



## اپیدمی بیماری‌های نوظهور در اکوسیستم‌های جنگلی ملزومات و چالش‌های مقابله با آن‌ها

سیده معصومه زمانی<sup>۱\*</sup>، منصوره میرابوالفتحی<sup>۲</sup>، علی عزیزاده علی‌آبادی<sup>۳</sup>

### وقوع فزاینده بیماری‌های نوظهور در اکوسیستم‌های جنگلی

در دهه‌های اخیر، رویشگاه‌های جنگلی، به‌خصوص در مناطق زاگرس، همچون برخی دیگر از مناطق جنگلی دنیا، با خطرات متعددی از جمله خشک‌سالی، آتش‌سوزی، تغییر کاربری، قطع درختان، چرای بیش از اندازه دام و به‌ویژه حمله آفات و بیماری‌های گیاهی روبه‌رو بوده‌اند. مجموع این عوامل، در نهایت موجب کاهش سطح رویشگاه‌ها، کم شدن درصد پوشش تاجی و تراکم پایه‌های گیاهی در آنها، کاهش، یا نبود زادآوری در پوشش‌های گیاهی مهم، کهن‌سالی و پیرشدن توده‌های جنگلی، وقوع سیلاب، گرم شدن هوا و از بین رفتن برخی از گونه‌های کمیاب گیاهی و جانوری موجود در این عرصه‌ها، فرسایش خاک، کاهش ذخیره نزولات جوی و افت سطح ذخیره آب‌های زیرزمینی شده است.

موجودات بیماری‌زا در جنگل‌های طبیعی (یعنی جنگل‌هایی که به‌طور طبیعی تولیدمثل کرده‌اند و از گونه‌های درختی به‌طور طبیعی مهاجر یا بومی تشکیل شده‌اند)، از اجزای کلیدی اکوسیستم هستند که نقش مهمی را در تنظیم تنوع و توزیع گونه‌های گیاهی ایفا می‌کنند، اما وقوع بیماری‌های نوظهور در

اکوسیستم‌های جنگلی دنیا و به‌موازات آن ایران، در طول قرن گذشته، به‌سرعت رو به افزایش است.

نمونه‌هایی از این بیماری‌های ویرانگر در دهه‌های پیش، سوختگی شاه‌بلوط (*Cryphonectria parasitica*) به‌عنوان مهم‌ترین بیماری درختان شاه‌بلوط در استان گیلان و بیماری مرگ هلندی نارون (*Ophiostoma ulmi* and *O. novo-ulmi*)، که در اثر آن درختان نارون مناطق جنگلی کشور نظیر گلستان، مازندران، گیلان و ارسباران در دهه‌های پیش دچار زوال شدیدی شدند، بوده است.

در دهه اخیر، بیماری زغالی بلوط (*Biscogniauxia mediter-*

*raea*)، به‌عنوان یک تهدید جدی برای جنگل‌های بلوط در ایران (میرابوالفتحی، ۱۳۹۴؛ Mirabolfathy، ۱۳۹۲؛ *et al.*, 2011) مطرح شد (شکل ۱)، بیماری بلایت شمشاد خزری (*Calonec-teria pseudonavic-ulata*) نیز، سطح وسیعی از رویشگاه‌های شمشاد جنگلی را در استان‌های شمالی (Mirabolfathy، *et al.*, 2013b) تخریب کرد (شکل ۲). همچنین، وقوع فزاینده بیماری شانکر سیتوسپورایی یا فتیله نارنجی (*Cyto-spora spp*)، در کنار درختان متمر در سال‌های اخیر سبب ایجاد شانکر



شکل ۱- وقوع بیماری زغالی بلوط (*Biscogniauxia mediterranea*) در جنگل‌های بلوط در غرب کشور

\* نویسنده مسئول، استادیار پژوهش بخش تحقیقات حفاظت و حمایت، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران، پست الکترونیک: mzamani@rifr-ac.ir

۲- استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
۳- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران



شکل ۲- وقوع بیماری بلایت شمشاد خزری (*Calonecteria pseudonaviculata*) در رویشگاه‌های شمشاد در شمال کشور



شکل ۳- نمونه‌هایی از آسیب درختان بلوط در پارک قرق استان گلستان که بیشتر توسط مزاحمت‌ها و دخالت‌های بی‌رویه و غیرعالمانه انسانی پیش آمده است. (۱): خاک سله بسته، (۲): کوبیدگی شدید خاک پای درختان پارک، (۳): قطع شاخه‌های درختان، (۴): ایجاد زخم در گیاهان توسط گردشگران، (۵): ایجاد شعله‌های آتش در پای همه درختان موجود در منطقه توسط گردشگران، (۶): ساخت‌وسازهای بی‌دری و ایجاد موزه‌های گردشگری توسط سازمان میراث فرهنگی و درنهایت تضعیف درختان در منطقه، (۷): هجوم آفات چوب‌خوار و (۸): حمله چندین نوع قارچ عامل بیماری شانکر از جمله شانکر زغالی بلوط به درختان بلوط پارک

(به صورت زخم و شکاف) روی درختان جنگلی مانند راش، مرز، آزاد و غیره شد.

بر اساس نظرات پژوهشگران این حوزه، برخی از دلایل افزایش وقوع بیماری‌های نوظهور در دنیا، افزایش دخالت‌ها و آشفته‌گی‌ها توسط انسان برای اکوسیستم‌های جنگلی، مانند مدیریت نادرست جنگل‌ها و تغییرات کاربری زمین، همچنین افزایش کاشت مونوکالچرها یا تک‌کشت‌های جنگلی و نیز کاشت گونه‌های گیاهی غیربومی است که به آسیب‌پذیر شدن رویشگاه‌های جنگلی دامن می‌زند.

