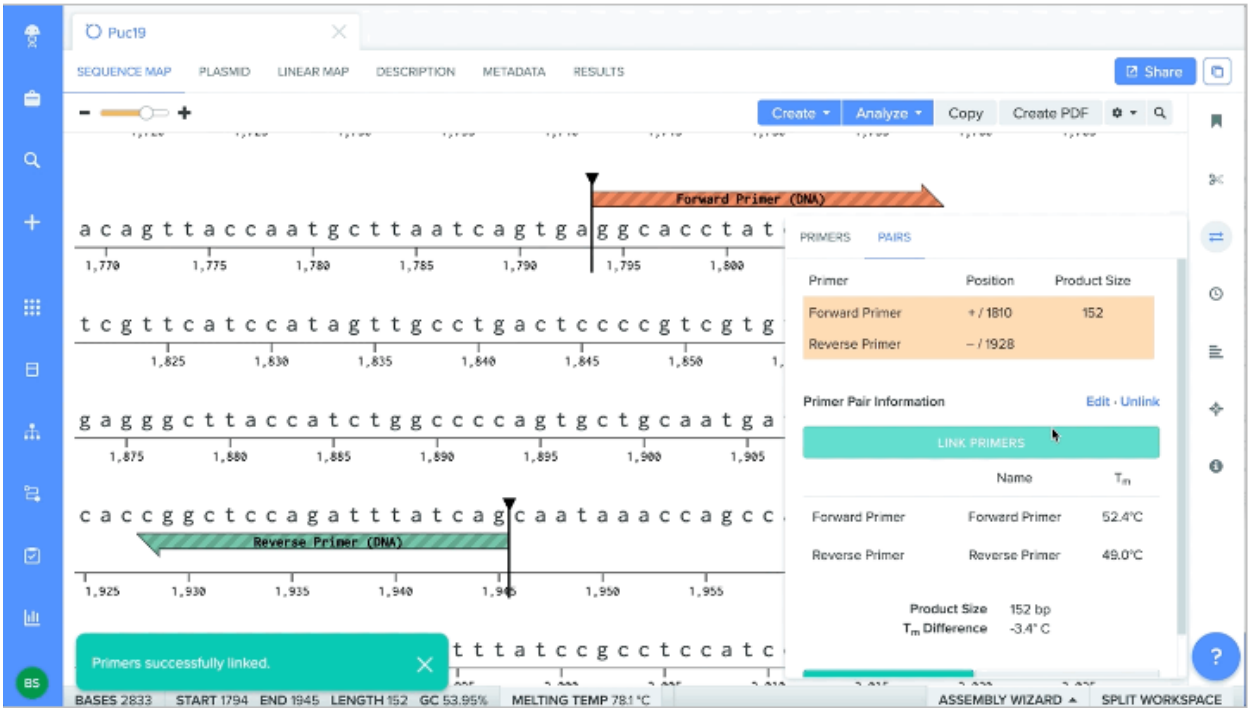
-وارد کردن آغازگرها و خروجی گرفتن از آنها.

-محاسبه دمای ذوب آغازگرها.

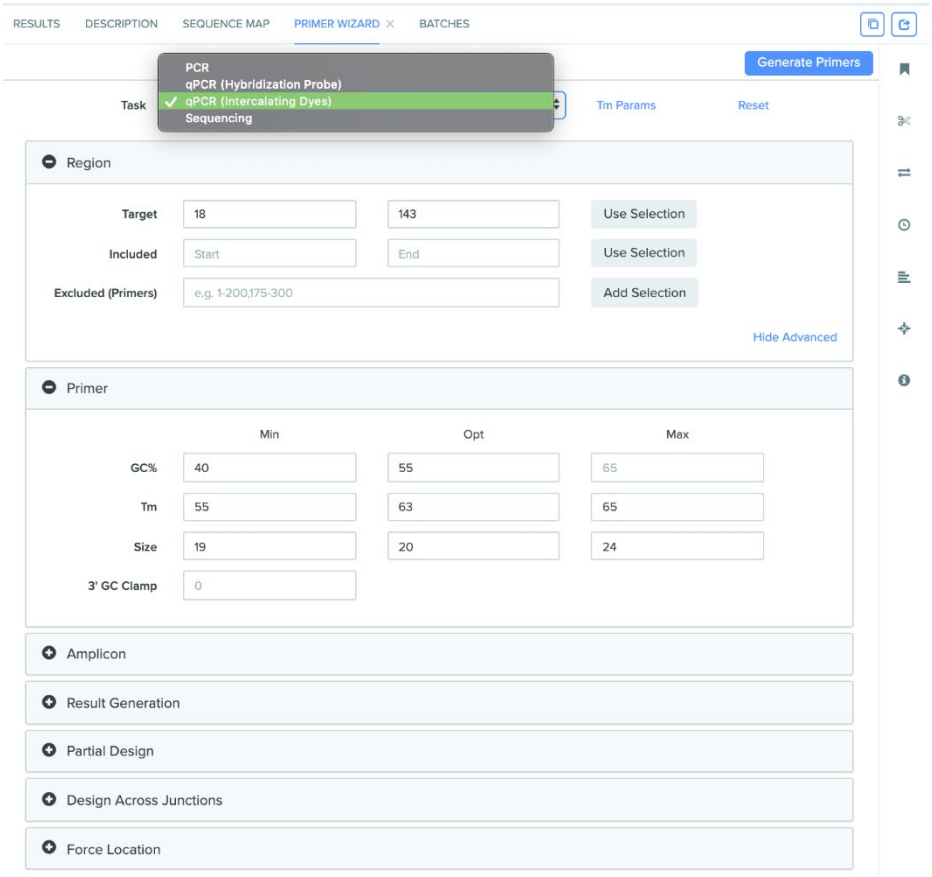
-طراحی دستی آغازگرها.

-طراحی آغازگرها به کمک Primer۳ (طراحی آغازگرهای PCR، qPCR و توالی‌یابی) (شکل ۸۰).

