مقاله مروری، صفحات ۱۷۹-۱۵۵

هرباریوم؛ حافظه‌ای سبز از تنوع زیستی زمین

فرخ قهرمانی نژاد[1*]، حمید نظری[2]، مریم خواجه پیری[3] و احسان حسینی[1]

[1] **ایران، تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم زیستی، گروه علوم گیاهی**

[2] **ایران، همدان، دانشگاه بوعلی سینا، گروه زیست شناسی**

[3] **ایران، اصفهان، دانشگاه اصفهان، گروه زیست شناسی گیاهی و جانوری**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱

چکیده

هرباریوم‌ها مجموعه‌هایی از نمونه‌های گیاهی خشک‌شده و مستندسازی‌شده هستند که نقش بنیادینی در علم گیاه‌شناسی، حفاظت از تنوع زیستی، آموزش و مطالعات زیست‌محیطی دارند. این نهادها از دوره رنسانس تاکنون توسعه یافته‌اند و اکنون به عنوان مراکز داده‌محور و پژوهش‌محور در سراسر جهان شناخته می‌شوند. مقاله حاضر به بررسی تاریخچه، معناشناسی، انواع هرباریوم، شیوه‌های جمع‌آوری، نگهداری، دیجیتال‌سازی، کاربردهای آموزشی، پژوهشی و قانونی هرباریوم می‌پردازد. همچنین در این مقاله به نقش فناوری‌های نوین مانند توالی‌یابی DNA، یادگیری ماشینی و تصویربرداری سه‌بعدی در گسترش قابلیت‌های هرباریوم‌ها پرداخته شده است. این مطالعه تأکید می‌کند که هرباریوم‌ها صرفاً مخازنی از نمونه‌های گیاهی نیستند، بلکه ابزارهایی پویا برای مواجهه با چالش‌های قرن بیست‌ویکم مانند تغییرات اقلیمی، کاهش تنوع زیستی و مدیریت پایدار منابع گیاهی به شمار می‌روند.

واژگان کلیدی: هرباریوم، تنوع زیستی، گیاه‌شناسی، دیجیتال‌سازی، توالی‌یابی DNA، تغییرات اقلیمی

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: fgh@khu.ac.ir

مقدمه

هرباریوم با معادل فارسی گیاکده، شامل مجموعه‌ای از نمونه‌های گیاهی است که طی چند قرن اخیر نقشی تاثیرگذار در علم گیاه‌شناسی ایفا کرده است. این اصطلاح که از کلمه‌ای لاتین به معنای مجموعه‌ای از گیاهان خشک گرفته شده است، نه تنها نشان‌دهنده مکان یا مخزنی برای نمونه‌های گیاهی است، بلکه سنگ بنای تحقیقات گیاه‌شناسی، رده‌بندی و مطالعات تنوع زیستی به شمار می‌رود. امروزه هرباریوم‌ها به عنوان مراکزی عمل می‌کنند که تنوع گیاهان را از گذشته تا حال مستند می‌سازند و پنجره‌ای به تاریخ اکتشاف گیاهان و تغییرات بوم‌شناختی باز می‌کنند. در تهیه این متن از منابع گوناگونی استفاده شده است ولی بخش عمده‌ای از این نوشته برگرفته از "کتاب راهنمای هرباریوم" [۱] است.

پیشینه تاریخی: مفهوم محلی برای حفظ گیاهان به دوره رنسانس برمی‌گردد، زمانی که اولین مجموعه‌های گیاهی به منظور مطالعه گیاهان دارویی ظهور کردند. یکی از اولین مجموعه‌های گیاهان دارویی ثبت‌شده توسط لوکا گینی (Luca Ghini) در قرن شانزدهم ایجاد شد. گینی پزشک و گیاه‌شناسی ایتالیایی بود که برای حفظ ویژگی‌های گیاهان، آنها را پرس و خشک می‌کرد. شاگردان او نیز چنین روشی را ادامه دادند و فعالیت آنها به تدریج سبب گسترش مجموعه‌های گیاهی در سراسر اروپا شد. در قرن‌های ۱۷ و ۱۸، جمع‌آوری‌کنندگان گیاهان، کاشفان و طبیعت‌شناسان نمونه‌هایی را از مناطق دوردست به اروپا آوردند و هرباریوم‌ها را مملو از گیاهانی کردند که قبلاً هرگز در اروپا یافت نشده بودند. این مجموعه‌ها اساس باغ‌ها و مؤسسات گیاه‌شناسی را تشکیل دادند که بسیاری از آنها امروزه در شمار مهم‌ترین مخازن علمی گیاه-شناسی محسوب می‌شوند. در قرن نوزدهم، هرباریوم به ابزاری ضروری برای گیاه‌شناسان تبدیل شد. لینه با استفاده از این مجموعه‌ها برای توسعه سیستم نام‌گذاری دونامی، رده‌بندی گیاهان را اساسا متحول کرد [۲].

[1]The Herbarium Handbook

اطلاعات دقیقی در منابع معتبر درباره تاریخچه دقیق هرباریوم‌ها در ایران به ویژه پیش از دوره قاجاریه موجود نیست. با این حال، مستندات تاریخی نشان می‌دهد که دانشمندانی مانند ابوعلی سینا (۹۸۰ تا ۱۰۳۷ میلادی) و زکریای رازی (۸۶۵ تا ۹۲۵ میلادی) نقش مهمی در توسعه علم گیاه‌شناسی و داروشناسی داشته‌اند. آثار این دانشمندان مانند کتاب "قانون در طب" ابوعلی سینا و "الحاوی" زکریای رازی شواهدی از شناخت گسترده گیاهان دارویی و طبقه‌بندی آنها ارائه می‌دهد. این آثار نشان‌دهنده تلاش‌های اولیه برای ثبت و مستندسازی دانش گیاهی است که به نوعی می‌توان آن را پیش‌زمینه‌ای برای ایجاد هرباریوم‌های مدرن دانست. پیش از شکل‌گیری هرباریوم‌های مدرن، حکمای قدیم ایران مانند ابوریحان بیرونی و ابوعلی سینا برای شناسایی و طبقه‌بندی گیاهان، نمونه‌های خشک را در جعبه‌ها و کیسه‌هایی نگهداری می‌کردند. شاهد این مدعی آن است که بر اساس نظر محققانی مانند زین الدین دداش [۳] و ساموئل پارسونز اسکات [۴]، تصاویر موجود در کتاب های گیاه‌شناسی اسلامی تدوین شده توسط دانشمندانی مانند رشید الدین ابن السوری، نه بر اساس نمونه‌های روییده در طبیعت، که از روی نمونه‌های تحقیقاتی خشک شده کشیده شده‌اند. اما این نمونه‌ها به شیوه مدرن (پرس‌شده روی ورقه‌های مقوایی با برچسب اطلاعاتی) نبوده‌اند. با ظهور دارالفنون در دوره قاجاریه و آشنایی بیشتر ایرانیان با علوم طبیعی، نخستین تلاش‌های سازمان‌یافته برای جمع‌آوری و نگهداری نمونه‌های گیاهی شکل گرفت.

اهمیت هرباریوم در پیشبرد علم: هر نمونه در هرباریوم ثبت و مستندسازی یک گیاه در مکان و زمان مشخصی است که اطلاعات ارزشمندی درباره پراکنش گونه‌ها، بوم‌شناسی و تکامل ارائه می‌دهد. افزون بر این، برخی از این نمونه‌ها به عنوان نمونه شاهد (voucher specimen) برای مطالعات علمی نظیر تحقیقات مولکولی، آناتومی یا کاریوتایپی نگهداری می‌شوند تا امکان بررسی و تأیید مجدد شناسایی گونه توسط سایر پژوهشگران فراهم باشد. وجود نمونه‌های شاهد تضمین می‌کند که رده‌بندی بر اساس شواهد قابل تأیید و بررسی است و دقت و ثبت رده‌بندی گیاهان را ارتقاء می‌بخشد. اگر حتی تردیدی در شناسایی آرایه وجود داشته باشد، نمونه شاهد می‌تواند برای کنترل صحت شناسایی اولیه مورد مطالعه مجدد قرار گیرد. هرباریوم نقشی حیاتی در زیست‌شناسی حفاظتی دارد. از آنجایی که تنوع زیستی با تهدیدات فزاینده‌ای شامل تخریب زیستگاه، تغییرات اقلیمی و گونه‌های مهاجم مواجه است، مجموعه‌های هرباریومی برای مستندسازی عرصه‌های پراکندگی گذشته گیاهان ارزشمند هستند. این امر به محققان کمک می‌کند تا گونه‌هایی را که ممکن است در معرض خطر انقراض باشند شناسایی کرده و تغییرات جمعیت‌های گیاهی را در طول زمان بررسی کنند. علاوه بر این، هرباریوم‌ها برای شناسایی گونه‌های جدید بر پایه مقایسه با گونه‌های موجود حائز اهمیت هستند. در قرن بیست و یکم، هرباریوم دامنه خود را فراتر از مجموعه‌های فیزیکی گسترش داده است. با پیشرفت فناوری، بسیاری از هرباریوم‌ها نمونه‌های خود را دیجیتالی می‌کنند و تصاویر با وضوح بالا و داده‌های مرتبط را به صورت برخط در اینترنت در دسترس همگان قرار می‌دهند. این هرباریوم‌های دیجیتال سطح دسترسی را کاملا متحول کرده‌اند و به دانشمندان، دانشجویان و محققان در سراسر جهان این امکان را می‌دهند تا بدون نیاز به بازدید حضوری از هرباریوم، نمونه‌های گیاهی آن را مطالعه کنند. چنین امکانی محققان را از انجام سفرهای غیرضروری و صرف هزینه و اتلاف انرژی معاف می‌سازد و حتی تا حدی با کاهش هدررفت انرژی به حفظ محیط زیست نیز کمک می‌کنند. همچنین، روش‌های مولکولی مانند استخراج DNA از نمونه‌های هرباریوم، مرزهای جدیدی را در سیستماتیک مولکولی و مطالعات تکاملی گشوده است. امروزه محققان می‌توانند از نمونه‌هایی با قدمت چند صد ساله برای مطالعه گوناگونی ژنتیکی استفاده کنند که درک عمیق‌تری از سازگاری و تکامل گیاهان در طول زمان را ممکن می‌سازد. بنابراین، هرباریوم‌ها نه تنها به عنوان مخازن ثابت نمونه‌های گیاهی بلکه به عنوان مراکز پویای تحقیق و کشف ناشناخته‌ها عمل می‌کنند. آنها گذشته را با حال پیوند می‌دهند و ابزارهایی را برای مقابله با چالش‌های امروزی مانند تغییرات آب و هوایی، کاهش تنوع زیستی و کشاورزی پایدار در اختیار دانشمندان قرار می‌دهند [۵]. شایان ذکر است که زمینه‌های دانش دیگری نیز وجود دارند که در آنها هرباریوم به عنوان ورودی یا منبع داده برای تحقیق نقش دارد. به عنوان نمونه در زراعت و کشاورزی، قوم‌شناسی و فرهنگ غذایی مناطق مختلف و یا پزشکی و طب سنتی، هرباریوم‌ها به عنوان منبعی برای نمونه‌های گیاهی اهمیت به‌سزایی دارند. از سوی دیگر، علاوه بر کاربردهای

هرباریوم در علوم پایه، این نهاد نقش مهمی در دانش و حفظ تنوع زیستی و بهبود گونه‌ها برای استفاده تجاری دارد [۶]. علاوه بر حوزه‌های تحقیقاتی ذکر شده، بسیاری از زمینه‌های تحقیقاتی دیگر می‌توانند از نمونه‌های هرباریومی بهره‌مند شوند. مطالعات باستان‌شناسی و دیرینه‌شناسی ممکن است به نمونه‌های گیاهی که قبلاً برای اهداف مقایسه یا بحث جمع‌آوری شده‌اند، نیاز داشته باشند. همچنین، مواد هرباریومی و داده‌های جمع‌آوری‌شده مرتبط، منابع اطلاعاتی ارزشمندی برای محققان علاقه‌مند به تاریخ علم و بازسازی تاریخ سفرهای اکتشافی گذشته هستند [۷].

معناشناسی

منشاء واژه هرباریوم در اصل، به کتابی در رابطه با گیاهان دارویی برمی‌گردد. تورنفورت این واژه را به مجموعه‌ای از گیاهان خشک اطلاق کرد. کاربرد این واژه توسط لینه ادامه پیدا کرد و جانشین لغات پیشین مانند "hortus siccus" (باغ خشک) شد. واژه هرباریوم (herbarium) از ترکیب دو واژه لاتین herba به معنی گیاه و پسوند arium به معنی محل نگهداری یا ذخیره ساخته شده است. به عنوان مثال aquarium به محل نگهداری آبزیان و vivarium به محل نگهداری دوزیستان و مارها اطلاق می‌شود. همچنین گزیلاریوم یا زیلاریوم (xylarium) به مجموعه‌ای از نمونه‌های چوبی اشاره دارد که معمولاً در موزه‌ها، دانشگاه‌ها یا مراکز تحقیقاتی ذخیره و نگهداری می‌شوند. این نمونه‌ها برای مطالعه خصوصیات چوب، شناسایی و بررسی گونه‌های مختلف درختان استفاده می‌شوند. واژه xylo از کلمه یونانی ξύλον (xylon) به معنی چوب می‌آید و پسوند arium نیز به مکان اشاره دارد. هرباریوم اصطلاحات و مفاهیم تخصصی خود را طی قرن‌ها توسعه داده است. برای درک دامنه کامل و اهمیت مجموعه‌های هرباریومی، ضروری است که ابتدا با اصطلاحات و مقوله‌های اساسی آن آشنا شویم. این مفاهیم نحوه جمع‌آوری، رده‌بندی و استفاده از نمونه‌ها در مطالعات علمی را مشخص می‌کنند [۱].

اصطلاحات کلیدی در شناخت هرباریوم:

هرباریوم (جمع: herbaria): هرباریوم مجموعه‌ای از نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری‌شده است که به دقت فشرده و خشک شده و برای نگهداری طولانی مدت روی ورقه‌های مقوایی مناسب نصب شده‌اند. این برگه‌ها معمولاً با داده‌های مهم، از جمله نام علمی لاتین گیاه، محل و تاریخ جمع‌آوری و نام گردآورنده برچسب‌گذاری می‌شوند. هر نمونه به عنوان یک نمونه شاهد عمل می‌کند به طوری که وجود یک گیاه را در یک نقطه خاص در زمان و مکان مستند می‌کند [۱].