در شکل ۳، نمونه‌هایی از خسارت بیماری زغالی بلوط روی درختان پارک قرق در استان گلستان که بیشتر توسط دخالت‌های غیرعالمانه انسانی پیش آمده، ارائه شده است.

همچنین، تشدید تجارت بین‌المللی مواد و محصولات گیاهی، ورود گونه‌های نوظهور به مناطق جدید را تسهیل کرده است. به طور مثال، چوب و بخصوص پوست رویی آن مأمّن و مأوی بسیاری از بیمارگرها و آفات خطرناک است (علیزاده علی‌آبادی، ۱۳۸۸)؛ از اینرو، تجارت و واردات کنده‌های درخت برای صنایع چوب کشورها، همواره یکی از مسیرهای شناخته‌شده و مهم برای انتشار عوامل بیماری‌زای جنگلی در دنیا بوده است. به طوری‌که پاتوزن مرگ هلندی نارون (Dutch Elm Disease) با نام علمی *Ophiostoma ulmi* Brasier and Kirk، از طریق کنده‌های درخت نارون بیمار، از اروپا به آمریکای شمالی وارد شده است (۲۰۱۰).

بنابراین جابه‌جایی چوب آلات از یک کشور به کشور دیگر بدون رعایت ضوابط قرنطینه‌ای می‌تواند خطرات بهداشتی بزرگی را برای جنگل‌ها و در مواردی باغ‌ها و درختان غیرمثمر کشور واردکننده بوجود آورد. مطالعات و گزارشات متعدد برخی از کشورها در مورد گونه‌های مختلف آفات و بیماری‌های بیگانه در عرصه‌های مختلف، بخصوص جنگل‌ها و قراردادن برخی از آن‌ها در فهرست آفاتی که می‌توانند حتی به عنوان سلاح بیولوژیک مورد استفاده قرار گیرند، نشان‌دهنده اهمیت این موضوع می‌باشد (علیزاده علی‌آبادی، ۱۳۸۲).

همچنین دادوستد نهال‌ها (یا سایر بخش‌های گیاهی مانند بذر، غده و قلمه) در نهالستان‌ها، به‌ویژه در مورد گیاهان زینتی، از دیگر عوامل جابه‌جایی بیمارگرهای گیاهی است. گزارش شده است بیمارگر *Phytophthora ramorum*، که باعث بیماری مرگ ناگهانی بلوط [Sudden oak death (SOD)] می‌شود و متأسفانه علاوه بر بلوط‌ها، دامنه میزبانی وسیعی روی سایر گیاهان مانند راش، زبان‌گنجشک، سرخدار و غیره دارد، از طریق واردات گیاهان زینتی از اروپا، وارد شده و از طریق تجارت گیاهان نهالستانی در سراسر ایالات متحده گسترش یافته است (Koch and Smith, 2007).

یکی دیگر از علل بیماری‌های نوپدید، تغییرات آب‌وهواست. شرایط آب‌وهوایی، مانند دما و بارندگی، می‌تواند به شدت بر فعالیت

پاتوزن‌های جنگلی و شدت بیماری ناشی از آنها تأثیر بگذارد. به‌عنوان مثال، گزارش شده است اپیدمی بلایت *Dothistroma septosporum* مرتبط با تغییرات آب‌وهوایی، به صورت افزایش محلی در بارندگی‌های تابستانه است (Woods et al., 2005). همچنین گزارش شده است، وقوع اپیدمی *Gremmeniella abietina* با میانگین دمای پایین و بارندگی زیاد در طول فصل رشد و وجود توده‌های متراکم، میزبان گیاهی ۳۰ تا ۴۰ ساله مرتبط است (Thomsen, 2009). علائم بیماری بلایت دیپلودیایی (*Diplodia cupressi*) روی گیاهان سرو زربین که به تازگی در ایران نیز رو به افزایش است، زمانی نمایان می‌شود که درختان تحت تغییرات آب‌وهوایی ضعیف شده باشند که معمولاً مربوط به افزایش میانگین دمای سالیانه هواست. این بیماری، به‌ویژه در فصول گرم و با افزایش باران شیوع می‌یابد (شکل ۴).

بر همین اساس، پیش‌بینی می‌شود تغییرات اقلیمی پیش‌رو در آینده می‌تواند با تغییر تعادل بین میزبان، پاتوزن و شرایط محیطی (مثلاً بیماری)، بر توسعه پاتوزن‌های فعلی جنگل تأثیر بگذارد. یعنی تغییرات تدریجی یا شدید آب‌وهوا مانند خشک‌سالی، امواج گرما، تگرگ، سیل و یخ‌بندان، ممکن است برهم‌کنش‌های میزبان و پاتوزن را تغییر دهد و در نتیجه سبب ایجاد بیماری‌های ناشی از پاتوزن‌های بومی یا غیربومی یا حتی ارگانسیم‌های بی‌ضرر شود، مانند قارچ اندوفیت *Biscogniauxia mediterranea*



شکل ۴- وقوع بیماری بلایت دیپلودیایی (*Diplodia cupressi*) روی گیاهان سرو زربین در شمال کشور



(میرابوالفتحی، ۱۳۹۴) و Mira-) *Obolarina persica* (bolfathy et al., 2013a) که در درختان تحت استرس، بیماری‌زا می‌شود و بیماری شانکر زغالی را در میزبان ایجاد می‌کند. از سوی دیگر، تغییر شرایط آب‌وهوایی، می‌تواند از طریق حذف محدودکننده‌های زیستی (عوامل بیوکنترل) و غیرزیستی که پیش‌ازاین برای توزیع جغرافیایی قارچ‌های بیماری‌زا محدودیت ایجاد می‌کردند، معرفی بیماری‌های جدید را افزایش دهد.