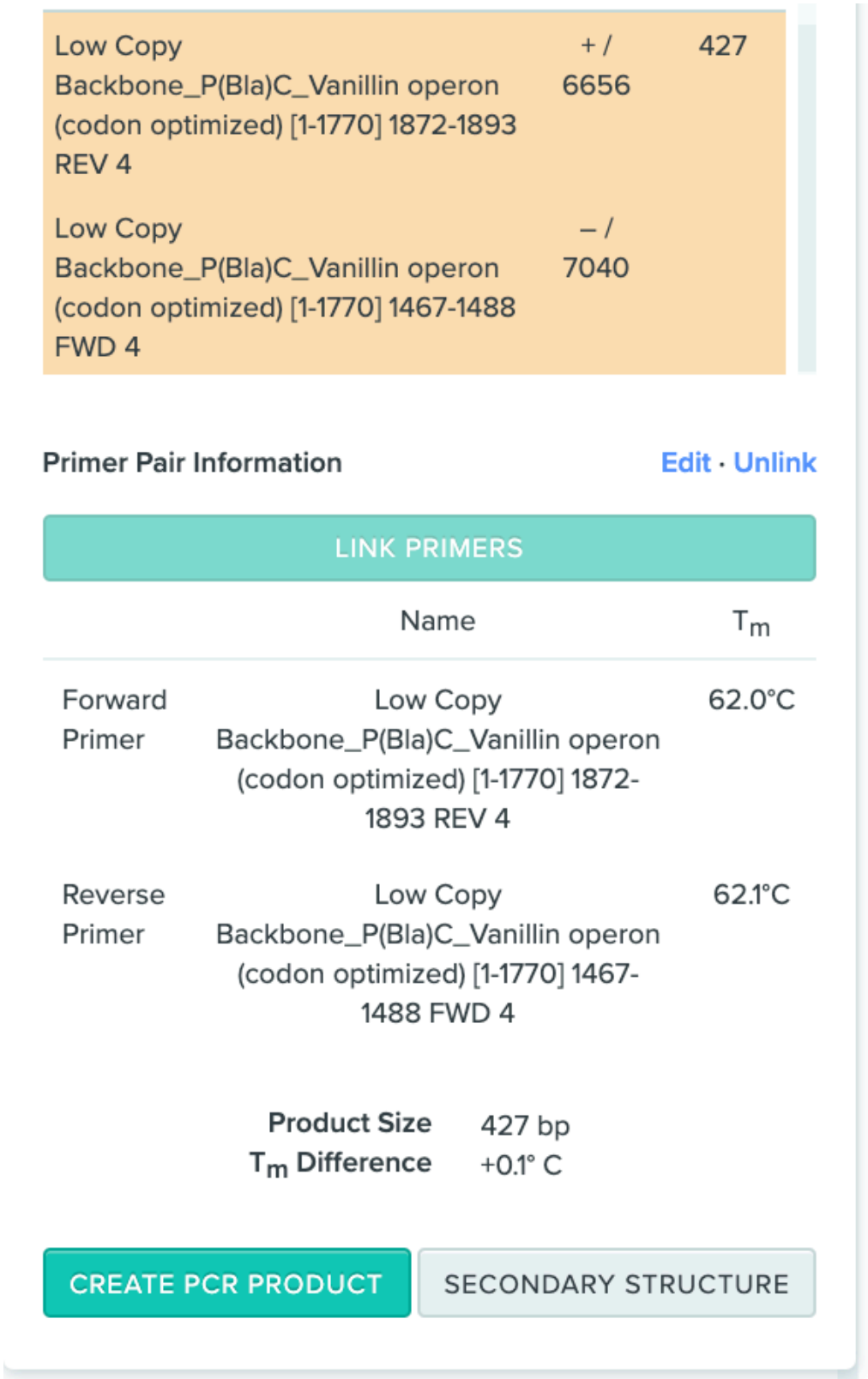
-اجرای درون رایانه‌ای PCR (شکل ۸۱).



شکل ۷۹ مشاهده و مدیریت آغازگرها در برنامه Benchling.



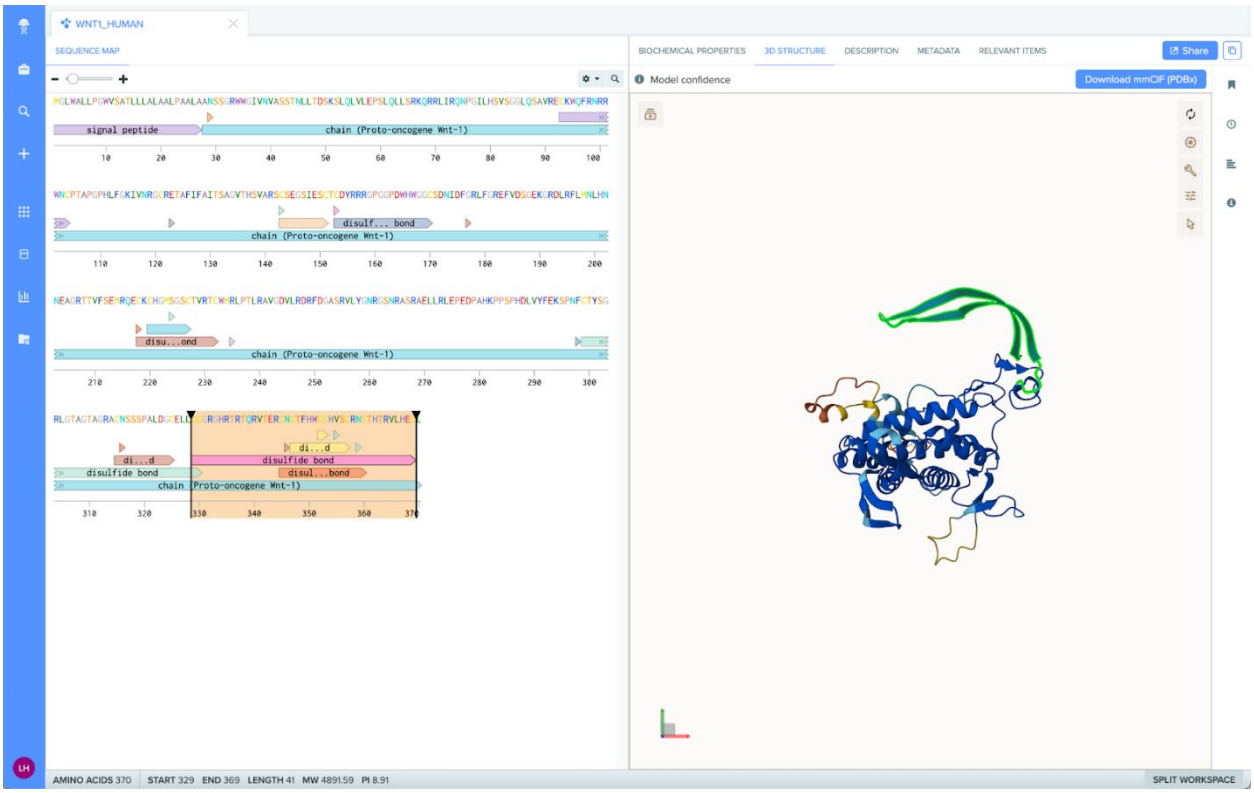
شکل ۸۰ طراحی آغازگرها به کمک بخش Primer Wizard در برنامه Benchling.