نمونه شاهد: نمونه شاهد یک نمونه گیاهی خاص است که به عنوان مدرکی برای شناسایی یا رده‌بندی یک گیاه عمل می‌کند. این نمونه‌ها در مطالعات علمی اساسی هستند، زیرا شواهد ملموسی از گونه‌های مورد بررسی را ارائه می‌دهند و همچنین تضمین می‌کنند که محققان بعدی می‌توانند یافته‌ها را تأیید کنند یا نمونه را با روش‌های جدید و یا متفاوت مورد بررسی مجدد قرار دهند.

نوع نمونه: در هرباریوم، نمونه‌های تیپ[1] (مونه) مهم‌ترین نمونه‌های موجود در یک مجموعه هستند. نمونه تایپ نمونه ای است که اولین شرح علمی یک گونه بر اساس آن نوشته شده است. انواع مختلفی از نمونه‌های تایپ وجود دارد، که به عنوان مثال می‌توان هولوتیپ (تام‌مونه، holotype)، ایزوتیپ (جورمونه، isotype)، سین‌تیپ (هم‌مونه، syntype)، لکتوتیپ (گزین‌مونه، lectotype) و یا نئوتیپ (نومونه، neotype) را نام برد.

مجموعه اکسیکاتا (Exsiccatae): این اصطلاح به مجموعه‌ای از نمونه‌های گیاهی شماره‌خورده اشاره دارد که به عنوان بخشی از یک پروژه سیستماتیک جمع‌آوری شده‌اند و اغلب در چندین هرباریوم توزیع می‌شوند. هر نمونه در یک سری اکسیکیت از نظر گونه‌ها یکسان است و معمولاً یک منطقه یا فلور خاص را نشان می‌دهد و مطالعات مقایسه‌ای گسترده‌تری را تسهیل می‌کند [۸].

انواع هرباریوم

هرباریوم‌ها می‌توانند از نظر دامنه و هدف متفاوت باشند و درک تمایز بین انواع مختلف برای درک نحوه استفاده از این مجموعه‌ها کلیدی است.

[1] Type

هرباریوم‌های سازمانی: هرباریوم‌هایی هستند که توسط دانشگاه‌ها، باغ‌های گیاه‌شناسی، موزه‌ها و یا سایر موسسات تحقیقاتی نگهداری می‌شوند. هرباریوم‌های سازمانی ممکن است چند صد هزار یا میلیون‌ها نمونه را در خود جای دهند و برای تحقیقات دانشگاهی، مطالعات تنوع زیستی و تلاش‌های حفاظت از گیاهان بسیار مهم هستند. بسیاری از بزرگترین هرباریوم‌های جهان، مانند هرباریوم باغ گیاه‌شناسی سلطنتی کیو یا هرباریوم باغ گیاه‌شناسی نیویورک از این نوع هستند.

هرباریوم‌های خصوصی: این هرباریوم‌ها مجموعه‌های کوچکتری هستند که توسط افراد، معمولا گیاه‌شناسان، علاقه‌مندان به گیاهان و یا کلکسیونرها نگهداری می‌شوند. اگرچه هرباریوم‌های خصوصی ممکن است منابع گسترده مجموعه‌های سازمانی را نداشته باشند، اما اغلب، نمونه‌های منحصربه‌فردی را در خود جای می‌دهند. همچنین گاهی از طریق همکاری و به اشتراک گذاشتن نمونه‌ها با مؤسسات عمومی، می‌توانند به پروژه‌های علمی بزرگ‌تر کمک کنند.

هرباریوم‌های دیجیتال: با توسعه تکنولوژی، بسیاری از هرباریوم‌های سنتی دیجیتال می‌شوند. هرباریوم‌های دیجیتال شامل اسکن‌ها یا عکس‌هایی با وضوح بالا از نمونه‌های فیزیکی، همراه با داده‌های مرتبط با آن‌ها هستند که به‌صورت برخط برای استفاده عمومی یا دانشگاهی در دسترس است. هرباریوم‌های دیجیتال دسترسی و مطالعه نمونه‌ها را از سراسر جهان بدون نیاز به سفرهای غیر ضروری ممکن می‌سازند و دامنه علم گیاه‌شناسی را گسترش می‌دهد [۹]. وجود این نوع هرباریوم‌ها در سرعت دسترسی و کاهش هزینه‌ها بسیار کارآمد است. دیجیتال‌سازی نمونه‌های هرباریومی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در غنای داده‌های تنوع زیستی داشته باشد و در مقایسه با داده‌های علم جامعه، کارایی بیشتری در پوشش تنوع زیستی و نیازهای مدل‌سازی دارد [۱۰].

انواع نمونه

نمونه‌های خشک شده: این نمونه‌ها رایج‌ترین نوع نمونه‌های هرباریوم هستند. آنها قطعات فشرده و خشک شده گیاه (شامل برگ، ساقه، گل، میوه) هستند که بر روی کاغذ مقوایی نصب شده‌اند. این برگه‌ها معمولاً دارای برچسب‌هایی حاوی اطلاعات مهم نمونه هستند.

نمونه‌های چوبی: برخی از هرباریوم‌ها، مجموعه‌ای از نمونه‌های چوب را نگهداری می‌کنند که به نام چوبکده نیز شناخته می‌شود. این نمونه‌های چوبی را می‌توان برای مطالعه گونه‌های درختی با استفاده از سن چوب، تعیین اقلیم گذشته، که اغلب در تحقیقات بوم‌شناسی یا باستان‌شناسی بسیار مهم است، استفاده کرد.

مجموعه‌های شیشه الکلی (spirit): در برخی موارد، به ویژه در مورد گیاهانی که به راحتی نمی‌توان آنها را خشک کرد (مانند برخی از گیاهان آبزی)، نمونه‌ها در الکل یا فرمالدئید نگهداری می‌شوند. این نمونه‌ها در ظروف شیشه‌ای یا ویال‌ها قرار می‌گیرند و امکان مطالعه دقیق بافت‌ها و ساختارهای گیاهی را فراهم می‌کنند. در غیر این صورت، این گیاهان پس از خشک شدن آسیب دیده یا حتی از بین می‌روند [۱]. حفاظت نمونه‌هایی از یک مجموعه گیاهی در مایع نگهدارنده معمولاً ارزشمند است. نگهداری در مایع شکل، اندازه و ساختار درونی بافت‌های گیاهی را حفظ می‌کند. مخصوصاً برای مطالعه بر روی بخش‌های ظریف گل‌دار که در روش خشک کردن استاندارد نمونه هربریومی، ساختارشان به راحتی از حالت طبیعی خارج شده و یا حتی از بین می‌رود، این روش ارزشمند است. نگهداری در مایع همچنین برای مطالعات تشریحی، تکاملی، یا فراساختاری که در آنها ساختار درونی سلول‌ها و بافت‌ها باید حفظ شده باشند، ضروری است.

غده‌ها و یا پیازهای آبدار: برای نگهداری نمونه‌های گیاهی دارای غده یا پیازهای آبدار در هرباریوم، روش‌های خاصی جهت جلوگیری از پوسیدگی و حفظ ساختار اندام اعمال می‌شود. این بخش‌های آبدار ابتدا با برش‌هایی باز شده و محتوای آبکی آن‌ها تا حد امکان خارج می‌شود. سپس با استفاده از سیلیکاژل یا سایر مواد جاذب رطوبت، به سرعت خشک می‌شوند تا از فساد آنها جلوگیری شود. در مرحله بعد، نمونه روی برگه هرباریوم نصب می‌شود و غده یا پیاز به صورت جداگانه در بسته‌های کوچک نگهداری شده و با برگه هرباریومی همراه می‌شوند. همچنین، گاهی یک نمونه ذخیره در مایع نگهدارنده (مانند الکل) به عنوان مکمل حفظ می‌شود [۱].

برچسب‌گذاری و مستندسازی نمونه‌ها

یکی از پایه‌های اصلی هرباریوم، مستندسازی دقیق نمونه‌ها است. هر نمونه هرباریومی برچسبی حاوی اطلاعات مهم نمونه جمع‌آوری‌شده دارد. دقت و کامل بودن این داده‌ها بسیار ضروری است، زیرا زمینه مورد نیاز برای تحقیقات آینده را فراهم می‌کند. این موارد عبارت‌اند از:

اطلاعات گردآورنده: نام جمع‌آوری‌کننده نمونه، که اغلب با شماره مخصوص فرد جمع‌آوری‌کننده همراه است، از اطلاعات بسیار مهم نمونه به شمار می‌آید [۱۱].

محل و تاریخ گردآوری: نمونه‌ها معمولا با اطلاعات جغرافیایی دقیق، از جمله عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی، ارتفاع و نوع زیستگاهی که گیاه در آن یافت شده است، برچسب‌گذاری شوند. همچنین، ذکر تاریخ جمع‌آوری برای مطالعات فنولوژی و تغییرات محیطی بسیار مفید است.

نام گونه: نام علمی شامل سرده و گونه بر اساس قوانین نام‌گذاری گیاه‌شناسی نوشته می‌شود. این نام علمی به پیوند نمونه با پایگاه‌های اطلاعاتی علمی جهانی کمک می‌کند [۱]. به عنوان نمونه شکل ۱ یک برچسب اطلاعاتی خام مربوط به یک نمونه در هرباریوم تهران را نشان می‌دهد. در این شکل در خط آخر نام کسی که گیاه را به برگه چسبانده، همراه با تاریخ چسبانده شدن نمونه ذکر شده است. این بخش معمولا رایج نیست، اما ضمن احترام به تلاش اغلب داوطلبانه کارکنان نمونه‌چسبان هرباریوم‌ها، زمان در دسترس قرار گرفتن نمونه برای محققان را نیز مشخص می‌کند [۱۱، ۱۲].

برگه یا مقوای هرباریوم

برگه هرباریومی واحد اساسی هرباریوم است و معمولاً شامل موارد زیر است.

نمونه: مواد گیاهی خشک شده و چسبانده شده.

برچسب: برچسب استاندارد شده‌ای که اطلاعات کلیدی را ارائه می‌دهد (به عنوان نمونه، نام گونه، نام گردآورنده، محل و تاریخ جمع‌آوری).

TEHRAN HERBARIUM (T)
Kharazmi University, Tehran, Iran

No.: Fam.:

Locality:
Habitat:
Notes:
Alt.: Date:
Coll.: Det.:

Mounter: Date Mounted:

شکل ۱- نمونه‌ای از یک برچسب هرباریومی.

بخش‌های افزوده: برخی از برگه‌های هرباریومی ممکن است شامل پاکت‌های حاوی دانه‌ها، میوه‌ها یا قسمت‌های اضافی گیاه که قابل نصب روی برگه مقوایی نیستند باشند. حتی ممکن است برخی از نمونه‌ها شامل عکس، نقشه و یا نقاشی باشند.

توزیع و مبادلات

نمونه‌های هرباریوم اغلب بین مؤسسات مبادله می‌شوند تا از تحقیقات حمایت کنند و دسترسی جهانی به داده‌های گیاهی را گسترش دهند. این مبادلات به ویژه برای نمونه‌های نادر یا با پراکنش جغرافیایی ویژه که ممکن است به آسانی برای مطالعه در دسترس نباشند، اهمیت زیادی دارند. به عنوان نمونه، یک مجموعه ممکن است در چندین هرباریوم توزیع شوند تا تحقیقات مقایسه‌ای را تسهیل کنند. از طرفی در صورت از بین رفتن نمونه‌ای بر اثر حوادث طبیعی مانند آتش‌سوزی، نسخه‌های ارسالی به دیگر هرباریوم‌ها سالم خواهند ماند. به عنوان مثال در سال ۱۹۴۳، طی جنگ جهانی دوم، در حملات هوایی، هرباریوم برلین بر اثر اصابت بمب دچار آتش‌سوزی بزرگی شد و بخشی از نمونه‌های مهم آن از بین رفتند [۱۳].

تاسیس و مدیریت هرباریوم

ایجاد و نگهداری هرباریوم مستلزم یک رویکرد نظام‌مند است. باید اطمینان حاصل شود که نمونه‌های گیاهی به شکلی نگهداری، مستند و سازماندهی می‌شوند که به طور مؤثر امکان استفاده از آنها برای اهداف تحقیقاتی، آموزشی و حفاظتی فراهم باشد. فرایندهای مربوط به ایجاد هرباریوم، روش‌های مورد استفاده برای نگهداری نمونه‌ها و تجهیزات ضروری برای

مدیریت صحیح باید بررسی شود. علاوه بر این، لازم است بهترین روش‌ها برای برچسب‌گذاری و فهرست‌نویسی نمونه‌ها استفاده شوند. شکل ۲ تصویری از هرباریوم موزه تاریخ طبیعی وین (W) را نشان می‌دهد.

شکل ۲- بخشی از قفسه ها و جعبه های حاوی نمونه های گیاهی در هرباریوم موزه تاریخ طبیعی وین (W). (عکس از حمید نظری، ۲۰۲۳).

چگونگی ساخت یک هرباریوم

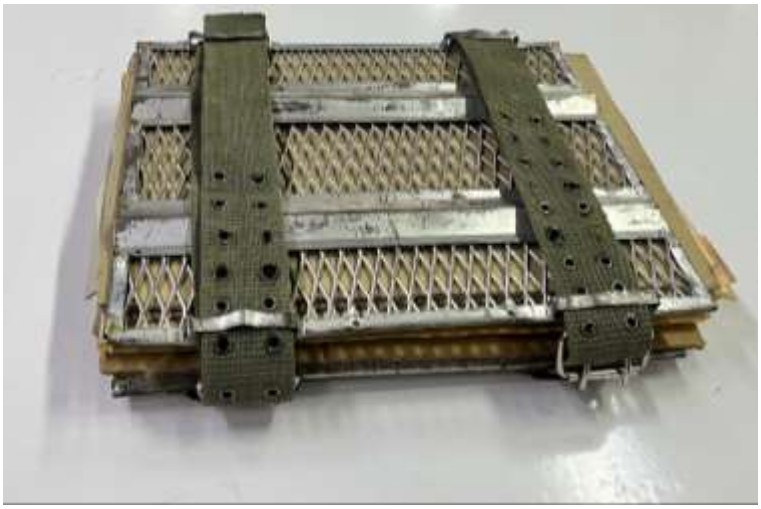
فرایند ایجاد هرباریوم با جمع‌آوری نمونه‌های گیاهی از مناطق مختلف آغاز می‌شود. کار میدانی یکی از جنبه‌های اساسی در مدیریت هرباریوم است، زیرا کیفیت و کامل بودن یک مجموعه به انتخاب دقیق و انتقال صحیح نمونه‌ها از زیستگاه‌های متنوع بستگی دارد.