### اثرات اقتصادی زیان‌بار بیماری‌های درختان جنگلی

بخش جنگل‌داری، محصولاتی مانند مصالح ساختمانی، کاغذ و انرژی زیستی، همچنین تفرجگاه‌ها را در اختیار جامعه قرار می‌دهد. ازجمله اثرات اقتصادی زیان‌بار بیماری‌های درختان جنگلی، می‌توان به از دست دادن ارزش محصولات جنگلی، تحمیل هزینه حذف درختان خشک‌شده و در حال مرگ و نیز هزینه عملیات کنترل برای محدود کردن یا کاهش بیماری اشاره نمود. به‌عنوان مثال، برآورد شده است، قارچ *Heteroba sidion annosum* که باعث پوسیدگی ریشه سوزنی‌برگان می‌شود، سالانه ۷۹۰ میلیون یورو به بخش جنگل‌داری اروپا (Hodges, 1998) و ۲/۱ میلیارد دلار به ایالات متحده، زیان اقتصادی وارد نموده است (Pimentel et al., 2000).

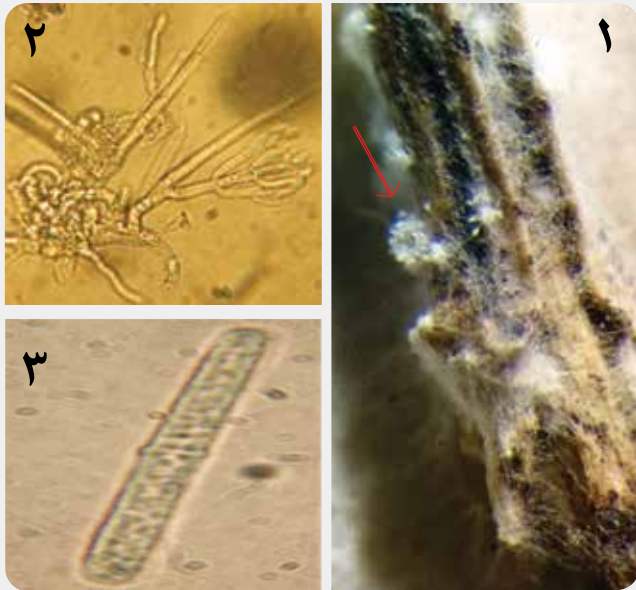
بیماری‌های جنگلی همچنین می‌توانند درختان مناطق قرق و حفاظت‌شده و نیز درختان مناطق شهری را تحت تأثیر قرار دهند. به‌این ترتیب، آنها می‌توانند اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی شدیدی بر جامعه داشته باشند و بیماری‌های جنگلی را به تهدیدی برای منافع عمومی تبدیل کنند. در حال حاضر، به دلیل بیماری‌های قارچی، جمعیت چندین گونه درختی در جنگل‌های دنیا به‌طور چشمگیری کاهش یافته است و به‌عنوان گونه‌های آسیب‌پذیر در لیست قرمز قرار گرفته‌اند، مانند جمعیت زبان‌گنجشک (*Fraxinus excelsior*) و نارون (هر سه گونه *U. laevis* و *Ulmus glabra*, *U. minor*) در برخی کشورهای اروپایی. در این وضعیت، نه تنها خود گونه‌های درختی، بلکه حیات مجموعه‌ای از موجودات مرتبط با زبان‌گنجشک و نارون، مانند گل‌سنگ‌های مختلف، قارچ‌ها، حشرات و گیاهان نیز در معرض تهدید قرار می‌گیرند. به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای، ارتباط کاهش تنوع گل‌سنگ‌ها و قرار گرفتن برخی از آنها با گونه‌های درختی در معرض آسیب در لیست قرمز مشخص شده است (Thor et al., 2010). در ایران، کاهش تنوع قارچ‌های مفید اکتومیکوریز در توده‌های جنگلی دچار زوال بلوط گزارش شده است (زمانی، ۱۴۰۲). پاتوژن‌هایی که گونه‌های درختی دارای نقش‌های مهم اکولوژیکی را آلوده می‌کنند، می‌توانند به‌طور بالقوه تعادل را در کل اکوسیستم تغییر دهند، این مسئله، منجر به آسیب‌های اکولوژیکی بیشتر مانند تأثیر بر چرخه‌های کربن و نیتروژن می‌شود. در مجموع، بیماری‌های نوظهور، می‌توانند با ایجاد تغییر در فرایندهای ترسیب

کربن و سینک‌های کربن، بر چرخه کلان کربن تأثیر بگذارند. به‌طورمثال، نتایج تحقیق ایرانمنش و همکاران (۱۴۰۰)، حاکی از کاهش چشمگیر زی‌توده و اندوخته کربن روی زمینی و خاک در توده‌های جنگلی دچار زوال بلوط است که در بلندمدت، خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به اکوسیستم جنگلی غرب کشور وارد خواهد کرد. از اینرو گفته می‌شود کنترل بیماری‌های نوظهور به خودی خود هدف مدیریت نیست، بلکه مرحله‌ای برای دستیابی به اهداف بالاتر مانند حفظ تنوع زیستی، حفاظت از سلامت انسان و جلوگیری از ضررهای اقتصادی است. عناصر این اهداف می‌توانند شامل ترمیم و احیای زیستگاه، ورود دوباره گونه‌های بومی، حفاظت از اکوسیستم‌های به نسبت سالم و کمتر تخریب شده باشد که سرعت و زمان جانشینی طبیعی را امکان‌پذیر و استفاده پایدار از خدمات اکوسیستم را برای مردم محلی فراهم می‌کند (علیزاده علی‌آبادی، ۱۴۰۰). برای رسیدن به این مهم لازم است پس از ردیابی یک بیمارگر نوظهور، مفاهیمی مانند ماهیت و ذات بیمارگر و تنوع جمعیت‌های آن، مسیرهای مهم برای ورود بیمارگر و حرکت آن و چگونگی گسترش بیماری ایجادشده، توسط گروه پژوهشگران تعریف شود و پس از آن با درک مفاهیم یادشده، واکنش‌های اختصاصی در برابر هر بیمارگر مانند قرنطینه، ریشه‌کنی یا اقدامات کاهش‌ی اتخاذ شود.