شکل ۸۱ اجرای درون رایانه‌ای PCR در برنامه Benchling.

-تجزیه و تحلیل پروتئین‌ها:

-پیش‌بینی ساختارهای سه‌بعدی پروتئینی به کمک AlphaFold۲ (این ویژگی به کاربران این امکان را می‌دهد تا ساختار یک توالی پروتئین معین را پیش‌بینی کنند و مستقیماً با آن ساختار سه بعدی تعامل داشته باشند. محققان می‌توانند از ویژگی AlphaFold در جریان کار علمی خود در برنامه زیست شناسی مولکولی Benchling در زمان تدوین و تنظیم یک دفترچه آزمایشگاهی استفاده کنند. در حال حاضر Benchling پیش‌بینی پروتئین‌ها تا ۱۵۰۰ رزیدیو را پشتیبانی می‌کند (شکل ۸۲)).



شکل ۸۲ پیش‌بینی ساختارهای پروتئینی با AlphaFold در برنامه Benchling.

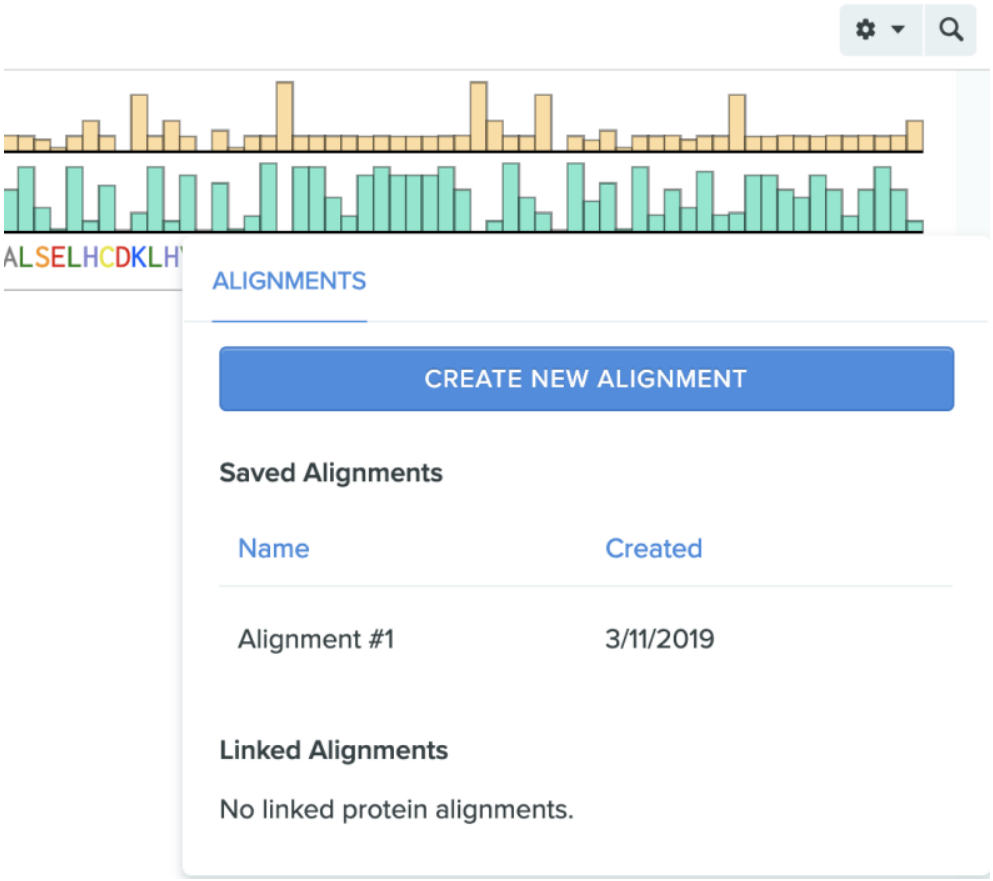
-ورود توالی آمینواسیدی.

-تجزیه و تحلیل ویژگی‌های توالی پروتئینی.

-ایجاد ترجمه و تجزیه و تحلیل آن.

-خروجی گرفتن از پروتئین‌ها به فرمت‌های FASTA و GenPept.

-همترازی توالی‌های پروتئینی (شکل ۸۳).



شکل ۸۳ همترازی توالی‌های پروتئینی در Benchling.

-همترازی توالی‌ها:

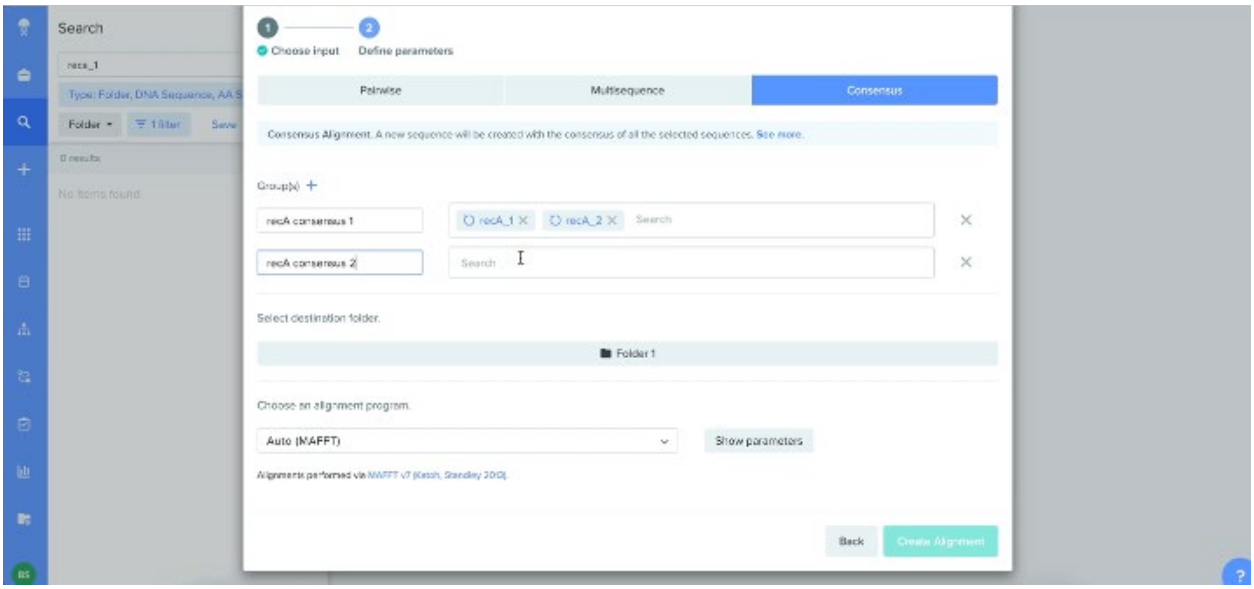
-همترازی توالی‌های دنا (شکل ۸۴).