جمع‌آوری میدانی: گیاهان معمولاً در مرحله زایشی که گل یا میوه دارند جمع‌آوری می‌شوند، زیرا این ساختارها غالبا برای شناسایی دقیق گیاه و تعیین نام علمی آن ضروری هستند. هنگامی که یک گیاه انتخاب می‌شود، آن را با دقت از ریشه بیرون می‌آورند و یا از قاعده قطع می‌کنند. مهم است که تا حد ممکن ساختار گیاه از جمله ریشه، ساقه، برگ و اندام‌های تولیدمثلی حفظ شوند. یادداشت‌های میدانی، از جمله مکان دقیق (اغلب با GPS)، شرح زیستگاه، و تاریخ جمع‌آوری، برای مستندسازی نمونه ضروری است. جمع‌آوری بخش‌های زیرزمینی، به‌ویژه در گیاهان دارای غده، ریزوم یا سوخ، اهمیت زیادی دارد؛ زیرا این اندام‌ها نیز معمولاً برای شناسایی دقیق و تعیین نام علمی گیاهان ارزش بالایی دارند. از جمله سرده‌هایی که اندام‌های زیرزمینی در آن‌ها نقش کلیدی در شناسایی آرایه‌ها دارند می‌توان به *Allium* (پیاز)، *Iris* (زنبق)، *Crocus* (زعفران) و *Colchicum* (گل حسرت) اشاره کرد.

پرس کردن و خشک کردن: پس از جمع‌آوری، نمونه‌های گیاهی بلافاصله بین برگه‌های خشک‌کن یا روزنامه در یک پرس که از دو قاب غالبا چوبی محکم شده با تسمه تشکیل شده است، فشرده می‌شوند. در برخی هرباریوم‌ها از قاب‌های فلزی به جای قاب‌های چوبی برای پرس کردن نمونه‌های گیاهی استفاده می‌شود (شکل ۳). فرایند پرس، گیاه را صاف می‌کند، شکل آن را حفظ می‌کند و امکان ذخیره‌سازی را فراهم می‌آورد. نمونه‌ها معمولاً در یک فضای گرم و دارای تهویه مناسب خشک می‌شوند. گاهی اوقات از منابع حرارتی مصنوعی مانند کوره‌های خشک‌کن برای تسریع فرایند استفاده می‌کنند [۱]. پرس و خشک کردن نمونه‌ها باید با دقت انجام شود تا آسیبی به گیاه نرسد و اطمینان حاصل شود که نمونه‌ها می‌توانند به صورت صاف روی برگه‌های هرباریوم برای نگهداری طولانی مدت نصب شوند و در کمد های هرباریومی حفظ شوند. شکل ۴ تصویری از هرباریوم باغ گیاه‌شناسی میزوری آمریکا و نحوه نگهداری نمونه‌های گیاهی را نشان می‌دهد.

ذخیره‌سازی و نگهداری

پس از خشک شدن، نمونه‌ها بر روی برگه‌های هرباریومی نصب می‌شوند. برگه‌های استاندارد از مقوا با کیفیت مناسب، معمولاً در اندازه‌های حدود ۲۹ × ۴۱ سانتی‌متر هستند.



شکل ۳- نمونه‌ای از یک پرس فلزی در هرباریوم دانشگاه فردوسی مشهد. (عکس از فرخ قهرمانی‌نژاد، ۲۰۲۵).

شکل ۴- کمدهای حاوی نمونه‌های گیاهی در هرباریوم باغ گیاه‌شناسی میزوری. (عکس از فرخ قهرمانی‌نژاد، ۲۰۰۱).

نمونه‌ها با استفاده از چسب، نوار چسب یا با نخ به برگه‌ها چسبانده می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که در طول زمان آسیب نمی‌بینند. برچسب زدن یک مرحله مهم در این فرایند است، زیرا اطلاعات مرتبط با هر نمونه به اندازه خود نمونه ارزشمند هستند [۱۴]. در این مرحله از چسب و نوارچسب برای چسباندن نمونه‌ها به برگه‌ها استفاده می‌شود. گاهی از نخ و سوزن نیز برای دوخت نمونه‌های بزرگتر یا ضخیم‌تر استفاده می‌شود [۱۵]. در برخی هرباریوم‌ها برای حفاظت بیشتر نمونه‌ها، برگه‌های هرباریومی در کیسه‌های پلاستیکی استاندارد قرار می‌گیرند. به عنوان نمونه می‌توان به هرباریوم تهران (دانشگاه خوارزمی) اشاره کرد. در برخی از هرباریوم‌های بزرگ نمونه‌های یک سرده بر اساس مناطق مختلف جمع‌آوری، در پوشه‌هایی دارای نوار در رنگ‌های مختلف نگهداری می‌شوند. به عنوان مثال در هرباریوم موزه تاریخ طبیعی پاریس، نمونه‌هایی از یک سرده که مربوط به اروپا هستند در پوشه‌هایی نگهداری می‌شوند که بالا و پایین

آنها خاکستری رنگ است. این رنگ برای نمونه‌های استوایی آفریقا آبی، برای نمونه‌های آسیا زرد، برای نمونه‌های شمال آفریقا بنفش، برای نمونه‌های آمریکا سبز، برای نمونه‌های اقیانوسیه قرمز و برای نمونه‌های ماداگاسکار قهوه‌ای است. نمونه‌های تایپ نیز در پوشه‌هایی به رنگ قرمز قرار دارند که به نسبت منطقه، در پوشه‌های دارای رنگ های مختلف که به آن اشاره شد قرار می‌گیرند (شکل ۵). در اکثر هرباریوم‌ها نمونه های تایپ در پوشه های قرمز رنگ نگهداری می‌شوند.

نگهداری مناسب برای حفظ یکپارچگی طولانی مدت نمونه‌های هرباریوم ضروری است. جنبه‌های کلیدی ذخیره‌سازی و نگهداری عبارتند از:

کنترل آفات: مجموعه‌های هرباریوم بسیار مستعد آسیب آفاتی مانند حشرات و کپک هستند. اقدامات پیشگیرانه شامل نگهداری نمونه‌ها در کابینت‌های ضد حشرات، کنترل رطوبت و دما در اتاق‌های نگهداری و بازرسی منظم مجموعه‌ها برای علائم آلودگی است. نمونه‌های هرباریوم در کابینت‌های فلزی نگهداری می‌شوند که برای جلوگیری از آفات و محافظت از نمونه‌ها در برابر نوسانات محیطی طراحی شده‌اند. این کابینت‌ها معمولاً در برابر آتش مقاوم هستند [۱]. غالبا با قرار دادن چند روز تا یک هفته‌ای نمونه ها در فریزرهای منهای ۸۰ درجه تا منهای ۱۹۶ درجه سانتیگراد منجمد می‌شوند یا با عوامل شیمیایی تیمار می‌شوند تا هر گونه آفت بالقوه را از بین ببرند و پس از این مرحله، نمونه ها وارد مخزن اصلی هرباریوم می شوند. باید توجه نمود که استفاده از سموم برای از بین بردن حشرات احتمالا به DNA گیاه صدمه می‌زند که امکان دارد چنین نمونه‌ای برای مطالعات مولکولی و توالی‌یابی از کیفیت کمتر مناسبی برخوردار باشند. هرچند استفاده از سموم شاید برای سلامتی کارکنان و بازدید کنند گان مخاطره آمیز باشد.

کنترل دما و رطوبت: شرایط محیطی در هرباریوم باید به دقت تنظیم شود. نمونه‌ها باید در دمای پایین (حدود ۱۸ درجه سانتیگراد- در برخی هرباریوم ها تا ۵ درجه) و رطوبت نسبی پایین (کمتر از ٪۵۰) نگهداری شوند تا از تخریب آنها جلوگیری شود. نوسانات دما و رطوبت می‌تواند منجر به رشد کپک‌ها و انواع قارچ‌ها، شکنندگی گیاه و سایر مشکلات شود [۱۵].

مواد بایگانی: برای نصب و برچسب زدن نمونه‌ها از مواد با کیفیت بایگانی، مانند کاغذ و چسب‌های بدون اسید استفاده می‌شود تا از زرد شدن یا خراب شدن نمونه گیاهی در طول زمان جلوگیری شود. هرباریوم‌های مدرن اغلب مجموعه‌های خود را دیجیتالی می‌کنند تا یک نسخه پشتیبان موجود باشد و امکان دسترسی از راه دور به داده‌های نمونه را فراهم کنند و نیاز به کار با نمونه‌های فیزیکی و تخریب احتمالی آنها را کاهش دهند.

شکل ۵- پوشه‌های مقوایی دارای نوار رنگی در هرباریوم موزه تاریخ طبیعی پاریس برای تمیز بهتر نمونه‌های گونه‌های قاره‌ها و مناطق مختلف. (عکس از فرخ قهرمانی نژاد، ۲۰۲۵).

شکل ۶- بایگانی در قفسه‌های ریلی: سمت چپ هرباریوم موزه تاریخ طبیعی وین (W: عکس از حمید نظری، ۲۰۲۳)؛ سمت راست هرباریوم موزه تاریخ طبیعی پاریس (P: عکس از فرخ قهرمانی‌نژاد، ۲۰۲۰)؛ تصویر وسط مربوط به هرباریوم دانشگاه وین (WU: عکس از مریم خواجه پیری، ۲۰۱۴).

در برخی از هرباریوم‌ها برای صرفه‌جویی در فضا و دسترسی ساده‌تر به نمونه‌ها، از قفسه‌های ریلی استفاده می‌شود. شکل ۶ این نوع بایگانی را در چند هرباریوم نشان می‌دهد.

برچسب‌گذاری و فهرست‌نویسی

برچسب‌گذاری و فهرست‌نویسی مناسب، یکی از کارهای ضروری در مدیریت هرباریوم است. یک نمونه بدون داده‌های دقیق ارزش علمی اندکی دارد، بنابراین برچسب‌های هرباریومی باید واضح و کامل باشند. برچسب هر نمونه هرباریومی شامل نام علمی نمونه (سرده و گونه) بر اساس جدیدترین تحقیقات رده‌بندی، نام گردآورنده، شماره مجموعه (تخصیص‌داده‌شده توسط گردآورنده)، محل (مختصات جغرافیایی، شرح زیستگاه)، و تاریخ جمع‌آوری نمونه گیاهی است. مشاهدات مربوط به شکل رشد گیاه، زیستگاه، و هر گونه گیاهی مرتبط با آن را نیز می‌توان بر روی برچسب درج کرد [۱]. غالبا جمع‌آوری‌کنندگان نمونه‌های خود را شخصا بر روی برگه‌های هرباریومی می‌چسبانند. اما در مواردی نمونه‌های جمع‌آوری‌شده و یا نمونه‌هایی که توسط جمع‌آوری‌کنندگان متفرقه و علاقمند به هرباریوم ارسال می‌شوند مدت مدیدی بدون نصب دائمی بر روی برگه‌های هرباریومی در هرباریوم باقی می‌مانند در این موارد نمونه‌ها توسط افراد دیگری غیر از جمع‌آوری کنندگان چسبانده می‌شوند. لذا بسیار ارزشمند است که اسامی این افراد که الزاما گیاه‌شناس نیز نیستند و در مواردی داوطلب کار در هرباریوم هستند بر روی برچسب‌های هرباریومی ذکر شود [۱۲].

مجموعه‌های هرباریوم معمولاً بر اساس رده‌بندی تیره، سرده و گونه سازماندهی می‌شوند. با این حال بسته به تمرکز مجموعه ممکن است سایر سیستم‌های فهرست‌نویسی، مانند محدوده جغرافیایی و یا بوم‌شناختی، مورد استفاده قرار گیرند [۱۰]. مجموعه‌های هرباریوم دیجیتالی می‌شوند و اطلاعات مربوط به نمونه‌ها وارد پایگاه‌های داده الکترونیکی می‌شوند تا امکان بازیابی و اشتراک‌گذاری آسان‌تر اطلاعات فراهم شود. امروزه بسیاری از هرباریوم‌های مدرن بارکدهای منحصربه‌فردی را به هر نمونه اختصاص می‌دهند. این بارکدها به سوابق دیجیتالی مرتبط هستند که تمام داده‌های مرتبط، از جمله تصویر نمونه را ذخیره می‌کنند و به محققان این امکان را می‌دهند تا از راه دور از طریق پایگاه‌های اطلاعاتی گیاهی برخط به اطلاعات دسترسی داشته باشند [۱۵].

روش‌های هرباریوم: جمع‌آوری، نگهداری و نصب

ارزش هرباریوم تا حد زیادی به کیفیت نمونه‌های موجود در آن بستگی دارد. فرایندهای جمع‌آوری، نگهداری و نصب، روش‌های اساسی هستند که تضمین می‌کنند نمونه‌های گیاهی به درستی برای مطالعه و مستندسازی طولانی مدت نگهداری شوند.

روش‌های مجموعه میدانی

جمع‌آوری میدانی اولین و شاید حیاتی‌ترین مرحله در تهیه نمونه هرباریوم است. نمونه‌ای که به خوبی جمع‌آوری شده

است، پایه و اساس تمام تحقیقات آینده را فراهم می‌کند. بنابراین، در ابتدا باید توجه داشت که گیاه با دقت انتخاب شود.

انتخاب نمونه‌ها: هنگام انتخاب گیاهان برای جمع‌آوری، مهم است اطمینان حاصل شود که نمونه نماینده گونه آن است. این به معنی جمع‌آوری گیاهان در مرحله زایشی آنها است، زیرا این ساختارها برای شناسایی دقیق گیاه ضروری هستند [۱]. علاوه بر این، هدف گردآورنده باید به ثبت رساندن طیف کاملی از ویژگی‌های گیاهی، از جمله ریشه، ساقه، برگ و اندام‌های تولیدمثلی باشد.

ابزار جمع‌آوری: ابزارهای ضروری کار میدانی شامل ابزار حفاری برای ریشه‌کن کردن گیاهان (به‌ویژه برای گونه‌هایی با ساختارهای زیرزمینی مانند پیاز یا ریزوم)، قیچی باغبانی برای بریدن شاخه‌ها و کیسه‌های جمع‌آوری یا پرس گیاهان برای انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه است. دستگاه‌های جی‌پی‌اس یا دفترچه‌های صحرایی نیز برای ثبت مکان دقیق و زیستگاه گیاه ارزشمند هستند [۱].