### مفاهیم بیولوژیکی مهم در بیماری‌شناسی جنگل (الف) پیش‌بینی اپیدمی پاتوژن‌های مهاجم و نوظهور

توانایی ما در پیش‌بینی گونه‌هایی که احتمال بیشتری را برای مهاجم شدن یا تبدیل شدن به عامل بیماری‌های نوظهور دارند، اتخاذ روش‌های پیشگیری را تا حد زیادی تسهیل می‌کند. بعد از طغیان بیماری، تحلیل دلایل موفقیت گونه مهاجم غالباً امکان‌پذیر است، اما زمانی که سعی داریم پیش‌بینی کنیم، کدام گونه در آینده احتمال استقرار و گسترش بیشتری خواهد داشت، پیچیدگی‌هایی به وجود می‌آید. از این‌رو، متأسفانه تلاش برای پیش‌بینی اینکه کدام گونه در آینده براساس سازگاری با شرایط آب‌وهوایی و محدوده جغرافیایی مهاجم می‌شود، اغلب رضایت‌بخش نیست. همواره پیچیدگی فرایندهایی که منجر به یک بیماری نوظهور یا مهاجم می‌شود، پیش‌بینی اپیدمی‌ها را با مشکل مواجه می‌کند. به‌طورکلی، روند و فرایند هجوم بیماری را می‌توان در سه مرحله خلاصه کرد:

- ۱) معرفی بیمارگر به یک زیستگاه جدید،
  - ۲) کلونیزاسیون اولیه و استقرار موفقیت‌آمیز بیمارگر در این زیستگاه
  - و ۳) به‌دنبال آن، پراکندگی بعدی و گسترش ثانویه بیمارگر به زیستگاه‌های دیگر.
- جابه‌جایی میزبان، همواره به‌عنوان عامل اصلی انتقال پاتوژن‌های جدید و ایجاد بیماری مربوطه شناخته می‌شود و درمورد پاتوژن‌های گیاهی، اغلب این جابه‌جایی توسط انسان انجام می‌شود. فعالیت‌های بشری همچنین می‌توانند ورود و کلونیزاسیون



شکل ۵- اندام‌های زادآوری و اسپورهای قارچ عامل بلایت شمشاد  
 (۱) Sporodochium (۲) Conidiophore و Conidiogenous cells  
 (۳) Conidia

در گیاهان مهاجم گزارش شده است. پاتوژن‌های قارچی نیز با مکانیسم‌های تهاجمی جدید، می‌توانند منابعی را که معمولاً برای دفاع یا رقابت استفاده می‌شود به تولیدمثل اختصاص دهند و این مسئله، گسترش آنها را افزایش می‌دهد.

رشته‌های بیماری‌شناسی گیاهی جنگل فرض می‌کنند که پاتوژن‌ها با میزبان خود تحت شرایط محیطی خاص تکامل هم‌زمان یافته‌اند و این مسئله، منجر به تعادل بین میزبان، عامل بیماری‌زا و محیط می‌شود. هنگامی که یک پاتوژن با مکانیسم‌های تهاجمی جدید با میزبانی که سیستم دفاعی مناسبی ندارد در تعامل باشد، سطح بیماری شدیدتر از آن چیزی است که از یک سیستم بیماری‌زایی (پاتوسیستم) بومی انتظار می‌رود. علاوه بر این، پاتوژن‌هایی که به یک محیط جدید حمله می‌کنند، بیشتر فشار رقابتی کمتری را از سوی عوامل بیوکنترول بومی متحمل می‌شوند و این به پاتوژن‌های معرفی شده اجازه می‌دهد تا با سهولت بیشتری به حداکثر توان بیماری‌زایی خود برسند.

در خصوص پیش‌بینی احتمال حمله به یک اکوسیستم نیز پیچیدگی‌های متعددی وجود دارد. به‌طورمثال، مدل‌های نظری نشان می‌دهند ورود یک پاتوژن به یک جامعه جدید، زمانی که این جامعه تنوع گونه‌ای بالاتری داشته باشد، کمتر محتمل است و نرخ آلودگی بالا اغلب زمانی مشاهده می‌شود که گونه‌های درختی در تک‌کشت‌های انبوه متراکم چه در محیط بومی خود و چه به‌عنوان غیربومی کاشته می‌شوند. البته باید توجه داشت، وقتی پاتوژن‌ها، قدرت رقابت بالاتری دارند یا از منابع مختلف گونه‌های بومی استفاده می‌کنند، تأثیر تنوع ضعیف‌تر می‌شود.

متأسفانه، درک محرک‌های ظهور عوامل بیماری‌زا در گذشته و حال ممکن است، توانایی ما را برای پیش‌بینی اپیدمی بیماری‌ها در

را تسهیل کنند. به‌عنوان مثال، ایجاد اختلال و آشفته‌گی در جوامع بومی منجر به افزایش فرصت‌های زیستگاهی برای ظهور برخی عوامل بیماری‌زا می‌شود.

درحالی‌که ورود به یک زیستگاه جدید به‌طور مشخص نتیجه مستقیم یا غیرمستقیم فعالیت‌های انسانی است، اما استقرار نهایی بیمارگر ناشی از روابط پیچیده‌تر و منحصربه‌فردتری برای هر یک از عوامل بیماری‌زاست. به‌عنوان مثال، پس از استقرار در یک منطقه جدید، پتانسیل انتقال پاتوژن درون جمعیت میزبان، میزان اپیدمی را تعیین می‌کند.