-همترازی پلاسمیدها.

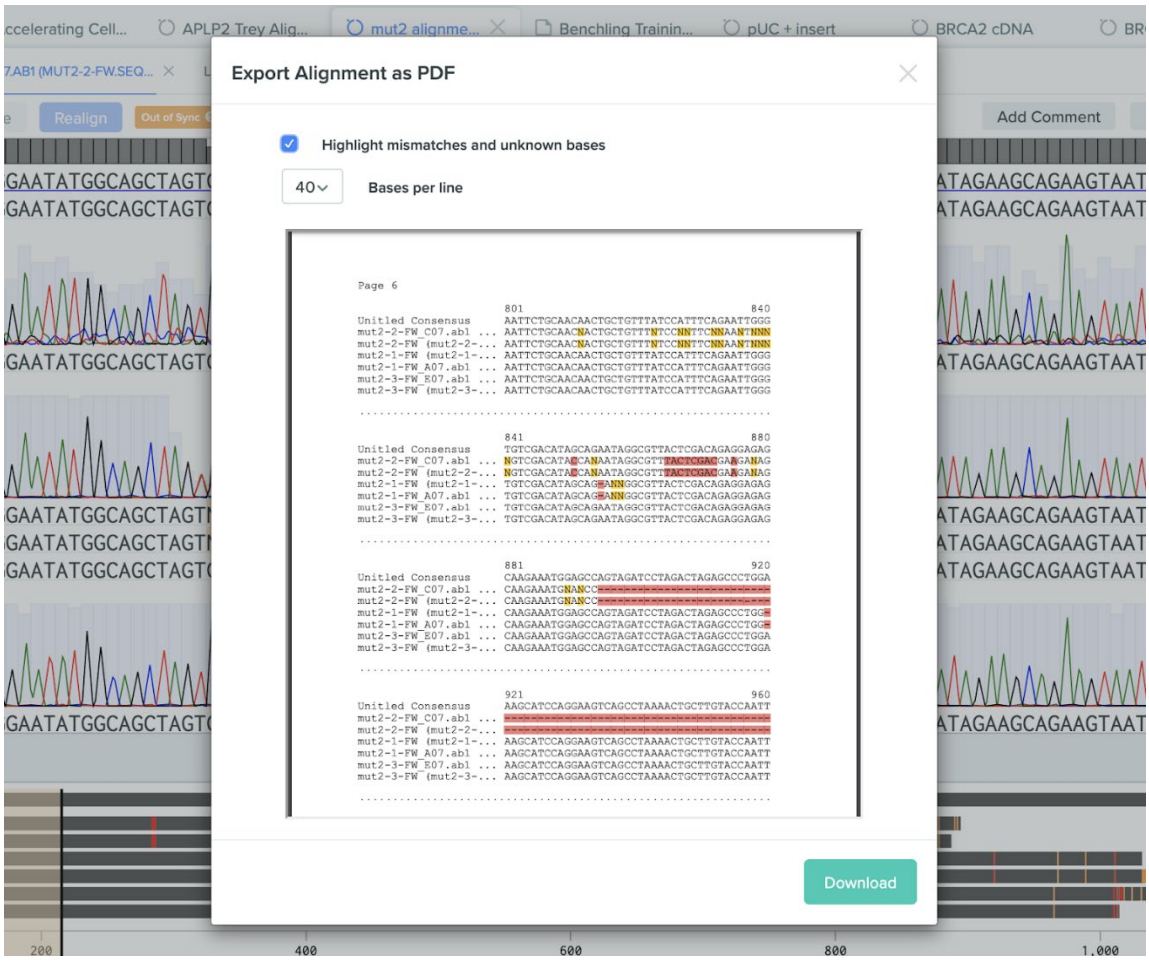
-ایجاد مکمل‌های معکوس برای فایل‌های ab۱.

-مشاهده و مدیریت همترازی‌ها.

-خروجی گرفتن از نتایج همترازی توالی‌ها (شکل ۸۵).



شکل ۸۴ نحوه همترازی توالی‌ها در برنامه Benchling.



شکل ۸۵ نحوه خروجی گرفتن از نتایج همترازی توالی‌ها در برنامه Benchling.

-الیگونوکلئوتیدهای اصلاح شده:

-افزودن و یا حذف الیگونوکلئوتیدهای اصلاح شده در یک توالی (شکل ۸۶).