یادداشت‌های میدانی: یادداشت‌های میدانی دقیق برای مستندسازی مجموعه نمونه مهم هستند. همراه با خود گیاه، یادداشت‌ها باید شامل موقعیت جغرافیایی دقیق (مختصات)، ارتفاع، توصیف زیستگاه و تاریخ جمع‌آوری باشد. یادداشت‌های میدانی ممکن است تعاملات اکولوژیکی، گونه‌های مرتبط و مشاهدات دیگری از قبیل رنگ گل را ثبت کنند که می‌توانند برای تحقیقات آینده مفید باشند [۱۴]. بویژه بسیار مهم است که توجه داشته باشیم گلبرگ‌ها در موارد متعدد پس از خشک شدن تغییر رنگ می‌دهند.

رسیدگی به انواع گیاهان خاص

برخی از گیاهان برای حفظ ساختار و ویژگی‌های خود به روش‌های تخصصی‌تری نیاز دارند.

گوشتی ها و کاکتوس‌ها: این گیاهان آب را در بافت‌های خود ذخیره می‌کنند و به همین دلیل پرس کردن و خشک کردن آنها دشوار است. در بسیاری از موارد، ابتدا آنها را برش می‌زنند تا رطوبت اضافی را از بین ببرند، یا قسمت هایی از گیاه را با اتانول تیمار می‌کنند تا به خشک شدن نمونه قبل از پرس کردن کمک کند [۱].

گیاهان آبزی: خشک کردن گیاهان آبزی در پرس می‌تواند باعث فروریختن ساختارهای ظریف شود. بنابراین اغلب ابتدا آنها را در آب شناور می‌کنند و سپس با دقت و با استفاده از تلق‌های پلاستیکی (برای انتقال از آب بر روی کاغذ) روی کاغذ می‌گذارند، سپس به آرامی خشک می‌کنند تا شکل خود را حفظ کنند. از طرف دیگر، برخی از نمونه‌های آبزی را به جای خشک کردن، در مجموعه‌های اسپریت (حفظ شده در الکل) نگهداری می‌کنند [۱۴].

میوه‌ها و مخروط‌های گوشتی: میوه‌های بزرگ‌تر یا گوشتی، مانند میوه‌های مخروطی‌ها، ممکن است به سختی روی برگه‌های گیاهی نصب شوند. این بخش‌ها اغلب در ظروف جداگانه ذخیره می‌شوند یا در جعبه‌ها یا پاکت‌های کوچک به برگه متصل می‌شوند.

پیشرفت‌های مدرن در تهیه نمونه

پیشرفت در علم، صنعت و فناوری روش‌های جدیدی را برای تهیه، نگهداری و استفاده از نمونه‌های هرباریوم معرفی کرده است.

خشک کردن انجمادی: برای گیاهان شکننده یا غنی از رطوبت، خشک کردن انجمادی به یک روش جایگزین برای نگهداری تبدیل شده است. این فرایند شامل انجماد گیاه و سپس حذف آهسته رطوبت از طریق تصعید است که ساختار و رنگ گیاه را به طور موثرتری نسبت به روش‌های سنتی خشک کردن حفظ می‌کند [۱۲].

استخراج DNA از نمونه‌های هرباریومی: توانایی استخراج DNA از نمونه‌های خشک شده هرباریومی به محققان اجازه می‌دهد تا ساختار ژنتیکی گیاهانی را که ممکن است قرن‌ها پیش جمع‌آوری شده باشند، مطالعه کنند [۱۶]. پیشرفت‌ها در زیست‌شناسی مولکولی استخراج DNA را حتی از نمونه‌های قدیمی‌تر و تخریب‌شده امکان‌پذیر کرده است و راه‌های جدیدی را برای تحقیقات تکاملی و تنوع زیستی باز کرده است [۱۷].

دیجیتالی (رقومی) کردن مجموعه‌های گیاهی

یکی از متحول‌کننده‌ترین پیشرفت‌ها در علم هرباریوم، دیجیتالی کردن مجموعه‌ها است. دیجیتالی شدن شامل ایجاد تصاویر با وضوح بالا از نمونه‌های گیاهی و در دسترس قرار

دادن آنها از طریق پایگاه‌های داده برخط است. این فرایند دسترسی را افزایش می‌دهد و به محققان، مربیان و عموم اجازه می‌دهد تا نمونه‌ها را از راه دور بدون نیاز به بازدید از هرباریوم بررسی کنند.

تلاش‌های دیجیتال‌سازی جهانی: پروژه‌های دیجیتال‌سازی در مقیاس بزرگ توسط بسیاری از هرباریوم‌ها در سراسر جهان انجام شده است. ابتکاراتی مانند پروژه گیاهان جهان (Global Plants Project) و مجموعه هرباریوم‌های خزه‌گیان آمریکای شمالی (Consortium of North American Bryophyte Herbaria) با هدف دیجیتالی کردن میلیون‌ها نمونه و در دسترس قرار دادن آنها برای محققان در سراسر جهان انجام شده است [۱۸]. این مخازن دیجیتالی دسترسی به داده‌های گیاهی را همگانی و همکاری بین محققان را تسهیل کرده و مطالعاتی را که قبلاً به دلیل محدودیت‌های جغرافیایی غیرممکن بود، امکان‌پذیر می‌سازد.

به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها و بهبود همکاری: سوابق دیجیتالی هرباریوم اغلب با پایگاه‌های اطلاعاتی مانند تسهیلات جهانی اطلاعات تنوع زیستی[1](GBIF)، که داده‌های نمونه‌های گیاهی را در سراسر جهان یکپارچه می‌کند، مرتبط می‌شوند. این کار منجر به فرصت‌های بی‌سابقه‌ای برای همکاری و به اشتراک‌گذاری داده‌ها در تحقیقات تنوع زیستی، برنامه‌ریزی حفاظت، و نظارت بر گونه‌ها شده است. اکنون محققان می‌توانند به داده‌های هرباریوم از سرتاسر جهان در هر لحظه دسترسی داشته باشند که به آنها اجازه می‌دهد مجموعه‌های داده بزرگی را برای الگوهای تنوع زیستی جهانی تجزیه و تحلیل کنند.

روش‌های مولکولی و تاثیر آن بر هرباریوم

پیشرفت‌های زیست‌شناسی مولکولی تأثیر عمیقی بر علم هرباریوم داشته است. روش‌هایی مانند بارکُد کردن DNA و توالی‌یابی نسل بعدی[2](NGS) به محققان این امکان را داده است که مواد ژنتیکی را از نمونه‌های هرباریوم استخراج کنند؛ نمونه‌هایی که گاهی چندین دهه یا حتی چندین قرن قدمت دارند و فرصت‌های جدیدی را برای تحقیقات رده‌بندی و مطالعات تنوع زیستی فراهم می‌کنند.

بارکد DNA: بارکد DNA شامل تعیین توالی یک ناحیه کوتاه و استاندارد شده از DNA از یک نمونه گیاهی برای شناسایی گونه‌ها است. این روش در نمونه‌های هرباریوم برای حل عدم قطعیت‌های رده‌بندی، شناسایی گونه‌های مشکوک، و به‌روزرسانی رده‌بندی گونه‌ها بر اساس شواهد ژنتیکی استفاده می‌شود [۱۹]. توانایی استخراج DNA از نمونه‌های قدیمی هرباریومی، پتانسیل پروژه‌های بارکدگذاری را افزایش داده است و دیدگاه‌های تاریخی در مورد تنوع و تکامل گیاهان ارائه می‌دهد.

توالی‌یابی نسل بعدی (NGS): فن‌آوری‌های توالی‌یابی نسل بعدی انقلابی در استفاده از نمونه‌های هرباریومی در مطالعات فیلوژنتیک و تکاملی ایجاد کرده است. با تجزیه و تحلیل ژنوم نمونه‌های هرباریومی، محققان قادر به ردیابی تاریخچه تکامل گونه‌ها، ارزیابی تنوع ژنتیکی و مطالعه پویایی جمعیت در طول زمان شده‌اند [۲۰]. NGS همچنین بر درک چگونگی تأثیر تغییرات محیطی و فعالیت‌های انسانی بر تنوع ژنتیکی گیاهان مؤثر بوده است.

داده‌های بزرگ و هوش مصنوعی

مجموعه‌های هرباریوم حجم وسیعی از داده‌ها را تولید می‌کنند و پیشرفت‌های اخیر در تجزیه و تحلیل داده‌ها و یادگیری ماشینی، فرصت‌های جدیدی را برای تجزیه و تحلیل این داده‌ها باز کرده است. الگوریتم‌های یادگیری ماشینی می‌توانند برای شناسایی الگوها در مجموعه داده‌های گیاهی بزرگ، پیش‌بینی توزیع گونه‌ها و خودکارسازی وظایفی مانند شناسایی نمونه استفاده شوند.

مدل‌سازی توزیع گونه‌ها: مدل‌های توزیع گونه‌ها[3](SDMs) از داده‌های محیطی و سوابق گونه‌های موجود در هرباریوم‌ها برای پیش‌بینی توزیع بالقوه گونه‌ها در شرایط محیطی فعلی و آینده استفاده می‌کنند. این امر به ویژه برای مطالعه تأثیرات تغییرات آب و هوایی بر توزیع گیاهان، هدایت تلاش‌های حفاظتی و شناسایی مناطقی که گونه‌ها ممکن است با بیشترین خطر انقراض مواجه شوند مفید است [۲۱].

شناسایی خودکار نمونه: الگوریتم‌های هوش مصنوعی به طور فزاینده‌ای برای کمک به شناسایی نمونه‌های گیاهی مورد

[1] Global Biodiversity Information Facility
[2] Next Generation Sequencing
[3] Species Distribution Models

استفاده قرار می‌گیرند. نرم‌افزار تشخیص تصویر می‌تواند تصاویر نمونه هرباریوم را برای شناسایی ویژگی‌های کلیدی برگ‌ها، گل‌ها و ساقه‌ها تجزیه و تحلیل کند و به شناسایی گونه‌ها کمک کند. این فناوری نه تنها فرایند شناسایی را تسریع می‌کند، بلکه احتمال خطای انسانی در پروژه‌های بزرگ را نیز کاهش می‌دهد [۲۲]. به عنوان مثال Flora Incognita، Garden Answers، PlantNet، PictureThis، iNaturalist و PlantSnap از پرکاربردترین نرم‌افزارها برای این منظور محسوب می‌شوند. باید خاطر نشان کرد که هنوز این فرایند در ابتدای راه است و تکمیل آن به همکاری‌های وسیع بین‌المللی جامع نیاز خواهد داشت.

پیشرفت در نگهداری نمونه‌ها

روش‌های مدرن، نحوه نگهداری نمونه‌های گیاهی را بهبود بخشیده است. نوآوری‌ها در مواد نصب (مقوا و چسب)، شرایط نگهداری و کنترل آفات، طول عمر نمونه‌ها را افزایش داده و تضمین می‌کند که این نمونه‌ها به عنوان منابع ارزشمندی برای نسل‌های آینده باقی می‌مانند.

انجماد و ذخیره DNA: انجماد، فرایند ذخیره مواد زیستی در دماهای بسیار پایین است که به ابزاری مهم در علم هرباریوم تبدیل شده است. بافت‌ها و دانه‌های منجمد شده را می‌توان همراه با نمونه‌های هرباریوم ذخیره کرد و هم اطلاعات ریخت‌شناختی، هم مواد ژنتیکی را که استخراج آنها از نمونه‌های قدیمی‌تر دشوار است حفظ کرد. این کار امکان حفاظت طولانی‌مدت از تنوع ژنتیکی گیاهان را فراهم می‌سازد [۲۳].

مدیریت پیشرفته آفات: هجوم آفات تهدیدی جدی برای نمونه‌های هرباریوم است. روش‌های مدرن، مدیریت آفات و حفاظت از مجموعه‌ها را بهبود بخشیده است. رویکردهای مدیریت تلفیقی آفات[1] (IPM) که شامل نظارت دقیق، کنترل‌های زیستی و استفاده از بخورهای غیرسمی است، به حفظ یکپارچگی نمونه‌های هرباریوم بدون آسیب رساندن به محیط کمک می‌کند [۲۴].

تصویربرداری سه بُعدی و هرباریوم‌های مجازی

پیشرفت‌های اخیر، فناوری استفاده از تصویربرداری سه بعدی و واقعیت مجازی (VR) را به علم هرباریوم معرفی کرده است. تصویربرداری سه بعدی امکان بازسازی دقیق دیجیتالی نمونه‌ها را فراهم می‌کند و مدل‌های بسیار دقیق و قابل دستکاری گیاهان را برای مطالعه در اختیار محققان قرار می‌دهد.

پلتفرم‌های مجازی هرباریوم: هرباریوم‌های مجازی که اطلاعات دیجیتالی‌شده هرباریوم را با فناوری تصویربرداری سه بعدی ترکیب می‌کنند، راه جدیدی برای کاوش و تعامل با نمونه‌های گیاهی ارائه می‌دهند. این بسترها به کاربران اجازه مشاهده نمونه‌های دیجیتال، مطالعه ویژگی‌های کلیدی با بزرگنمایی مورد نیاز و بررسی نمونه‌ها از زوایای مختلف را می‌دهند. هرباریوم‌های مجازی توان زیادی برای اهداف آموزشی دارند و دانشجویان را قادر می‌سازند تا مجموعه‌های گیاه‌شناسی را بدون نیاز به دسترسی فیزیکی مطالعه کنند [۲۵].

افزایش دسترسی به تحقیقات: برای محققانی که در مناطق دورافتاده یا با منابع محدود کار می‌کنند، هرباریوم مجازی دسترسی به مجموعه‌های وسیعی را فراهم می‌کند. این امر همکاری جهانی را افزایش می‌دهد و محققان را از نقاط مختلف جهان قادر می‌سازد تا نمونه‌های مشابه را به طور هم‌زمان مطالعه کنند. هرباریوم‌های مجازی همچنین نیاز به جابجایی فیزیکی نمونه (به عنوان امانت) را کاهش می‌دهند و به حفظ مجموعه‌های با ارزشمند و حساس و شکننده کمک می‌کنند و باعث کاهش اتلاف انرژی می‌شوند.

قانون و اخلاق برای نمونه‌های هرباریوم

جمع‌آوری، نگهداری و توزیع نمونه‌های هرباریومی شامل ملاحظات قانونی و اخلاقی مختلفی است. این مسائل برای حصول اطمینان از این که مطالعه علمی گیاهان به طور مسئولانه و با احترام به تلاش‌های حفاظت از تنوع زیستی، قوانین ملی و حقوق جوامع محلی و بومی انجام می‌شود، حیاتی هستند.