در تنوری، یک ارتباط غیرخطی بین انتقال و اندازه اپیدمی وجود دارد. تغییرات کوچک در پتانسیل انتقال می‌توانند منجر به تفاوت‌های بزرگ در پویایی اپیدمی شوند. تغییرات در پتانسیل انتقال، می‌توانند به دلایل مختلفی از جمله تغییرات در اکولوژی میزبان و شرایط محیطی پیرامون آن، تغییر در توزیع میزبان، تغییرات در فنوتیپ میزبان، تغییرات در ژنتیک میزبان و تغییرات در ژنتیک پاتوژن رخ دهند.

داشتن یک سیستم پراکنش کارآمد، مانند انتشار اسپورها از طریق باد یا آب، یک ویژگی مشترک در میان بیشتر گونه‌های مهاجم است. این واقعیت که کل جمعیت درختان از جنس‌های ارزشمند مانند شاه‌بلوط، نارون، شب‌خسب و شمشاد، به‌سرعت در مناطق وسیعی از رویشگاه‌های جنگلی در دهه‌های گذشته آلوده شدند، اهمیت توانایی انتشار پاتوژن‌ها را در طغیان بیماری نشان می‌دهد. دلیل پیشرفت بسیار سریع بیماری بلایت شمشاد از غرب به شرق جنگل‌های هیرکانی، چرخه‌های کوتاه و سریع توسعه اسپور بیمارگر بود (میرابولفتی، ۱۳۹۴؛ Mirabolfathy, 2013b; *et al.*, 2011). در شکل ۵، تصاویری از اندام‌های زادآوری و اسپورهای قارچ عامل بلایت شمشاد آمده است.

علاوه بر توانایی پراکندگی و انتشار یک پاتوژن، ناقل‌ها نیز می‌توانند نقش مهمی در ظهور بیماری‌های گیاهی داشته باشند. به‌عنوان مثال، عامل بیماری پوست درخت راش (*beach bark disease*), با نام علمی *Neonectria spp.* توانایی کمی برای انتشار دارد و تنها به درخت مستقر شده آسیب وارد می‌کند، اما از طریق انتقال توسط حشره بومی شپشک پنبه‌ای راش (*Cryptococcus fagisuga*) مهاجم می‌شوند. به‌طور مشابه، درمورد بیماری مرگ هلندی نارون، سطح آسیب به‌شدت به فعالیت سوسک‌های پوست‌خوار ناقل بستگی دارد. سوسک‌های پوست‌خوار از طریق حمل اسپور *Ophiostoma novo-ulmi* به درختان نارون جدید، باعث بروز بیماری و در نهایت مرگ و میر درختان می‌شوند. همچنین این سوسک‌ها سوبسترای مناسبی برای پرورش بیشتر ایجاد می‌کنند و به این ترتیب، سرعت اپیدمی را افزایش می‌دهند.

همچنین، داشتن توان رقابتی بالاتر به دلیل مجهز شدن به مکانیسم‌های تهاجمی جدید، یک مفهوم علمی دیگر برای توضیح چگونگی مهاجم شدن یک پاتوژن گیاهی است. همانند آنچه

آینده افزایش ندهد، زیرا ممکن است، مؤلفه‌های مؤثر جدید ظهور کنند، یا تأثیرگذاری آنها افزایش یابد. تاکنون، ورود و معرفی اغلب عوامل بیماری‌زای نوظهور نتیجه فعالیت‌های انسانی بوده است. درحالی‌که پیش‌بینی می‌شود محرک‌های آینده بیماری‌های گیاهی نوظهور، معرفی پاتوژن‌های جدید (احتمالاً هیبریدهای جدید)، تغییرات آب‌وهوایی و تشدید مدیریت‌های نادرست هستند.

### ب) مسیرهای انتشار پاتوژن

فراوانی ناچیز انتشار اسپور در فواصل طولانی، خطر سرایت‌های بین قاره‌ای از این طریق را به حداقل می‌رساند. در عوض، بیشتر بیماری‌های جدید با گیاهان آلوده یا مواد گیاهی که برای کاشت یا بسته‌بندی به آن سوی مرزها منتقل شده‌اند، مرتبط هستند. برای مثال، رایج‌ترین مسیر برای پاتوژن‌های گیاهی که به بریتانیا معرفی شده، واردات انواع بافت‌های رویشی گیاهان مانند نهال، غده و پیوندک بوده است (Lane and Kirk, 2023). بذرها نیز می‌توانند عوامل بیماری‌زا را منتقل کنند. تصور می‌شود، شیوع شانکر درختان کاج (ناشی از *Fusarium circinatum*) در آفریقای جنوبی، نتیجه واردات بذرها آلوده از مکزیک بوده است (Wikler and Gordon, 2000).

از آنجایی‌که نهالستان‌ها در رأس مراکز تجارت مواد گیاهی هستند، مسیرهای انتشار هر گونه گیاه بیمار را فراهم می‌سازند. نهالستان‌ها نه تنها منبع مستمر واردات گیاهی هستند، بلکه می‌توانند مکان ایدئالی برای ایجاد گونه‌های جدیدی از پاتوژن‌ها باشند، به طوری که گونه‌های جدیدی از پاتوژن‌ها می‌توانند در نتیجه هیبریداسیون بین اجداد نزدیک به هم در نهالستان‌ها ایجاد شوند. آنچه مسلم است، نهالستان‌ها، مکانی را برای تجمع پاتوژن‌های میزبان‌های مختلف در یک مکان مشترک فراهم می‌کنند. اگر هیبریداسیون بین گونه‌ها اتفاق بیافتد، منجر به ایجاد الگوهای بیماری‌زایی جدید می‌شود، در این صورت، نهالستان‌های درختی می‌توانند تعداد زیادی از گونه‌های میزبان بالقوه جدید را مهیا سازند. همچنین، از آنجایی‌که نهالستان‌ها مکانی برای ملاقات پاتوژن‌ها از میزبان‌های مختلف در یک مکان مشترک را مهیا می‌کنند، این مسئله می‌تواند جابه‌جایی‌های میزبانی را که منجر به ایجاد بیماری‌های جدید می‌شود، امکان‌پذیر کند.