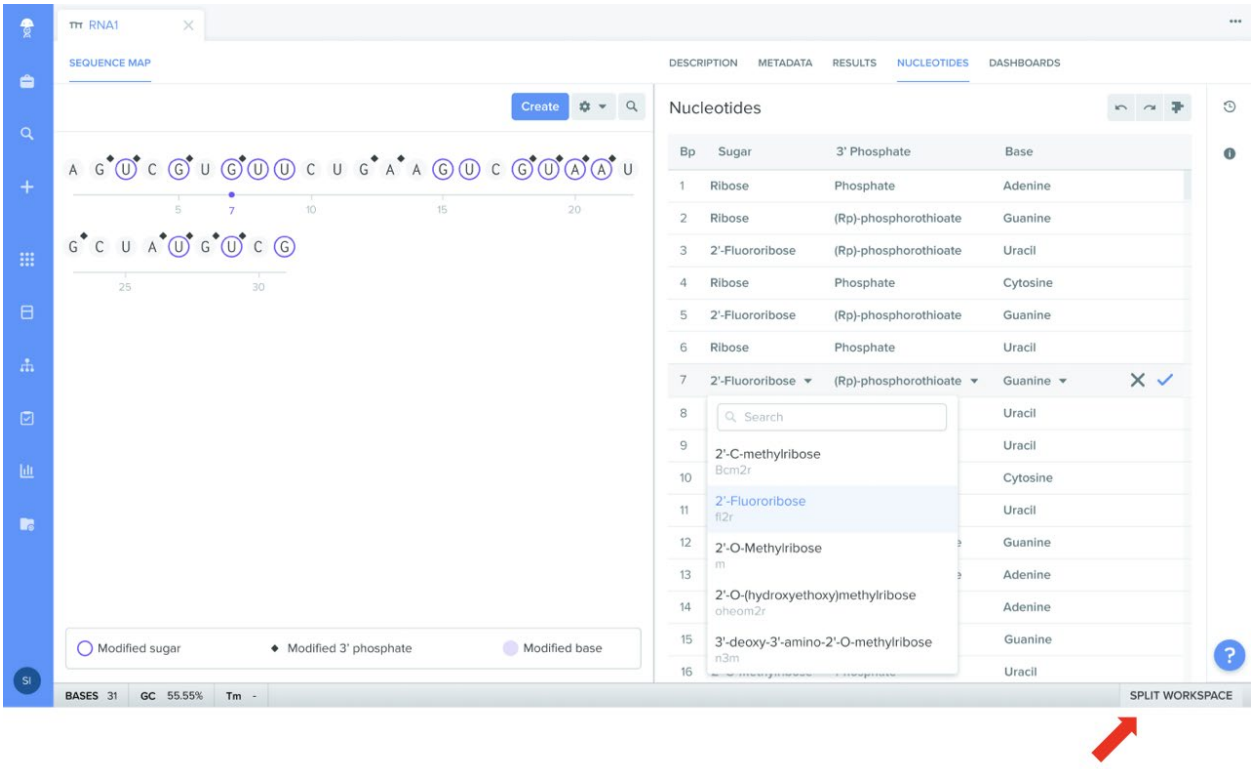
-تنظیم کتابخانه مونومرها.

-HELM، IDT، و نشانه‌گذاری سفارشی در الیگونوکلئوتیدهای اصلاح شده.

-جست‌وجو و فیلتر الیگونوکلئوتیدهای اصلاح شده.

-پیمایش و تجسم توالی الیگونوکلئوتیدهای اصلاح شده.

-خروجی گرفتن از الیگونوکلئوتیدهای اصلاح شده.



شکل ۸۶ نحوه مدیریت و نمایش الیگونوکلئوتیدهای اصلاح شده در برنامه Benchling.

-کلونینگ و مونتاژ:

-اجرای مجموعه‌های همسانی با ابزار مونتاژ ترکیبی.

-اجرای مجموعه‌های گلدن گیت با ابزار مونتاژ ترکیبی.

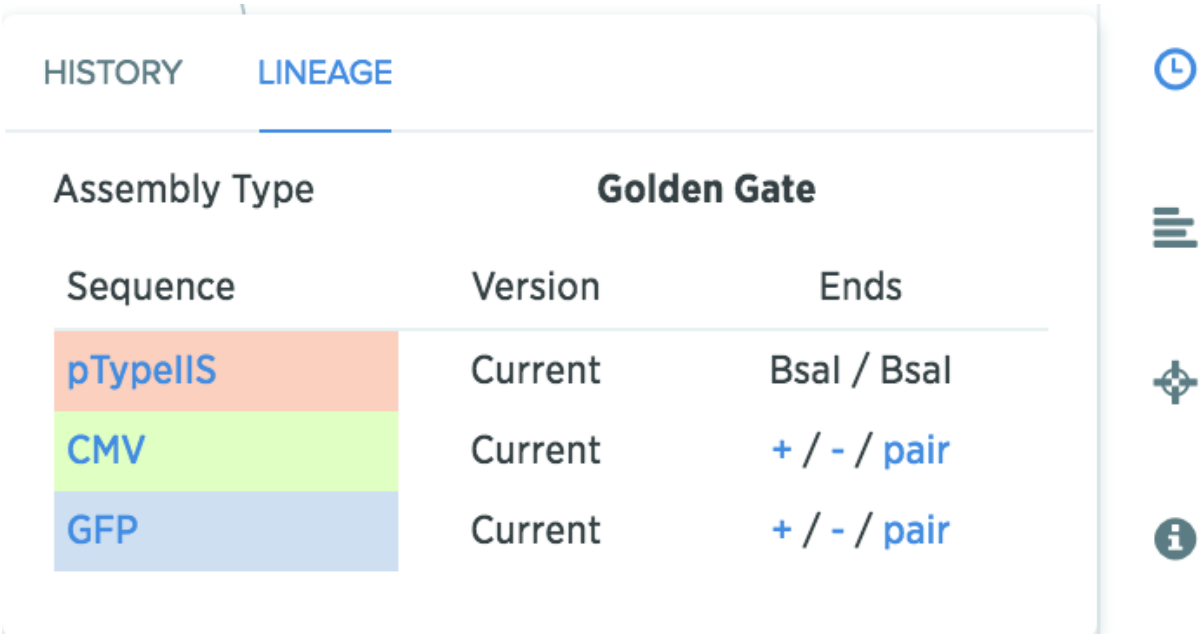
-اجرای مجموعه‌های گیبسون با ابزار مونتاژ ترکیبی.

-پیمایش تاریخچه مونتاژ به صورت بصری.