چهارچوب‌های قانونی حاکم بر نمونه‌های هرباریوم

مجموعه‌های هرباریوم تابع مجموعه وسیعی از قوانین و

[1] Inegrated Pest Mangement

معاهدات ملی و بین‌المللی هستند که بر جمع‌آوری، حمل و نقل و استفاده از نمونه‌های گیاهی حاکم است. هدف این قوانین حفاظت از تنوع زیستی گیاهی و اطمینان از استفاده پایدار از منابع گیاهی است.

معاهده تنوع زیستی[1](CBD): معاهده تنوع زیستی که در سال ۱۹۹۲ منعقد شد، یکی از مهمترین توافق‌نامه‌های بین‌المللی است که بر مجموعه‌های گیاهی تأثیر می‌گذارد. CBD بر حفظ تنوع زیستی، استفاده پایدار از اجزای آن، و به‌اشتراک‌گذاری عادلانه منافع موجود در استفاده از منابع ژنتیکی تاکید دارد. محققانی که با نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری‌شده از کشورهای مختلف کار می‌کنند باید با مفاد CBD، به‌ویژه در رابطه با دسترسی به منابع ژنتیکی و اشتراک منافع، موافقت کنند [۲۶].

پروتکل ناگویا: این پیمان‌نامه که در سال ۲۰۱۰ تحت معاهده CBD به تصویب رسید، چهارچوبی برای دسترسی به منابع ژنتیکی فراهم می‌کند. محققان و هرباریوم‌ها باید قبل از جمع‌آوری نمونه‌ها، رضایت آگاهانه قبلی[2](PIC) را از کشور مبدأ دریافت کنند. همچنین شرایط توافق‌شده دوجانبه[3] (MAT) باید برای اطمینان از مشترک بودن مزایا ایجاد شود. پیمان‌نامه ناگویا تغییرات قابل توجهی را در نحوه مدیریت مجموعه‌های گیاهی به ویژه از نظر دسترسی و استفاده از نمونه‌ها برای تحقیقات ژنتیکی ایجاد کرده است [۲۷].

CITES[4] و گونه‌های در حال انقراض: این توافقنامه، تجارت بین‌المللی گونه‌های گیاهی در خطر انقراض، از جمله جمع‌آوری و حمل و نقل نمونه‌های گیاهی را تنظیم می‌کند. برای گونه‌های فهرست‌شده تحت CITES، مجوزهای ویژه برای صادرات، واردات یا انتقال نمونه‌ها از مرزهای بین‌المللی مورد نیاز است [۲۸]. هرباریوم‌ها باید اطمینان حاصل کنند که هنگام برخورد با گونه‌های در معرض خطر یا حفاظت شده، مطابق با قوانین CITES عمل کنند.

ملاحظات اخلاقی هرباریوم

در کنار تعهدات قانونی، محققان هرباریوم باید به مجموعه‌ای از اصول اخلاقی پایبند باشند تا اطمینان حاصل کنند که کار آنها به طور مثبت به حفاظت از تنوع زیستی و احترام به حقوق جوامع محلی کمک می‌کند. ملاحظات اخلاقی نقش اساسی در مدیریت پایدار منابع گیاهی و اشتراک عادلانه منافع دارد.

شیوه‌های اخلاقی جمع‌آوری: محققان هرباریوم باید دستورالعمل‌های اخلاقی را هنگام جمع‌آوری نمونه‌های گیاهی در طبیعت رعایت کنند. این دستورالعمل‌ها شامل اخذ مجوزهای لازم، اطمینان از این که جمع آوری نمونه گیاهی جمعیت محلی گیاهان را تهدید نمی‌کند و احترام به مناطق حفاظت شده است. در برخی موارد، جمع‌آوری بیش از حد یا شیوه‌های ضعیف جمع‌آوری می‌تواند منجر به کاهش گونه‌های کمیاب یا در حال انقراض شود که به طور بالقوه نگرانی‌های مربوط به حفاظت را تشدید می‌کند. مجموعه اخلاقی همچنین شامل احترام به حقوق معنوی و فرهنگی جوامع بومی و محلی است زیرا ممکن است دانشی سنتی مربوط به گیاهان جمع‌آوری شده وجود داشته باشند. همکاری با کارشناسان محلی و حصول اطمینان از تایید آنها در نشریات علمی یک جنبه حیاتی از مجموعه اخلاقی است [۲۹].

استفاده اخلاقی از دانش سنتی: بسیاری از نمونه‌های گیاهی نگهداری شده در هرباریوم، با دانش سنتی که توسط جوامع بومی و محلی نگهداری می‌شود مرتبط هستند. در تحقیقات شامل رعایات اخلاقی، باید اطمینان حاصل شود که از این دانش با احترام استفاده می‌شود و در مورد جوامعی که این دانش را دارند مشورت و اعتبارسنجی انجام شود. پیمان‌نامه ناگویا نیاز به اشتراک منافع را نه تنها از نظر مزایای مالی بلکه از طریق ظرفیت‌سازی، مشارکت در پژوهش و مالکیت مشترک نتایج تحقیقاتی برجسته می‌کند [۳۰].

رضایت و شفافیت: شفافیت در تحقیقات هرباریومی ضروری است. محققان باید قبل از جمع‌آوری نمونه‌ها، به‌ویژه زمانی که نمونه‌ها در تحقیقات ژنتیکی یا دارویی استفاده می‌شوند، رضایت آگاهانه از مقامات یا جوامع مربوطه کسب کنند. ارتباط شفاف در مورد استفاده مورد نظر از نمونه‌ها و هرگونه مزایای بالقوه ناشی از استفاده از آنها، کلید ایجاد اعتماد و اطمینان از انطباق اخلاقی است [۳۰].

[1] Convention on Biological Diversity
[2] Prior Informed Consent
[3] Mutually Agreed Terms
[4] Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora

دسترسی و اشتراک منافع (ABS)

دسترسی و اشتراک منافع[1](ABS) جزء اصلی توافقنامه‌های بین‌المللی مانند پیمان‌نامه ناگویا است و بر نیاز به مشارکت عادلانه بین کشورهای ارائه‌دهنده منابع ژنتیکی و کشورهایی که از آنها برای تحقیق استفاده می‌کنند تأکید دارد.

پیاده‌سازی ABS در هرباریوم: هرباریوم نقش اصلی را در اجرای مقررات ABS ایفا می‌کند، به ویژه هنگامی که صحبت از تبادل نمونه‌ها و داده‌ها بین مؤسسات در کشورهای مختلف می‌شود. چهارچوب‌های ABS مستلزم آن است که هرباریوم منشأ نمونه‌ها از جمله جزئیات مجوزهای جمع‌آوری و هرگونه توافق‌نامه‌ای مربوط به اشتراک منافع را به دقت مستند کند [۳۱]. این امر تضمین می‌کند که هرباریوم در انطباق با قوانین ملی و بین‌المللی و در عین حال ترویج شیوه‌های تحقیقاتی اخلاقی باقی می‌ماند.

چالش‌های انطباق ABS: یکی از چالش‌های پیاده‌سازی ABS در هرباریوم، بار اداری مرتبط با ردیابی منشاء و وضعیت قانونی هر نمونه است. بسیاری از نمونه‌های هرباریومی قدیمی‌تر، قبل از ایجاد چهارچوب‌های مدرن ABS جمع‌آوری شده‌اند، که ایجاد قراردادهای مالکیت واضح یا اشتراک منافع را دشوار می‌کند. هرباریوم باید سیستم‌های مؤثری را برای مدیریت این پیچیدگی‌ها ایجاد کند تا اطمینان حاصل شود که همچنان با مقررات در حال تحول ABS مطابقت دارند [۳۱].

حفاظت از میراث فرهنگی و فکری

مجموعه‌های هرباریوم اغلب نه تنها نمونه‌های گیاهی بلکه میراث فرهنگی و فکری ارزشمند را نیز حفظ می‌کنند. این داده‌ها شامل اطلاعات محلی گیاه‌شناسی مربوط به استفاده از گیاهان توسط جوامع بومی است. حفاظت از این میراث مستلزم حساسیت به حقوق جوامعی است که دانش را ارائه کرده‌اند و اطمینان حاصل شود که مشارکت‌های آنها هم در تحقیقات علمی و هم در مراقبت از مجموعه‌های گیاهی مورد احترام قرار می‌گیرد.

حقوق مالکیت معنوی و هرباریوم: موضوع حقوق مالکیت معنوی به طور فزاینده‌ای به دانش هرباریوم مرتبط است، به ویژه که منابع ژنتیکی در صنایع دارویی، کشاورزی و فناوری زیستی ارزشمند می‌شوند. هرباریوم باید چشم‌انداز پیچیده حقوق مالکیت معنوی را دنبال کند و اطمینان حاصل کند که کار آنها به سوء استفاده از منابع ژنتیکی یا دانش سنتی منجر نمی‌شود [۱].

حقوق بومی و هرباریوم: رعایت حقوق مردمان بومی در علم هرباریوم بسیار مهم است. این حقوق شامل قدردانی از مشارکت آنها در مجموعه‌های گیاهی، اطمینان از دسترسی آنها به نتایج تحقیقات و مشارکت آنها در تصمیم گیری‌های مربوط به استفاده از دانش آنها است. بسیاری از کشورها قوانینی دارند که از حقوق بومیان حمایت می‌کند. هرباریوم باید اطمینان حاصل کند که تحقیقات آنها با این قوانین مطابقت دارد تا روابط عادلانه و محترمانه را تقویت کند [۱].

به طور کلی دانش هرباریوم به وسیله مجموعه‌ای از قوانین و دستورالعمل‌های اخلاقی هدایت می‌شود. هدف این قوانین، تضمین این است که مجموعه‌های گیاهی به طور مثبت در تحقیقات و حفاظت از تنوع زیستی نقش ایفا کنند. این قوانین همچنین باید به حقوق کشورها، جوامع و افراد درگیر احترام بگذارند. با پایبندی به این چهارچوب های قانونی و اخلاقی، هرباریوم‌ها می‌توانند به عنوان منابع ضروری برای اکتشافات علمی و آموزش و در عین حال ترویج پایداری و برابری عمل کنند.

هرباریوم‌های مطرح جهان

هرباریوم‌های بسیاری در سرتاسر جهان تأسیس شده‌اند که پایه‌ای بنیادین برای تحقیقات گیاه‌شناسی، حفاظت از تنوع زیستی و آموزش را تشکیل می‌دهند. هر هرباریوم دارای تاریخچه منحصر به فرد، مجموعه و سهم خود در علم جهانی است. تعدادی از برجسته‌ترین هرباریوم‌های جهان که مجموعه‌های قابل توجهی را در خود جای داده‌اند به شرح زیر هستند.

هرباریوم باغ گیاه‌شناسی سلطنتی، کیو (K) – بریتانیا

هرباریوم باغ گیاه‌شناسی سلطنتی که در باغ کیو در لندن در سال ۱۷۵۹ تأسیس شد، یکی از بزرگ‌ترین و معروف‌ترین

[1] Access and Benefit-Sharing

هرباریوم‌های جهان به شمار می‌رود. هرباریوم کیو بیش از ۷ میلیون نمونه گیاهی، شامل نمونه‌هایی ارزشمند برای تحقیقات رده‌بندی، را در بر دارد. این هرباریوم از طیف وسیعی از تحقیقات، از رده‌بندی و سیستماتیک گرفته تا تغییرات آب و هوا و تلاش‌های حفاظتی پشتیبانی می‌کند. ابتکار دیجیتالی کیو با تلاش گسترده برای دیجیتالی کردن مجموعه‌هایش و در دسترس قرار دادن آنها برای محققان در سراسر جهان قابل توجه است. این دسترسی به دانشمندان این امکان را داده است که از منابع کیو برای مطالعات جهانی مانند توزیع گونه‌های گیاهی، ارزیابی‌های زیست‌محیطی و تحقیقات تکاملی استفاده کنند.

هرباریوم موزه ملی تاریخ طبیعی پاریس (P) – فرانسه

هرباریوم موجود در موزه ملی تاریخ طبیعی پاریس (P) بیش از ۸ میلیون نمونه را در خود جای داده است که آن را به یکی از بزرگترین هرباریوم‌ها در جهان تبدیل کرده است. این مجموعه در سال ۱۶۳۵ میلادی تأسیس شد و شامل مجموعه‌هایی به دست آمده از طریق برنامه‌های جمع‌آوری و گیاه‌شناسان مشهوری مانند ژان لامارک و چارلز پلومیر است. هرباریوم موزه ملی تاریخ طبیعی پاریس (P) به ویژه در مجموعه‌های خود از مناطق گرمسیری، از جمله آسیای جنوب شرقی، آفریقا و ماداگاسکار و کارائیب مورد توجه است. این هرباریوم از طریق همکاری با شرکای بین‌المللی برای حفاظت از تنوع زیستی، تجدید نظرهای رده‌بندی، و نظارت بر محیط زیست نقش مهمی در مطالعه تنوع گیاهی ایفا می‌کند. شکل ۶ ساختمان موزه هرباریوم تاریخ طبیعی پاریس (بخش های پیدازادان و نهان‌زادان) را نشان می‌دهد.

شکل ۷- نمای بیرونی ساختمان موزه تاریخ طبیعی پاریس. (عکس از فرخ قهرمانی‌نژاد، ۲۰۲۵).

شکل ۸- نمای خارجی موزه تاریخ طبیعی وین. (عکس از حمید نظری، ۲۰۲۳).

هرباریوم موزه تاریخ طبیعی وین (W) – اتریش

هرباریوم موزه تاریخ طبیعی وین (W) در سال ۱۸۰۷ میلادی تأسیس شد. این هرباریوم به ویژه با داشتن حدود ۲۰۰۰۰۰ نمونه تایپ جایگاه بالایی در میان هرباریوم‌ها دارد. اگرچه یک ششم این مجموعه در طول جنگ جهانی دوم از بین رفت، اما این هرباریوم در بین پنج مجموعه برتر گیاه‌شناسی جهان قرار دارد. برنامه‌های جمع‌آوری بی‌شمار و برنامه‌های مبادله فعال با سایر هرباریوم‌ها، منجر به مجموعه‌ای وسیع و متنوع در بخش گیاه‌شناسی شده است. حتی امروزه نیز سالانه نمونه‌های جدید متعددی جمع‌آوری و مبادله می‌شود. این هرباریوم بخاطر نمونه‌های فلات ایران که در مجموعه فلورا ایرانیکا استناد شده‌اند برای گیاه‌شناسی ایرانی بسیار ارزشمند است. شکل ۷ ساختمان موزه تاریخ طبیعی وین را نشان می‌دهد.