از آنجایی‌که علائم بیماری‌های جدید معمولاً به‌خوبی توصیف نمی‌شوند، یا مراحل نهان (دوره کمون) بیماری ممکن است شناسایی نشود، گیاهان بیمار ممکن است بدون شناسایی هیچ نوع عارضه‌ای، سالم شناخته، از نهالستان خارج و به منبع انتشار بیماری تبدیل شوند. از همین رو، گونه‌های درختی تجاری که در سرتاسر جهان کاشته می‌شوند، مانند *Eucalyptus* spp. یا *Pinus radia-* *ta*، نه تنها به دلیل گونه‌های بیماری‌زای معرفی شده آسیب زیادی دیده‌اند، بلکه مسئول انتقال چندین پاتوژن بیگانه و غیربومی به

میزبان‌های بومی در نواحی مختلف دنیا نیز بوده‌اند (Wingfield *et al.*, 2008a, b).

به منظور مدیریت بیماری‌های نوظهور، داشتن شناخت کامل از مسیرهای ورود بیمارگرهای گیاهی که در آن ناقل‌ها و حامل‌های بیمارگر شناسایی و مدیریت می‌شوند، وجود دارد.

### ج) اهمیت شناخت مفهوم گونه برای پاتوژن‌های قارچی

اتخاذ واکنش و پاسخ مناسب به تهدیدات ناشی از عوامل بیماری‌زا، در گروی داشتن آگاهی کافی از ماهیت پاتوژنی است که با آن مواجه می‌شویم. موانع متعددی برای شناخت عوامل بیماری‌زای نوظهور وجود دارد. گونه‌های پنهان (کریپتیک) با حداقل یا بدون تمایز مرفولوژیکی در بسیاری از گونه‌های قارچی شناسایی شده‌اند. آنها می‌توانند در طیف وسیعی از میزبان‌ها و از طریق الگوهای بیماری‌زایی مختلف ایجاد بیماری کنند. بدون شناسایی و نام‌گذاری مناسب این عوامل بیماری‌زا، تعریف و اتخاذ اقدامات متقابلی که باید انجام شود نیز دشوار است. یکی از نمونه‌های پیچیده از نظر تاکسونومیست‌ها، پاتوژن پوسیدگی ریشه *Heterobasidion annosum* spp *erobasidion* است. با مطالعه ناسازگاری لقاحی و طیف میزبانی، کمپلکسی از گونه‌های *Heterobasidion annosum* شامل چندین تاکسون با ترجیح میزبانی و بیماری‌زایی متفاوت در اواخر دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ یافت شد. به عنوان مثال، گونه‌های موجود در استرالیا، از نوع *H. annosum* دارای خصوصیت بیماری‌زایی نبودند و لازم بود از دیدگاه قرنطینه گیاهی، به سرعت گونه‌های ساپروفیت استرالیایی از خویشاوندان بیماری‌زای آن تمیز داده شوند. بنابراین، گونه‌های نیمکره جنوبی به *H. arau-* *cariae* تغییر نام دادند و *H. annosum* یک تهدید قرنطینه در استرالیا اعلام شد (Buchanan *et al.*, 1988; Yuan *et al.*, 2021).

مشکل دیگر از نبود زبان مشترک مناسب برای توصیف تنوع درون گونه‌ای، در جمعیت‌های قارچی ناشی می‌شود. به عنوان مثال، ما اغلب مشاهدات را براساس شباهت بصری دسته‌بندی می‌کنیم. در صورتی‌که پاتوژن‌ها از اجداد مشترک به جمعیت‌هایی با ویژگی‌های بیماری‌زای منحصربه‌فرد تکامل می‌یابند که روی گونه‌های درختی محلی غالب تأثیر می‌گذارند. چنین صفاتی ممکن است فنوتیپ ظاهری و آشکاری نداشته باشند و بنابراین بدون آگاهی از تاریخچه تکاملی یا انجام تست‌های بیماری‌زایی به‌سختی قابل تشخیص هستند. از نظر قانونی و ثبت شده، نمونه‌های کمی وجود دارد که از نام‌گذاری فرعی زیرگونه برای شناسایی دسته خاصی از پاتوژن‌های به‌شدت بیماری‌زا استفاده شده باشد. یک مثال مربوط به بیماری نارون هلندی است که پس از جنگ جهانی اول در اروپا همه‌گیر شد (Brasier and Kirk, 2010).

علاوه بر شناخت تفاوت‌های گونه‌ای، تنوع در ژنوتیپ‌ها نیز می‌تواند مهم باشد. معرفی یک ژنوتیپ جدید ممکن است به‌طور

جشمگیری خطر را در یک منطقه افزایش دهد، به طور مثال، اگر ژنوتیپ جدید از تیپ آمیزشی باشد که بتواند تولیدمثل جنسی را در منطقه ممکن کند، توانایی تولیدمثل جنسی به پاتوزن‌ها اجازه می‌دهد تا با شرایط محیطی در حال تغییر سازگار شوند. بنابراین، حتی اگر گونه از قبل در یک مکان وجود داشته باشد، محدود کردن ورود افزون‌تر، بسیار مهم است. همچنین، معرفی پاتوزن‌های نزدیک به هم ممکن است باعث هیبریداسیون بین گونه‌ای شود که به طور بالقوه باعث بیماری‌های جدید می‌شود. تصور می‌شود که فیتوفتورای توسکا با نام علمی *Phytophthora alni*، که برای اولین بار در اوایل دهه ۱۹۹۰ در بریتانیا کشف شد، ترکیبی بین دو گونه دیگر *Phytophthora* باشد که به طور جداگانه در توسکا بسیار کمتر تهاجمی بودند (Brasier et al., 2004).