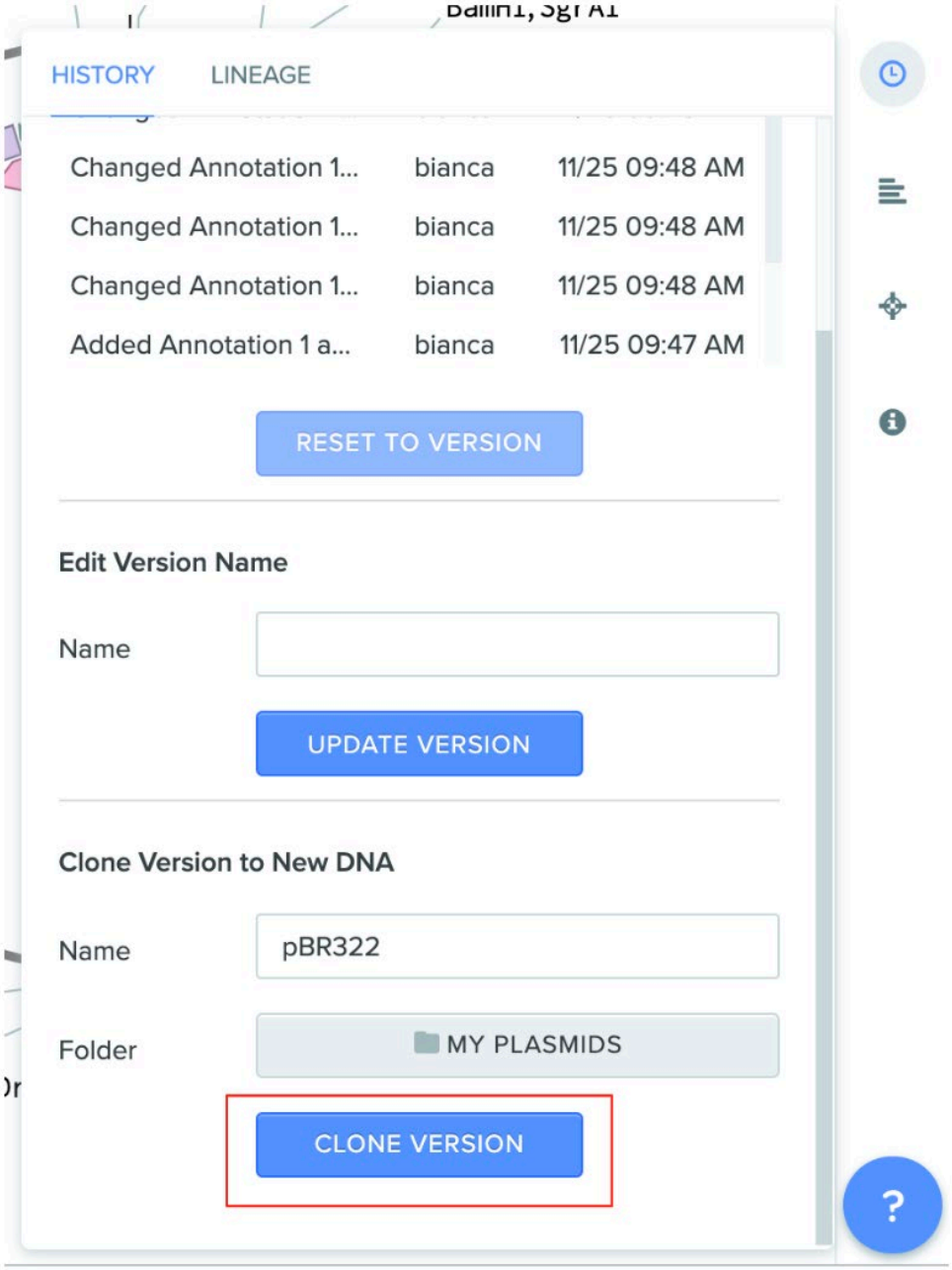
-کلونینگ با کمک مونتاژ گیبسون.

-کلونینگ با کمک مونتاژ گلدن‌گیت (شکل ۸۷)

-کلونینگ با کمک کپی و چسباندن (شکل ۸۸)



شکل ۸۷ کلونینگ با کمک مونتاژ گلدن‌گیت در برنامه Benchling.

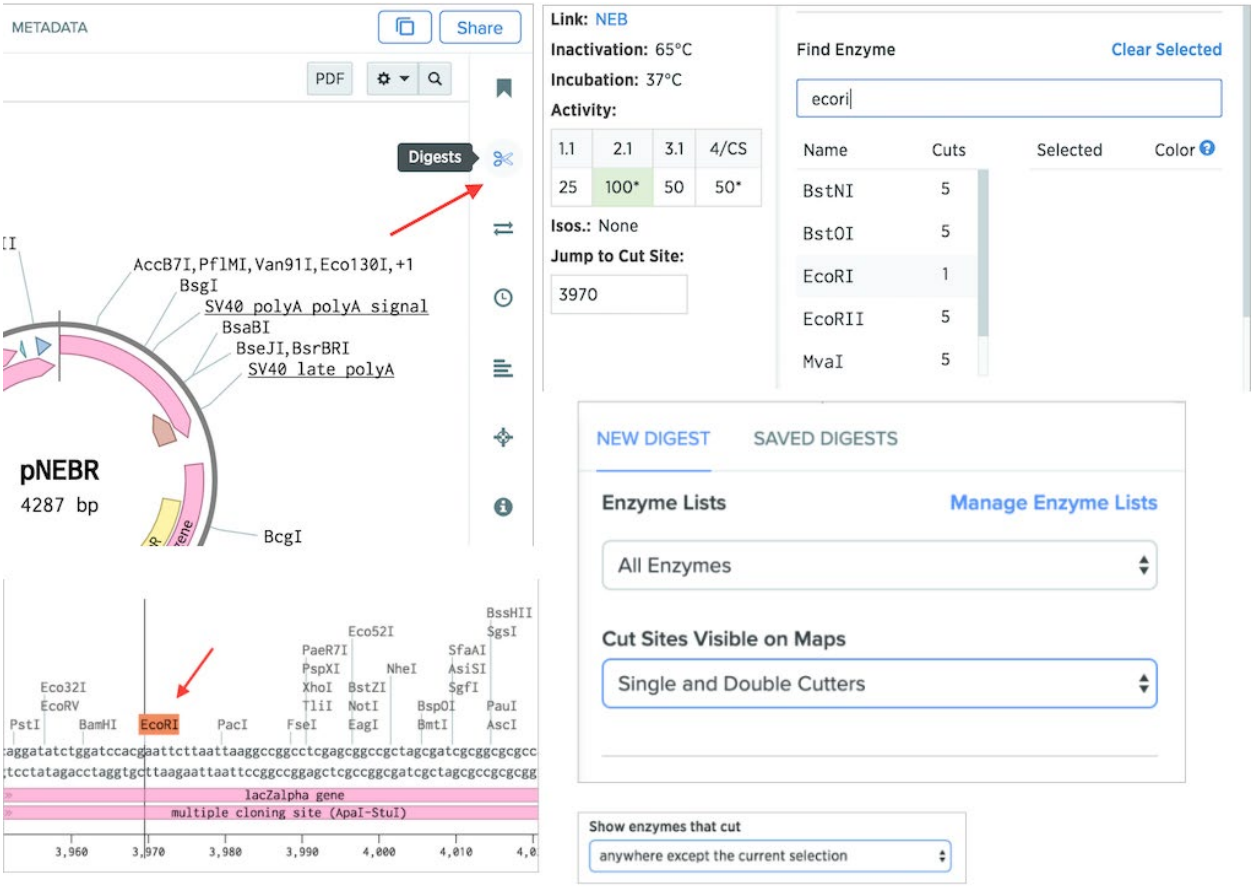


شکل ۸۸ کلونینگ با کمک کپی و چسباندن در برنامه Benchling.