هرباریوم باغ گیاه‌شناسی نیویورک (NY) – ایالات متحده

باغ گیاه‌شناسی نیویورک (NY) که در سال ۱۸۹۱ در برانکس ایالات متحده تأسیس شد، یکی از بزرگترین هرباریوم‌ها در نیمکره غربی است که ۷۸۰۰۰۰۰ نمونه را در خود جای داده است. این هرباریوم به دلیل مجموعه‌های گسترده خود از قاره آمریکا، به ویژه نمونه‌های مناطق گرمسیری مشهور است. پروژه دیجیتالی کردن، تصاویری با وضوح بالا از بیش از ۳ میلیون نمونه فراهم کرده است و آنها را برای محققان از راه دور قابل دسترس کرده است. NYBG بر رده‌بندی، زیست‌شناسی حفاظتی و تحقیقات زیست‌محیطی تمرکز دارد. هرباریوم باغ گیاه‌شناسی نیویورک، مرکزی برای مطالعات در مورد تنوع گل، حفاظت از گونه‌های در معرض خطر، و اثرات تغییرات آب و هوایی بر جمعیت‌های گیاهی است.

هرباریوم

موسسه گیاه‌شناسی کوماروف، لنینگراد (LE) – روسیه

هرباریوم مؤسسه گیاه‌شناسی کوماروف (LE) که در سال ۱۸۲۳ در سن‌پترزبورگ روسیه تأسیس شده است، با بیش از شش میلیون نمونه، بزرگترین هرباریوم در روسیه و یکی از مهم‌ترین هرباریوم‌ها در جهان است. این هرباریوم یک مرجع اصلی منحصر به فرد برای مطالعه فلور روسیه، آسیای مرکزی و قطب شمال است که آن را به مرکزی برای تحقیقات روی گونه‌های مقاوم به سرما و مناطق شمالی تبدیل می‌کند. هرباریوم لنینگراد به خاطر مجموعه‌های تاریخی از سفرهای جمع‌آوری به سیبری و خاور دور روسیه مورد توجه است. مشارکت این هرباریوم در مطالعه جغرافیای گیاهی و جغرافیای زیستی بسیار برجسته است. شکل ۸ نمای ساختمان هرباریوم را نشان می‌دهد.

شکل ۹- هرباریوم لنینگراد در سن‌پترزبورگ: موسسه گیاه شناسی کوماروف. (عکس از عطیه نژاد فلاطوری، ۲۰۱۵).

هرباریوم‌های دانشگاه هاروارد (HUH) – ایالات متحده

مجموعه هرباریوم‌های دانشگاه هاروارد (HUH) در کمبریج، ماساچوست، که در سال ۱۸۴۲ تأسیس شد از شش هرباریوم (AAH, FH, AMES, ECON, A, GH) با مجموع بیش از ۵ میلیون نمونه تشکیل شده است. این مجموعه‌ها به ویژه از نظر نمونه‌های گیاهی مناطق آمریکای شمالی، آمریکای مرکزی و جنوبی و آسیا غنی هستند. هرباریوم‌های هاروارد در آموزش و تحقیق، کمک به رده‌بندی، سیستماتیک، و زیست‌شناسی تکاملی فعال هستند. پروژه دیجیتال‌سازی مداوم هاروارد بسیاری از نمونه‌های آن را در دسترس جامعه علمی جهانی قرار داده است. این امر پروژه‌های تحقیقاتی متعددی را از شناسایی گونه‌های گیاهی گرفته تا مطالعه اثرات تغییر آب و هوا بر جمعیت‌های گیاهی تسهیل کرده است.

وبسایت هرباریوروم[1] (https://sweetgum.nybg.org/science/ih) یک پایگاه داده برخط است که به جمع‌آوری و ذخیره‌سازی اطلاعات مربوط به هرباریوم‌ها در جهان می‌پردازد [۲۹]. امروزه حدود ۳۰۰۰ هرباریوم در سراسر جهان وجود دارد، که در آن‌ها تقریباً ۱۲۰۰۰ نفر از متصدیان (Curators) و متخصصان تنوع زیستی فعالیت می‌کنند. در مجموع، هرباریوم‌های جهان حاوی حدود ۳۵۰ میلیون نمونه هستند که پوشش گیاهی زمین را در طول ۴۰۰ سال گذشته ثبت کرده‌اند. Index Herbariorum راهنمایی برای این منبع حیاتی در علوم تنوع زیستی و حفاظت از آن است. به هر مؤسسه، یک شناسه دائمی و یکتا اختصاص داده می‌شود، به شکل کدی شامل یک تا هشت حرف، که این شیوه از زمان تأسیس Index Herbariorum در سال ۱۹۳۵ برقرار بوده است. این وبسایت به محققان، دانشجویان، و علاقه‌مندان به علم گیاه‌شناسی این امکان را می‌دهد که به راحتی به اطلاعات هرباریوم‌ها و نمونه‌های گیاهی دسترسی پیدا کنند. هرباریوروم به عنوان یک پایگاه داده برای تسهیل دسترسی به هرباریوم‌ها و نمونه‌های گیاهی تأسیس شد. هدف این وبسایت، جمع‌آوری، سازماندهی و میزبانی اطلاعات نمونه‌های گیاهی از هرباریوم‌های مختلف در سراسر جهان است. این پروژه به تدریج رشد کرده و به یکی از منابع مهم برای پژوهش‌های گیاه‌شناسی تبدیل شده است. تعداد هرباریوم‌های ثبت شده و نمونه‌های گیاهی ثبت شده، ممکن است با هر به‌روز رسانی تغییر کند. جدول ۱ غنی‌ترین هرباریوم‌ها از نظر تعداد نمونه موجود را نشان می‌دهد.

هرباریوم‌های ایران

کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی و اقلیم متنوع، از بیابان‌های خشک گرفته تا جنگل های سرسبز، از نظر تنوع گیاهی بسیار غنی است. بر مبنای اطلاعات موجود در وبسایت ایندکس هرباریوروم تا سال ۲۰۱۶، حدود ۸۲۰۰۰۰ نمونه در ۲۵ هرباریوم نمایه‌شده از ایران گزارش شده بود [۳۲]. در حال حاضر (۲۰۲۵) بر اساس ایندکس هرباریوروم [۳۳] تعداد ۵۳

[1] Index Herbariorum - The William & Lynda Steere Herbarium

هرباریوم برای ایران ثبت شده است که بیش از نیمی از آنها هرباریوم‌های دانشگاهی هستند. بر این اساس در هرباریوم‌های ثبت شده ایران مجموعا حدود یک ملیون و صدهزار نمونه گیاهی نگهداری می‌شود.

جدول ۱- غنی‌ترین هرباریوم‌های دنیا از نظر تعداد نمونه [۳۰].

رتبه	نام هرباریوم	اختصار	سال تاسیس	کشور	تعداد نمونه
۱	موزه تاریخ طبیعی ملی، پاریس	P (8M), PC (2M)	۱۶۳۵، ۱۹۰۴	فرانسه	۱۰۰۰۰۰۰۰
۲	باغ گیاه‌شناسی نیویورک	NY	۱۸۹۱	آمریکا	۷۸۰۰۰۰۰
۳	باغ گیاه‌شناسی کیو	K	۱۸۴۱	انگلستان	۷۰۰۰۰۰۰
۴	ناتورالیس، لیدن	L, U, WAG	۱۸۲۹، ۱۸۱۶، ۱۸۹۶	هلند	۶۹۰۰۰۰۰
۵	باغ گیاه‌شناسی میزوری، سنتلوئیس	MO	۱۸۵۹	آمریکا	۶۶۰۰۰۰۰
۶	باغ و کنسرواتوار ژنو	G	۱۸۲۴	سوئیس	۶۶۰۰۰۰۰
۷	مؤسسه گیاه‌شناسی کوماروف، سنت پترزبورگ	LE	۱۸۲۳	روسیه	۶۰۰۰۰۰۰
۸	موزه تاریخ طبیعی وین	W	۱۸۰۷	اتریش	۶۰۰۰۰۰۰
۹	موزه تاریخ طبیعی لندن	BM	۱۷۵۳	انگلستان	۵۲۰۰۰۰۰
۱۰	مؤسسه اسمیتسونین، واشنگتن	US	۱۸۴۸	آمریکا	۵۱۰۰۰۰۰
۱۱	دانشگاه هاروارد	A, AMES, ECON, FH, GH, NEBC	۱۸۶۴	آمریکا	۵۰۰۰۰۰۰
۱۲	دانشگاه فلورانس	FI	۱۸۴۲	ایتالیا	۵۰۰۰۰۰۰
۱۳	موزه تاریخ طبیعی استکهلم	S	۱۷۳۹	سوئد	۴۵۷۰۰۰۰
۱۴	دانشگاه کلود برنارد، ویلهوربن	LY	۱۹۲۴	فرانسه	۴۴۰۰۰۰۰
۱۵	باغ گیاه‌شناسی میزه	BR	۱۸۷۰	بلژیک	۴۰۰۰۰۰۰
۱۶	باغ و موزه گیاه‌شناسی برلین-دالم	B	۱۸۱۵	آلمان	۳۸۰۰۰۰۰
۱۷	دانشگاه مونپلیه	MPU	۱۸۰۹	فرانسه	۳۵۰۰۰۰۰
۱۸	دانشگاه ینا	JE	۱۸۹۶	آلمان	۳۵۰۰۰۰۰
۱۹	دانشگاه هلسینکی	H	۱۷۵۱	فنلاند	۳۵۰۰۰۰۰
۲۰	مجموعه گیاهی مونیخ	M	۱۸۱۳	آلمان	۳۲۰۰۰۰۰
۲۱	موزه تکامل، اوپسالا	UPS	۱۷۵۸	سوئد	۳۱۰۰۰۰۰
۲۲	باغ گیاه‌شناسی ادینبورو	E	۱۶۷۰	اسکاتلند	۳۰۰۰۰۰۰
۲۳	دانشگاه کپنهاگ	C	۱۷۵۹	دانمارک	۲۹۰۰۰۰۰
۲۴	موزه تاریخ طبیعی فیلد، شیکاگو	F	۱۸۹۳	آمریکا	۲۷۰۰۰۰۰
۲۵	مؤسسه گیاه‌شناسی، آکادمی علوم چین	PE	۱۹۲۸	چین	۲۶۵۰۰۰۰

هرباریوم به عنوان یک ابزار آموزشی

هرباریوم‌ها به عنوان منابع آموزشی ارزشمند عمل می‌کنند و فرصت‌های منحصر به فردی را برای یادگیری عملی و تحقیق در علوم گیاهی ارائه می‌دهند. هرباریوم‌ها با فراهم کردن دسترسی به مجموعه‌های گسترده‌ای از نمونه‌های گیاهی نگهداری شده، کمک قابل توجهی به آموزش دانشجویان، محققان و عموم مردم می‌کنند. نقش‌های مختلفی که هرباریوم‌ها در آموزش ایفا می‌کنند شامل ادغام آنها در برنامه‌های درسی رسمی، برنامه‌های توسعه، و ارتقای آگاهی از تنوع زیستی است.

افزایش برنامه درسی در گیاه‌شناسی و علوم گیاهی

هرباریوم‌ها جزء جدایی‌ناپذیر آموزش دانشجویان در رشته‌های گیاه‌شناسی، بوم‌شناسی و علوم محیطی هستند. مؤسسات آموزشی اغلب با هرباریوم‌های محلی همکاری می‌کنند تا برنامه درسی خود را با تجربیات عملی ادغام کنند. دانشجویان می‌توانند با کار مستقیم با نمونه‌های هرباریومی، شناسایی گیاه،

رده‌بندی و اصول بوم‌شناختی را بیاموزند. این تجربه عملی، تفکر انتقادی و مهارت‌های تحلیلی را تقویت می‌کند، زیرا دانشجویان چگونگی مشاهده، دسته‌بندی و مستندسازی تنوع گیاهان را می‌آموزند.

علاوه بر دروس سنتی، هرباریوم‌ها اغلب میزبان کارگاه‌ها، سمینارها و سفرهای میدانی هستند که به دانشجویان امکان می‌دهد با نمونه‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی درگیر شوند. به عنوان مثال، بسیاری از دانشگاه‌ها برنامه‌هایی را طراحی کرده‌اند که در آن دانشجویان در فرایند دیجیتال‌سازی شرکت می‌کنند و مهارت‌های فنی در مدیریت داده‌ها و روش‌های تحقیقات زیستی را فرا می‌گیرند.

توسعه و آموزش جامعه

هرباریوم‌ها همچنین نقش حیاتی در اطلاع‌رسانی جامعه و آموزش عمومی ایفا می‌کنند. بسیاری از مؤسسات در برخی از روزهای هفته، برنامه‌های آموزشی و تورهای راهنما را برای مدارس و جوامع محلی سازماندهی می‌کنند و آگاهی در مورد تنوع گیاهان و مسائل مربوط به حفاظت را افزایش می‌دهند. این برنامه‌ها اغلب شامل فعالیت‌های تعاملی، مانند آماده‌سازی نمونه، شناسایی گیاه و کارگاه‌های آموزشی در مورد فلور محلی است. هرباریوم‌ها با همراه شدن با مخاطبان گوناگون، به درک تنوع زیستی گیاهان و اهمیت حفاظت کمک می‌کند. ابتکارات آموزشی می‌تواند باعث ایجاد علاقه به مشاغل گیاه‌شناسی، بوم‌شناسی و علوم محیطی در بین جوانان شود و نسل بعدی دانشمندان و حافظان محیط زیست را تشویق کند.

فرصت‌های تحقیق و همکاری

هرباریوم‌ها بستری برای همکاری بین مؤسسات آموزشی و پژوهشگران فراهم می‌کنند. با تسهیل مشارکت، هرباریوم‌ها دانشجویان را قادر می‌سازند تا در پروژه‌های تحقیقاتی جاری که به چالش‌های فعلی محیط زیست و حفاظت می‌پردازند، شرکت کنند. چنین همکاری‌هایی اغلب منجر به انتشارات تحقیقاتی، ارائه کنفرانس‌ها و کاربردهای واقعی دانش به‌دست‌آمده از طریق مطالعات هرباریوم‌ها می‌شود. بسیاری از هرباریوم‌ها همچنین برنامه‌های کارآموزی ارائه می‌دهند که به دانشجویان اجازه می‌دهد تا تجربه عملی در نگهداری نمونه، مدیریت داده‌ها و تحقیقات تنوع زیستی کسب کنند. این دوره‌های کارآموزی می‌تواند برای پیشرفت شغلی دانشجویان بسیار مهم باشد و مهارت‌ها و تجربیات لازم برای اشتغال آینده در زمینه‌های علمی و زیست محیطی را در اختیار آنها قرار دهد.