### مدیریت عوامل بیماری‌زا الف) قرنطینه و پایش برای پیشگیری از ورود عامل بیماری‌زا در منطقه

از آنجایی که گونه‌های متعددی از عوامل بیماری‌زای خطرناک غیربومی، می‌توانند از طریق تبادلات تجاری وارد کشور شوند و خسارت‌های غیرقابل جبرانی به بار آورند، تدوین و ابلاغ ضوابط فنی و علمی قرنطینه‌ای نباتی، از طرف سازمان حفظ نباتات و رعایت کامل آن از سوی واردکنندگان الزامی است؛ این کار بدون مطالعه دقیق و تحقیق در ابعاد گوناگون و ناشناخته آن مقدور نیست (علیزاده علی‌آبادی، ۱۳۸۲). بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، در کنار ثبت اطلاعات کامل و دقیق از آن چیزی که به عنوان بیمارگر، آفت یا علف هرز روی تمامی محصولات، در کشور وجود دارد، داشتن شناخت از کشور صادرکننده و آشنایی با مسائل و مشکلات ناشی از واردات در کشور امری الزامی است. سازمان حفظ نباتات با هدف آگاهی از مهم‌ترین عوامل بیمارگر، همه ساله و براساس نوع محصول و کشور صادرکننده، شرایط قرنطینه‌ای واردات را در دستورالعملی ارائه می‌کند. همچنین، اقداماتی برای محدود کردن یا حذف عوامل بیماری‌زای احتمالی انجام می‌شود. این اقدامات، ممکن است شامل اقدامات بهداشتی مانند تیمارهای حرارتی هر نوع عامل بیماری‌زا در محصولات وارداتی، یا بازرسی میدا- مقصد از مواد گیاهی بالقوه بیمار باشد. با این حال، اقدامات قرنطینه، همیشه مؤثر نیست و مشکلات عدیده‌ای برای کنترل کامل در مرزها وجود دارد. به عنوان مثال، استانداردهای بین‌المللی و اقدامات بهداشتی گیاهی برای همه گونه‌های پاتوزن مؤثر نیست و معمولاً مشکلات مرزها فراتر از استانداردهای بین‌المللی است.

علاوه بر این، اقدامات قرنطینه، به میزان اطلاعات موجود در مورد توزیع جهانی پاتوزن‌ها متکی است. به طور مثال، بررسی سوابق مربوط به ورود قارچ قرنطینه‌ای *Fusarium circinatum* از شمال اسپانیا به ایتالیا نشان می‌دهد، این ورود زمانی اتفاق افتاد که هیچ گزارشی در اسناد رسمی از این قارچ، در کشور مبدأ

گنجانده نشده بود. این بیماری، تقریباً ۱۰ سال بعد به طور رسمی در هر دو مکان گزارش شد و پس از آن اتحادیه اروپا به طور رسمی انتقال گیاهان را از مناطق آلوده محدود کرد (EC/2007/433). از سوی دیگر، ممکن است مشکلاتی در شناسایی یک گیاه بیمار وجود داشته باشد، مثلاً پس از آلودگی گیاه، یک دوره نهفتگی وجود داشته باشد که در آن گیاه عاری از علائم باقی بماند و حتی دوره نهفتگی، به نسبت طولانی باشد. همچنین ممکن است علائم آلودگی به قسمت‌های زیرزمینی گیاهان محدود شود که بررسی کارآمد این نوع آلودگی‌ها دشوار است. درحالی‌که تجزیه و تحلیل مولکولی روی نمونه‌های جمع‌آوری شده می‌تواند شناسایی پاتوزن‌های غیرقابل شناسایی را امکان‌پذیر کند. با این حال، این فرایند ممکن است پرهزینه و زمان‌بر باشد.

داشتن یک شبکه پایش مستمر با یک پروتکل استاندارد برای جمع‌آوری داده‌ها و نظارت منطقه‌ای در هر استان و به اشتراک‌گذاری اطلاعات بین استان‌های مختلف کشور برای تشخیص زودهنگام آفات/ پاتوزن‌های جدید، یک ضرورت است. به کمک این پایش مستمر، امکان پیش‌بینی و هشدار زودهنگام آفات و بیماری‌ها فراهم می‌شود.

به‌کارگیری تکنیک‌های توالی‌یابی با توان بالا مانند توالی‌یابی به روش پیروسیکوئسنسینگ (Pyrosequencing)، توالی‌یابی به روش سولکسا یا ایلومینا (Illumina-solexa)، تکنولوژی توالی‌یابی سولید (SOLID) و غیره می‌توانند ابزار کارآمدی برای غربالگری تعداد بالایی از نمونه‌ها را در طرح‌های پایش فعلی فراهم کنند.