-آنزیم‌های محدودکننده و هضم آنزیمی:

-ایجاد لیستی از آنزیم‌های محدود کننده.

-یافتن مکان‌های برش آنزیم محدود کننده (شکل ۸۹).



شکل ۸۹ یافتن مکان‌های برش آنزیم محدود کننده در توالی‌ها در برنامه Benchling.

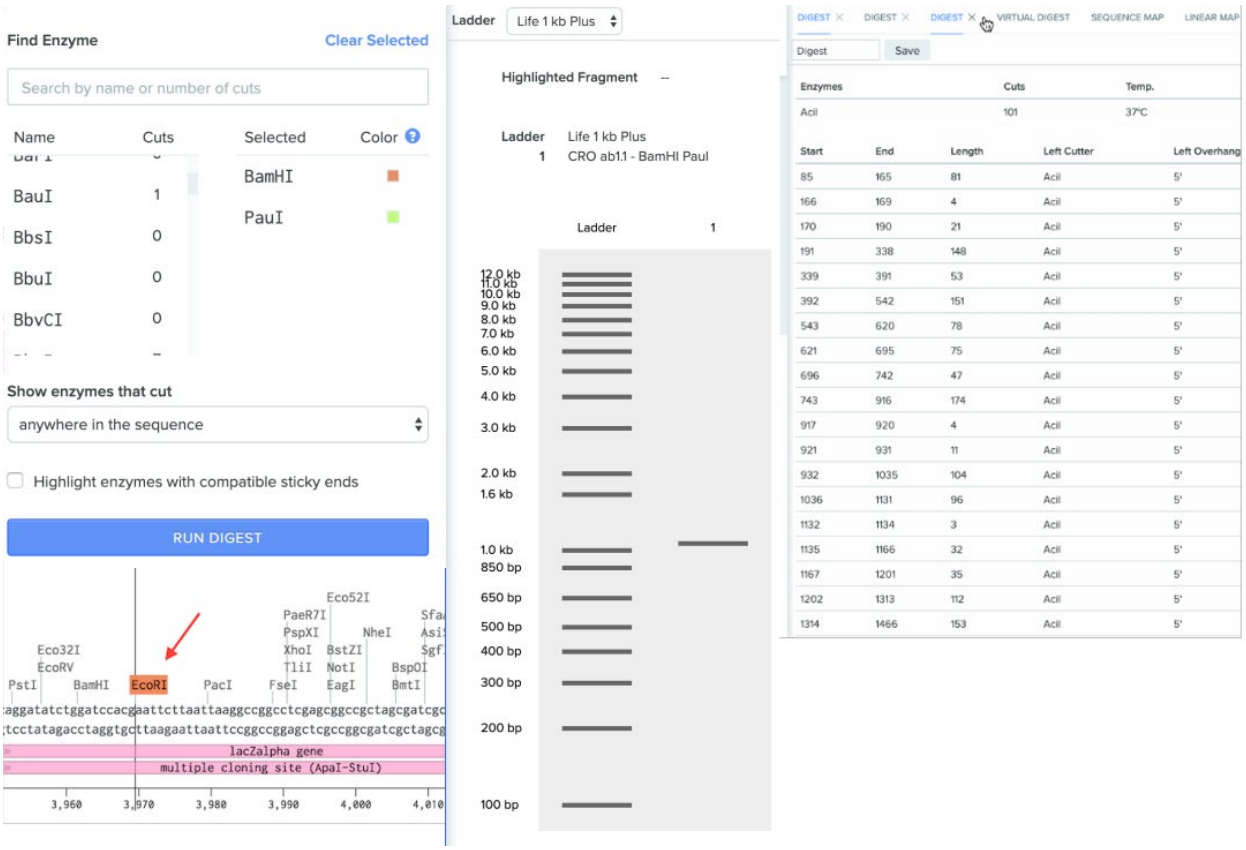
-جست‌وجو آنزیم‌های محدود کننده با برش‌های تک، دوتایی یا بدون برش.

-شبیه‌سازی هضم آنزیمی (شکل ۹۰).

-شناسایی آنزیم‌های محدود کننده‌ای که نواحی خارج از توالی انتخابی را برش می‌زنند.

-ایجاد لدرهای[۱] سفارشی در زمان بررسی مجازی هضم آنزیمی.

[۱] Ladders



شکل ۹۰ شبیه‌سازی هضم آنزیمی در برنامه Benchling.