آموزش دیجیتال و منابع برخط

دیجیتالی کردن مجموعه‌های گیاهی نقش آنها را به عنوان ابزار آموزشی بیشتر کرده است. پایگاه‌های اطلاعاتی برخط و زیرساخت‌های هرباریوم مجازی به دانشجویان و مربیان در سراسر جهان اجازه می‌دهند تا به مجموعه‌های وسیعی از نمونه‌های گیاهی از راه دور دسترسی داشته باشند و آن‌ها را کاوش کنند. این منابع دیجیتالی یادگیری و تحقیق مستقل را تسهیل می‌کنند، زیرا کاربران می‌توانند نمونه‌ها را مطالعه کنند، به ابزارهای شناسایی دسترسی داشته باشند و داده‌های زیست‌محیطی را بدون نیاز به بازدید فیزیکی از هرباریوم کشف کنند. علاوه بر این، زیرساخت‌های برخط می‌توانند میزبان مواد آموزشی، مانند طرح‌های درسی، بخش‌های تعاملی، و منابع چندرسانه‌ای باشند که تجربه یادگیری را هم برای دانش‌آموزان و هم برای مربیان افزایش می‌دهد. این تغییرات دیجیتالی منابع گیاهی را به طور گسترده‌تری در دسترس قرار داده است که به مخاطبان وسیع‌تری اجازه دسترسی می‌دهد و به آموزش جهانی تنوع زیستی کمک می‌کند.

ادغام فناوری در آموزش گیاه‌شناسی

پیشرفت‌های فناوری به طور فزاینده‌ای در برنامه‌های آموزشی در هرباریوم‌ها ادغام می‌شوند. ابزارهایی مانند برنامه‌های تلفن همراه برای شناسایی گیاهان، تجربیات واقعی و تورهای واقعیت مجازی مجموعه‌های هرباریوم، راه‌های نوآورانه‌ای را برای تعامل با فراگیران علم گیاه‌شناسی ارائه می‌دهند. این فناوری‌ها تجربه آموزشی را افزایش می‌دهند و علوم گیاهی را برای مخاطبان مختلف قابل دسترس‌تر و جذاب‌تر می‌کنند. به عنوان نمونه، برنامه‌های تعاملی که به کاربران اجازه می‌دهند گیاهان را در هر لحظه شناسایی کنند، می‌توانند به افراد غیر متخصص و علاقمند کمک کنند، بازخورد فوری ارائه دهند و کاوش در گیاهان محلی را تشویق کنند. چنین ابزارهایی همچنین می‌توانند محیط‌های یادگیری مشارکتی را تقویت کنند که در آن دانشجویان و حتی دانش‌آموزان می‌توانند مشاهدات و یافته‌ها را با هم‌گروهی‌ها و مربیان خود به اشتراک بگذارند.

به طور کلی، هرباریوم به عنوان ابزار آموزشی ضروری برای ترویج یادگیری، آگاهی و درک تنوع گیاهی عمل می‌کند. با ادغام تجربیات عملی، گسترش دسترسی جامعه، همکاری تحقیقاتی و منابع دیجیتال، هرباریوم‌ها نقش مهمی در آموزش گیاه‌شناسان، بوم‌شناسان و حامیان محیط‌زیست آینده دارند. با ادامه تکامل و انطباق آنها با پیشرفت‌های فناورانه، هرباریوم به عنوانی ابزاری برای پرورش درک عمیق‌تر از تنوع زیستی و نشان دادن اهمیت تلاش‌های حفاظتی حیاتی عمل خواهد کرد.

چالش‌ها و جهت‌گیری‌های آینده

به عنوان مخازن حیاتی اطلاعات تنوع زیستی، هرباریوم‌ها با چالش‌های متعددی روبرو هستند که اثربخشی و پایداری آنها را تهدید می‌کند. با این حال، با پرداختن به این چالش‌ها و پذیرش راه حل‌های نوآورانه، هرباریوم می‌تواند همچنان نقش مهمی در تحقیقات، آموزش و حفاظت از گیاهان داشته باشد. بخشی از چالش‌های اولیه‌ای که امروزه هرباریوم‌ها با آن مواجه هستند به قرار زیر است.

محدودیت‌های تامین مالی و منابع

یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی که هرباریوم‌ها با آن مواجه هستند تأمین بودجه و منابع کافی است. بسیاری از هرباریوم‌ها با بودجه‌های محدود کار می‌کنند و اغلب به کمک‌های مالی و مردمی برای حمایت از عملیات خود متکی هستند. این بی‌ثباتی مالی می‌تواند مانع از فعالیت‌های ضروری مانند جمع‌آوری نمونه، تحقیق، آموزش کارکنان و برنامه‌های اطلاع‌رسانی عمومی شود. برای پرداختن به این موضوع، هرباریوم‌ها باید منابع مالی متنوعی از جمله همکاری با دانشگاه‌ها، سازمان‌های دولتی و سازمان‌های خصوصی را بررسی کنند. توسعه مشارکت با بخش شرکتی و مشارکت در طرح‌های سرمایه‌گذاری جمعی ممکن است حمایت مالی بیشتری را فراهم کند. علاوه بر این، هرباریوم‌ها می‌توانند دید و مشارکت عمومی خود را از طریق رسانه‌های اجتماعی و رویدادهای اجتماعی و کمک خیرین برای تقویت حمایت و سرمایه‌گذاری افزایش دهند.

دیجیتال‌سازی و مدیریت داده‌ها

دیجیتالی کردن مجموعه‌های گیاهی گامی مهم در جهت افزایش دسترسی و تسهیل تحقیقات است. با این حال، این فرایند چندین چالش از جمله نیاز به تجهیزات تخصصی، افراد یا نیروهای ماهر و سیستم‌های جامع مدیریت داده را به همراه دارد. بسیاری از هرباریوم‌ها به دلیل محدودیت منابع و تخصص، برای همگام شدن با پیشرفت‌های فناوری تلاش می‌کنند. برای غلبه بر این چالش‌ها، هرباریوم‌ها می‌توانند با شرکت‌های فناوری و موسسات دانشگاهی متخصص در دیجیتال‌سازی و مدیریت داده‌ها همکاری کنند. علاوه بر این، اجرای پروتکل‌های استاندارد برای جمع‌آوری و مدیریت داده‌ها می‌تواند فرایند دیجیتال‌سازی را تسهیل و از ثبات در بین مجموعه‌ها اطمینان حاصل کند. آموزش کارکنان و داوطلبان در مهارت‌های دیجیتال نیز برای بالا بردن درصد موفقیت در دیجیتالی کردن ضروری است.

تغییرات اقلیمی و تهدیدات زیست محیطی

تغییرات اقلیمی جهانی چالش مهمی برای هرباریوم‌ها ایجاد می‌کند، زیرا تغییر شرایط محیطی می‌تواند بر توزیع گیاهان، فنولوژی و گوناگونی زیستی تأثیر بگذارد. این غیرقابل پیش‌بینی بودن ممکن است منجر به اختلاف بین مجموعه‌های تاریخی و گیاهان فعلی شود و تحقیقات رده‌بندی و بوم‌شناسی را پیچیده کند. هرباریوم‌ها می‌توانند با تمرکز بر ابتکارات تحقیقاتی که تأثیرات تغییرات اقلیمی بر گونه‌های گیاهی را بررسی می‌کند، این چالش را برطرف کنند. همکاری با بوم‌شناسان و دانشمندان اقلیم می‌تواند بینش‌های ارزشمندی در مورد استراتژی‌های انطباقی برای حفاظت ارائه دهد. علاوه بر این، هرباریوم‌ها باید مجموعه‌ای از نمونه‌ها را از مناطقی که در معرض تغییرات سریع بوم‌شناسی قرار می‌گیرند، برای مستندسازی تغییرات تنوع زیستی و کمک به استراتژی‌های انعطاف‌پذیری اقلیمی در اولویت قرار دهند.

تغییرات ایجاد شده بر اثر فعالیت‌های انسانی

فعالیت‌های انسانی، به ویژه رشد و گسترش سریع شهرها، منجر به تغییرات عمیق در گونه‌های گیاهی و زیستگاه آنها شده است. شهرنشینی معمولاً منجر به تخریب زیستگاه، تکه تکه شدن و تغییر مناظر طبیعی می‌شود که به شدت بر گیاهان محلی تأثیر می‌گذارد. با گسترش شهرها، فضاهای سبز مانند جنگل‌ها، تالاب‌ها و مراتع اغلب با بتن و آسفالت جایگزین می‌شوند و تنوع زیستی را کاهش می‌دهند و تعادل اکولوژیکی

را مختل می‌کنند. در این محیط دگرگون‌شده، گونه‌های گیاهی بومی با رقابت فزاینده‌ای از سوی گونه‌های مهاجم که در زیستگاه‌های آشفته بخوبی رشد می‌کنند، روبرو هستند و بقای آنها هر چه بیشتر تهدید می‌شود. علاوه بر این، آلودگی، تخریب خاک و تغییرات آب و هوایی ناشی از توسعه شهری فشار را بر جوامع گیاهی تشدید می‌کند. با این تفاسیر، هرباریوم‌ها نقش مهمی در حفظ گونه‌های گیاهی و تاریخچه منطقه آنها ایفا می‌کنند. به عنوان نمونه ممکن است یک گونه گیاهی موجود در هرباریوم از منطقه‌ای جمع‌آوری شده باشد که در زمان جمع‌آوری، دست نخورده بوده اما امروزه در پی گسترش شهرها قسمتی از شهر شده باشد. به این ترتیب منطقه زیست گونه ممکن است به طور کلی از بین رفته باشد و تنها اطلاعات موجود در نمونه هرباریومی تاریخ بوم‌شناختی منطقه باشد.

درک و مشارکت عمومی

علی‌رغم اهمیت هرباریوم‌ها، این مجموعه‌ها اغلب با درک و مشارکت عمومی دست و پنجه نرم می‌کنند. بسیاری از مردم از نقش مهم هرباریوم‌ها در تحقیقات و حفاظت از تنوع زیستی بی‌اطلاع هستند. این نبود آگاهی عمومی می‌تواند منجر به محدود بودن حمایت و فرصت‌های مالی جامعه شود. برای بهبود ادراک عمومی، هرباریوم‌ها باید بر تقویت تلاش‌های اطلاع‌رسانی خود تمرکز کنند و بر ارتباط کار خود با مسائل محلی و جهانی مانند تغییرات آب و هوا، حفاظت و امنیت غذایی تاکید کنند. درگیر کردن مردم از طریق برنامه‌های تعاملی، کارگاه‌ها و نمایشگاه‌ها می‌تواند حس مالکیت و غرور در تنوع زیستی محلی را تقویت کند. همچنین، زیرساخت‌های رسانه‌های اجتماعی می‌توانند به‌عنوان ابزار مؤثری برای اطلاع‌رسانی، اشتراک‌گذاری اکتشافات، و ترویج رویدادها جهت جذب مخاطبان گسترده‌تر برای هرباریوم‌ها عمل کنند و همچنین توجه خیرین را نیز به هرباریوم ها جلب کند.

نیازهای آموزشی در حال تحول

چشم‌انداز آموزشی به طور مداوم در حال تغییر است و هرباریوم‌ها باید با نیازهای در حال تغییر دانشجویان، مربیان و جامعه گسترده‌تر سازگار شوند. از آنجا که مؤسسات آموزشی به طور فزاینده‌ای بر رویکردهای بین رشته‌ای و یادگیری دیجیتال تأکید می‌کنند، هرباریوم‌ها باید چگونگی ادغام این عناصر را در برنامه‌های آموزشی خود در نظر بگیرند. هرباریوم‌ها می‌توانند منابع آموزشی نوآورانه‌ای را توسعه دهند که فناوری را در بر می‌گیرد، مانند پایگاه‌های داده برخط، آزمایشگاه‌های مجازی، و پودمان‌های یادگیری تعاملی. همکاری با مربیان و اساتید برای طراحی برنامه‌های همسو با برنامه درسی که به مسائل علمی جاری می‌پردازد نیز می‌تواند ارتباط هرباریوم‌ها را در آموزش افزایش دهد. علاوه بر این، مشارکت با مدارس و دانشگاه‌ها می‌تواند فرصت‌های یادگیری تجربی را ارتقا دهد که دانش‌آموزان و دانشجویان را با چالش‌های تنوع زیستی در دنیای واقعی مرتبط می‌کند.

مسیرهای آینده

هرباریوم‌ها با حرکت رو به جلو، مسیرهای امیدوارکننده‌ای برای رشد و توسعه دارند. تأکید بر همکاری بین مؤسسات، محققان و جوامع می‌تواند تأثیر کار هرباریوم را افزایش دهد. ابتکارات تحقیقاتی مشترک و پایگاه‌های داده مشترک می‌توانند تبادل دانش را تسهیل کرده و مشارکت‌های جهانی را با هدف حفاظت از تنوع زیستی تقویت کنند. علاوه بر این، سرمایه‌گذاری مستمر در زیرساخت‌های دیجیتال، هرباریوم‌ها را قادر می‌سازد تا دسترسی خود را گسترش دهند. با ترویج پروژه‌های علمی شهروندی و مشارکت جوامع محلی در جمع‌آوری نمونه و ورود داده‌ها، هرباریوم‌ها می‌توانند مردم را برای مشارکت در تحقیقات علمی و تلاش‌های حفاظتی توانمند کنند. در نهایت، هرباریوم‌ها باید استراتژی‌های تطبیقی را که به آن‌ها اجازه می‌دهد به طور موثر به چالش‌های محیطی و اجتماعی در حال ظهور پاسخ دهند در اولویت قرار دهند. با پذیرش نوآوری و همکاری، هرباریوم‌ها می‌توانند ارتباط و پایداری خود را در جهانی همیشه در حال تغییر تضمین کنند.

در نتیجه، در حالی که هرباریوم‌ها با چالش‌های متعددی روبرو هستند، فرصت‌های زیادی برای رشد و نوآوری نیز دارند. با پرداختن به محدودیت‌های بودجه، موانع دیجیتال‌سازی، اثرات تغییرات اقلیمی، مشارکت عمومی و نیازهای آموزشی در حال تکامل، هرباریوم‌ها می‌توانند به عنوان منابع حیاتی برای تحقیقات و حفاظت از گیاهان عمل کنند. تاکید بر همکاری و استراتژی‌های انطباقی، هرباریوم‌ها را به ابزار و مرکزی برای آینده‌ای موفق تبدیل می‌کند و آنها را قادر می‌سازد تا به درک ما از تنوع زیستی و پایداری زیست‌محیطی کمک کنند.