### ب) مدیریت و کنترل به منظور جلوگیری از استقرار و گسترش بیشتر عامل بیماری‌زا

هنگامی که یک پاتوزن جدید در منطقه‌ای وارد می‌شود، لازم است اقداماتی به منظور محدود کردن گسترش بیشتر و جلوگیری از استقرار آن انجام شود. با این وجود، جلوگیری از استقرار عامل بیماری‌زا، بسیار دشوار است. به طور مثال، می‌توان نمونه آن را با معرفی نماتد چوب کاج (*Bursaphelenchus xylophilus*) در اروپا نشان داد. نماتد چوب کاج، از آمریکای شمالی سرچشمه می‌گیرد و مشخص شده است که کاج و سیاه‌کاج‌های اروپایی را به عنوان گونه‌های حساس خارج از محدوده بومی خود از بین می‌برد. هنگامی که نماتد چوب کاج برای اولین بار در سال ۱۹۹۹ در پرتغال کشف شد، اتحادیه اروپا اقدامات کنترلی در مقیاس بزرگ را با هدف جلوگیری از استقرار و گسترش بیشتر آن اتخاذ کرد (Rodrigues, 2008). درختانی که علائم را در منطقه آلوده، همچنین در منطقه حائل ۲۰ کیلومتری نشان می‌دادند، قطع و حذف شدند. با این حال، پس از آن نیز در مناطق مختلف پرتغال یافت شد. حتی با وجود در نظر گرفتن یک منطقه مرزی ۲۰ کیلومتری در امتداد مرزهای اسپانیا به منظور ممانعت از گسترش بیشتر نماتد به اروپا، نماتد چوب کاج در سال ۲۰۰۸ در اسپانیا کشف شد (EPPO, 2010).





- Wikler, K. and Gordon, T., 2000. An initial assessment of genetic relationships among populations of *Fusarium circinatum* in different parts of the world. *Canadian Journal of Botany*, 78: 709-717.
- Wingfield, M.J., Hammerbacher, A., Ganley, R.J., Steenkamp, E.T., Gordon, T.R., Wingfield, B.D. and Coutinho, T.A., 2008a. Pitch canker caused by *Fusarium circinatum*—a growing threat to pine plantations and forests worldwide. *Australas. Plant Pathology*, 37: 319-334.
- Wingfield, M.J., Slippers, B., Hurley, B.P., Coutinho, T.A., Wingfield, B.D. and Roux, J., 2008b. Eucalypt pests and diseases: Growing threats to plantation productivity. *Southern Forests*, 70: 139-144.
- Woods, A., Coates, K.D. and Hamann, A., 2005. Is an unprecedented dothistroma needle blight epidemic related to climate change? *BioScience*, 55: 761-769.
- Yuan, Y., Chen, J.J., Korhonen, K., Martin, F. and Dai, Y.C., 2021. An updated global species diversity and phylogeny in the forest pathogenic genus *Heterobasidion* (Basidiomycota, Russulales). *Frontiers in Microbiology*, 11: 596393.
- آموزش و ترویج کشاورزی. شماره طرح ۹۲۱۶۱-۱۶-۱۶-۰۴-۱۲۸ صفحه.
- Brasier, C.M. and Kirk, S.A., 2010. Rapid emergence of hybrids between the two subspecies of *Ophiostoma novo-ulmi* with a high level of pathogenic fitness. *Plant Pathology*, 59: 186-199.
- Brasier, C.M., Kirk, S.A., Delcan, J., Cooke, D.E.L., Jung, T. and Man In't Veld, W.A., 2004. *Phytophthora alni* sp nov and its variants: designation of emerging heteroploid hybrid pathogens spreading on *Alnus* trees. *Mycological Research*, 108: 1172-1184.
- Buchanan, P.K., 1988. A new species of *Heterobasidion* (Polyporaceae) from Australasia. *Mycotaxon*, 32, 325-337.
- Cahill, D., Rookes, J., Wilson, B., Gibson, L. and McDougall, K., 2008. *Phytophthora cinnamomi* and Australia's biodiversity: impacts, predictions and progress towards control. *Australian Journal of Botany*, 56: 279-310.
- EPPO., 2010. First record of *Bursaphelenchus xylophilus* in Galicia (Spain). *EPPO Reporting Service*, 11: 1-3.
- Hodges, C.S., 1999. *Heterobasidion annosum*, Biology, Ecology, Impact and Control. *Plant Pathology*, 48, 564-565.
- Koch, F.H. and Smith, W.D., 2007. Mapping sudden oak death risk nationally using host, climate, and pathways data. *Proceedings of the Sudden Oak Death Third Science Symposium*, Santa Rosa, CA, USA, pp. 279-287.
- Lane, C.R. and Kirk, P., 2023. Introduction to Fungal Plant Pathogens. In book: *Fungal Plant Pathogens Applied Techniques 2nd Edition* (Eds. Lane, C.R.; Paul A. Beales, P.A. and Hughes, K.J.D.). pp.1-7.
- Mirabolfathy, M., Ahangaran, Y., Lombard, L. and Crous, Y. P.W., 2013b. Leaf blight of *Buxus sempervirens* in northern forests of Iran caused by *Calonectria pseudonaviculata*, *Plant disease*, 97(8): 1121.
- Mirabolfathy, M., Groenewald, J. Z. and Crous, P. W., 2011. The Occurrence of charcoal disease on chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia*) in Golestan forests of Iran. *Plant disease*, 95(7): 353.
- Mirabolfathy, M., Hsieh, Y. Ju, Rogers, H. J. D., 2013a. *Obolarina persica* sp. nov., associated with dying *Quercus* in Iran. *Mycoscience*, 54 (5): 315- 320
- Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R. and Morrison, D., 2000. Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *BioScience*, 50: 53-65.
- Rizzo, D.M., Garbelotto, M. and Hansen, E.M., 2005. *Phytophthora ramorum*: integrative research and management of an emerging pathogen in California and Oregon forests. *Annual Review of Phytopathology*, 43: 309-335.
- Rodrigues, J.M., 2008. National eradication programme for the pinewood nematode. In *Pine Wilt Disease: A Worldwide Threat to Forest Ecosystems*; Mota, M.M., Vieira, P., Eds.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, pp. 5-14.
- Thomsen, I.M., 2009. Precipitation and temperature as factors in *Gremmeniella abietina* epidemics. *Forest Pathology*, 39: 56-72.
- Thor, G., Johansson, P. and Jonsson, M.T., 2010. Lichen diversity and red-listed lichen species relationships with tree species and diameter in wooded meadows. *Biodiversity and Conservation*, 19: 2307-2328.