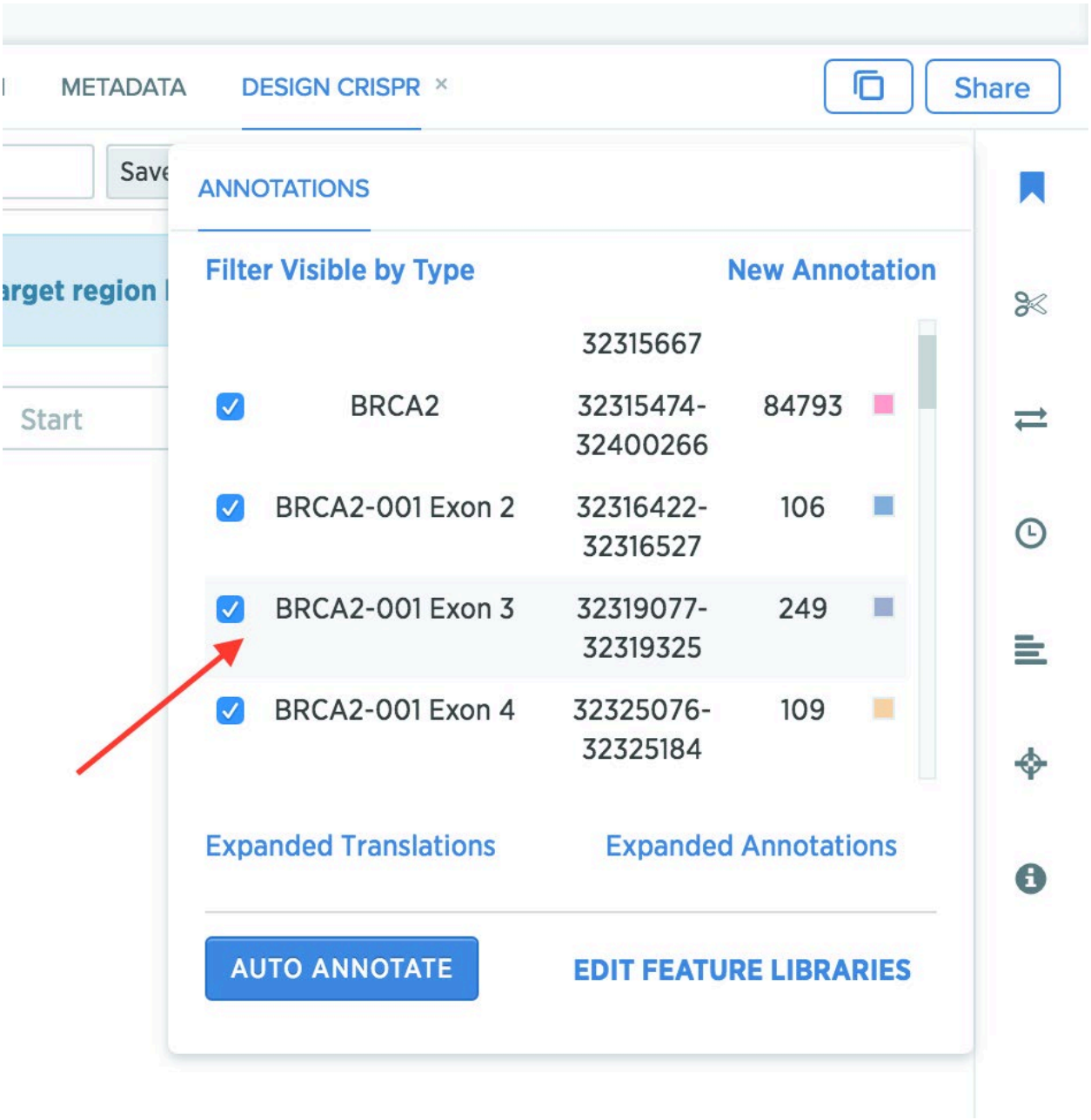
-مطالعات CRISPR:

-طراحی رنا راهنما برای مطالعات CRISPR (شکل ۹۱).

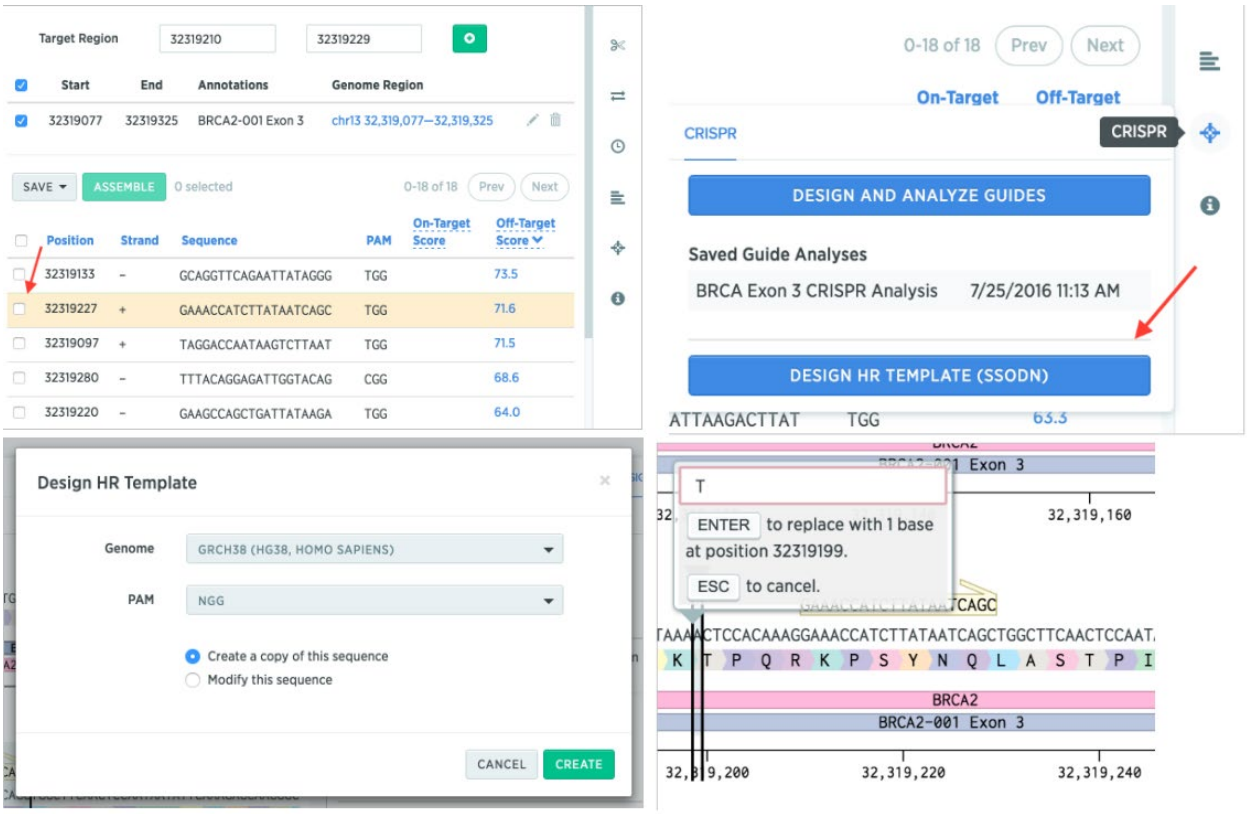
-جمع‌آوری رنای راهنما در پلاسمیدها.

-طراحی الگوهای نوترکیبی همولوگ[۱] (شکل ۹۲).

[۱] Homologous recombination (HR)



شکل ۹۱ طراحی رنا راهنما برای مطالعات CRISPR در برنامه Benchling.



شکل ۹۲ طراحی الگوهای نوترکیبی همولوگ در برنامه Benchling.