امروزه در بسیاری از کشورها بودجه و نیروی کار متخصص به منظور دیجیتال‌سازی و ثبت اطلاعات هرباریوم‌ها به کار گرفته شده است. این تلاش‌ها برای ایجاد یک پایگاه جهانی از اطلاعات موجود است.

شکل ۱۰- نمونه‌هایی از گیاهان موجود در برخی هرباریوم‌ها که ده‌ها سال پیش جمع‌آوری شده‌اند: بالا سمت راست *Stachys abrotanifolia* Boiss. & Heldr. ex Boiss. در هرباریوم دانشگاه وین (WU) که در سال ۱۸۵۷ از یونان جمع‌آوری شده است [۳۵]، بالا سمت چپ *Ficus ingens* (Miq.) Miq. در هرباریوم ژنو (G) که در سال ۱۸۴۱ از اتیوپی جمع‌آوری شده است [۳۶]، پایین سمت راست *Stigmaphyllon dealbatum* (A.Juss.) C.E.Anderson در هرباریوم ژنو (G) که در سال ۱۸۴۱ از فیلیپین جمع‌آوری شده است [۳۶] و پایین سمت چپ *Rosa grupnensis* (Wiesb. ex R.Keller) F.W.Schultz در هرباریوم برلین (B) که در سال ۱۸۸۵ از جمهوری چک جمع‌آوری شده است [۳۷].

هرباریوم آینده، یا به عبارتی متاهرباریوم جهانی، که از ادغام اطلاعات مربوط به تمامی هرباریوم‌های جهان تشکیل خواهد شد، یک منبع مشترک، جهانی، به هم پیوسته دیجیتالی و با دسترسی آزاد خواهد بود که علم در مقیاس بزرگ و جدید را برای پرداختن مستقیم به بحران تنوع زیستی فعلی ما یاری خواهد کرد. شناخت هرباریوم‌ها و نمونه‌های موجود در آنها، حمایت از محققان بین‌رشته‌ای، افزایش تلاش‌های دیجیتال‌سازی در سطح بین‌المللی و گسترش استراتژیک مجموعه‌های گیاهی موجود، به طور قابل توجهی متاهرباریوم جهانی را تقویت و حفظ خواهد کرد [۳۴]. شکل ۱۰، تصویر چند نمونه گیاهی از هرباریوم‌های مختلف را به عنوان مثال نشان می‌دهد که در فرایند دیجیتالی‌سازی، اطلاعات آنها به صورت مجازی در دسترس عموم است.

نتیجه‌گیری

هرباریوم‌ها امروز بسیار فراتر از «مخزن نمونه‌های خشک» عمل می‌کنند؛ آن‌ها زیرساختی علمی برای مستندسازی تنوع زیستی، پشتیبانی از پژوهش‌های رده‌بندی و تکاملی، پایش‌های بوم‌شناختی، آموزش دانشگاهی و حتی تصمیم‌سازی‌های محیط‌زیستی‌اند. هر نمونه هرباریومی، با کارکرد «نمونه شاهد»، رویدادی یکتا در مکان و زمان را ثبت می‌کند و امکان بازبینی مستقل نتایج را فراهم می‌سازد. این پیوستار داده‌ها که گاه قرن‌ها را دربر می‌گیرد، فهم تغییرات پوشش گیاهی، جابه‌جایی پراکنش‌ها و ریسک‌های انقراض را دقیق‌تر می‌کند و شناسایی گونه‌های جدید را تسهیل می‌نماید.

تحول‌های فناورانه دامنه اثر هرباریوم‌ها را جهشی گسترش داده است: دیجیتال‌سازی با تصاویر وضوح‌بالا، بارکدینگ DNA و توالی‌یابی‌های نوین، تصویربرداری سه‌بُعدی و به‌کارگیری یادگیری ماشین در شناسایی و مدل‌سازی توزیع گونه‌ها. همسوسازی این داده‌ها با پایگاه‌های جهانی مانند GBIF و استانداردهای داده قابل‌یافت، قابل‌دسترسی، قابل‌هم‌کنشی و قابل‌استفاده مجدد (FAIR) شبکه‌های پژوهشی را قدرتمند کرده و هزینه دسترسی علمی را کاهش داده است.

در کنار فرصت‌ها، الزامات حقوقی و اخلاقی نیز پررنگ‌تر شده‌اند. پای‌بندی به معاهده تنوع زیستی و پیمان‌نامه ناگویا (دسترسی و مشارکت در منافع)، مقررات CITES برای گونه‌های تحت حفاظت، شفافیت در منشأ و مالکیت داده‌ها، و احترام به حقوق و دانش جوامع بومی و محلی باید در چرخه گردآوری، امانت، استفاده پژوهشی و انتشار داده‌ها رعایت شود. مسئولیت‌پذیری در این حوزه پیش‌شرط اعتماد عمومی و همکاری‌های بین‌المللی پایدار است.

به‌اجمال، هرباریوم‌ها نهادهایی زنده‌اند که گذشته گیاهان را با نیازهای امروز علم و چالش‌های فردا پیوند می‌دهند؛ از سازگاری با تغییر اقلیم و حفاظت از تنوع زیستی تا پشتیبانی از کشاورزی پایدار و سیاست‌گذاری آگاهانه. حفظ، روزآمدسازی و بهره‌برداری مسئولانه از این سرمایه‌های علمی، تضمین‌کننده تداوم نقش آن‌ها در پیشبرد دانش و مدیریت خردمندانه طبیعت برای نسل‌های آینده است.

منابع

[1] D. Bridson and L. Forman, The herbarium handbook. London: Royal Botanic Gardens, Kew, 1998.

[2] S. S. Yadav, "Herbarium: historical account, significance, preparation techniques and management issues," Plant Archives, vol. 20, no. 1, pp. 2915-2926, 2020.

[3] FSTC Research Team. Botany, Herbals and Healing in Islamic Science and Medicine. Retrieved from: http://muslimheritage.com/article/botany-herbals-and-healing

[4] S. P. Scott. History of the Moorish Empire in Europe. Vol.3, p. 515. J. B. Lippincott Company, 1904.

[5] C. C. Davis, "The herbarium of the future," Trends in Ecology & Evolution, vol. 38, no. 5, pp. 412–423, 2023. DOI: 10.1016/j.tree.2022.11.015.

[6] A. López and A. B. Sassone, "The uses of herbaria in botanical research: A review based on evidence from Argentina," Frontiers in Plant Science, vol. 10, p. 1363, 2019. DOI: 10.3389/fpls.2019.01363.

[7] Besnard G., Gaudeul M., Lavergne S., Muller S., Rouhan G., Sukhorukov A.P., Vanderpoorten A., Jabbour F. (2018). Herbarium-based science in the twenty-first century, Botany Letters, 165(3-4): 323-327. DOI: 10.1080/23818107.2018.1482783.

[8] N. J. Turland, J. H. Wiersema, F. R. Barrie, W. Greuter, D. L. Hawksworth, P. S. Herendeen, S. Knapp, W. H. Kusber, D. Z. Li, K. Marhold, T. W. May, J. McNeill, A. M. Monro, J. Prado, M. J. Price, and G. F. Smith, Eds., International Code of Nomenclature for Algae, Fungi, and Plants (Shenzhen Code) adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July

2017. Glashütten: Koeltz Botanical Books, 2018. DOI: 10.12705/Code.2018.

[9] O. P. Chaubey and G. K. Murthy, Education material on herbarium preparation and its management. Dehradun, India: Forest Research Institute, 2014.

[10] I. Eckert, A. Bruneau, D. A. Metsger, S. Joly, T. A. Dickinson, and L. J. Pollock, "Herbarium collections remain essential in the age of community science," Nature Communications, vol. 15, no. 1, p. 7586, 2024. DOI: 10.1038/s41467-024-51899-1.

[11] F. Ghahremaninejad, M. Norouzi, and J. Edmondson, "An improved list of Iranian authors," Taxon, vol. 64, no. 5, pp. 1077–1080, 2015. DOI: 10.12705/645.38.

[12] F. Ghahremaninejad and E. Hoseini, "Herbarium specimen labels: a missed opportunity," Taxon, vol. 65, no. 3, pp. 681–685, 2016. DOI: 10.12705/653.50.

[13] C. Seidler, "'Panda of the Plant World': Berlin Goes Nuts over Rare Palm Fruit," Der Spiegel, ISSN 2195-1349, Dec. 17, 2024.

[14] P. Smith, "The challenge for botanic garden science," Plants, People, Planet, vol. 1, no. 1, pp. 38-43, 2018. DOI: 10.1002/ppp3.10.

[15] L. Bromberg, "Best practices for the conservation and preservation of herbaria," The IJournal: Student Journal of the Faculty of Information, vol. 6, no. 1, pp. 1-13, 2020. DOI: 10.33137/ijournal.v6i1.35263.

[16] G. Besnard, M. Gaudeul, S. Lavergne, S. Muller, G. Rouhan, A. P. Sukhorukov, A. Vanderpoorten, and F. Jabbour, "Herbarium-based science in the twenty-first century," Botany Letters, pp. 323-327, 2018. DOI: 10.1080/23818107.2018.1482783.

[17] P. G. Nevill, "Assessing herbarium material with novel molecular techniques reveals a wealth of new data from old treasure troves," iBOL Barcode Bulletin, vol. 10, no. 1, 2020. DOI: 10.21083/ibol.v10i1.5934.

[18] G. G. Smith, J. P. Roux, P. Raven, and E. Figueiredo, "African herbaria support transformation on the continent," Annals of the Missouri Botanical Garden, vol. 98, no. 2, pp. 272-276, 2011.

[19] M. L. Kuzmina, T. W. A. Braukmann, A. J. Fazekas, S. W. Graham, S. L. Dewaard, A. Rodrigues, et al., "Using herbarium-derived DNAs to assemble a large-scale DNA barcode library for the vascular plants of Canada," Appl. Plant Sci., vol. 5, no. 12, 2017. DOI: 10.3732/apps.1700079.

[20] E. J. Tepe and L. Bohs, "A molecular phylogeny of Solanum sect. Pteroidea (Solanaceae) and the utility of COSII markers in resolving relationships among closely related species," Taxon, vol. 59, no. 3, pp. 733-743, 2010.

[21] A. Guisan and W. Thuiller, "Predicting species distribution: offering more than simple habitat models," Ecology Letters, vol. 8, no. 9, pp. 993-1009, 2005.

[22] J. Carranza-Rojas, H. Goeau, P. Bonnet, E. Mata-Montero, and A. Joly, "Going deeper in the automated identification of herbarium specimens," BMC Evol. Biol., vol. 17, no. 1, p. 181, 2017. DOI: 10.1186/s12862-017-1014-z.

[23] R. Streczynski, H. Clark, L. M. Whelehan, S. T. Ang, L. K. Hardstaff, B. Funnekotter, et al., "Current issues in plant cryopreservation and importance for ex situ conservation of threatened Australian native species," Australian Journal of Botany, vol. 67, no. 1, pp. 1-15, 2019.

[24] M. L. Florian, Heritage Eaters: Insects and fungi in heritage collections. London: James & James, 1997.

[25] E. Haston, R. Cubey, M. Pullan, H. Atkins, and D. J. Harris, "Developing integrated workflows for the digitisation of herbarium specimens using a modular and scalable approach," Zookeys, vol. 209, pp. 93-102, 2012. DOI: 10.3897/zookeys.209.3121.

[26] N. R. Crouch and G. F. Smith, "Informing and influencing the interface between biodiversity science and biodiversity policy in South Africa," Botanical Journal of the Linnean Society, vol. 166, no. 3, pp. 301–309, 2011. DOI: 10.1111/j.1095-8339.2011.01153.x.

[27] S. Laird and R. Wynberg, A fact finding and scoping study on digital sequence information on genetic resources in the context of the convention on biological diversity and Nagoya Protocol. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2018.

[28] W. Wijnstekers, "The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES) - 35 years of global efforts to ensure that international trade in wild animals and plants is legal and sustainable," Forensic Sci. Rev., vol. 23, no. 1, pp. 1-8, 2011.

[29] L. A. Prather, O. Alvarez-Fuentes, M. H. Mayfield, and C. J. Ferguson, The decline of plant collecting in the United States: a threat to the infrastructure of biodiversity studies, 2004.

[30] M. G. Simpson, Plant Systematics, 3rd ed. Cambridge, MA: Academic Press, 2019, p. 658.

[31] D. S. Park, X. Feng, S. Akiyama, M. Ardiyani, N. Avendaño, Z. Barina, et al., "The colonial legacy of herbaria," Nat. Hum. Behav., vol. 7, no. 7, pp. 1059-1068, 2023. DOI: 10.1038/s41562-023-01616-7.

[32] F. Ghahremaninejad, S. Shirzadian, and S. Fereidounfar, "An updated list of the bryological literature on Iran," Ann. Naturhist. Mus. Wien, vol. 118, pp. 181-188, 2016.

[33] The New York Botanical Garden. (n.d.). "Index Herbariorum". Retrieved March 29, 2025, from http://sciweb.nybg.org/science2/IndexHerbariorum.asp

[34] Davis CC. (2023). The herbarium of the future. Trends Ecol Evol. 38(5):412-423. DOI: 10.1016/j.tree.2022.11.015.

[35] https://wu.jacq.org/WU0073726

[36] Catalogue des herbiers de Genève (CHG). Conservatoire & Jardin botaniques de la Ville de Genève. 27-08-2025<https://www.collections.geneve.ch/cjbg/chg>

[37] http://herbarium.bgbm.org/object/B100704762

Herbarium: A green memory of Earth's biodiversity

Ghahremaninejad F.[1], Nazari H.[2], Khajehpiri M.[3] and Hosseini E.[1]

[1] Dept. of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran, I.R. of Iran

[2] Dept. of Biology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, I.R. of Iran.

[3] Dept. of Plant and Animal Biology, University of Isfahan, Isfahan, I.R. of Iran.

Abstract

Herbaria are collections of dried and well-documented plant specimens that play a fundamental role in botany, biodiversity conservation, education, and environmental studies. These institutions have evolved since the Renaissance and are now recognized worldwide as data-driven and research-oriented centers. The present article examines the history, terminology, types of herbaria, methods of collection and preservation, digitization processes, as well as their educational, research, and legal applications. Furthermore, it highlights the role of modern technologies such as DNA sequencing, machine learning, and 3D imaging in expanding the capabilities of herbaria. This study emphasizes that herbaria are not merely repositories of plant specimens, but dynamic tools for addressing the major challenges of the twenty-first century, including climate change, biodiversity loss, and sustainable management of plant resources.

Keywords: Herbarium, Biodiversity, Botany, Digitization, DNA Sequencing, Climate Change