



مقدمه

حفاظت هوشمند از نقاط داغ تنوع زیستی: نقش فناوری‌های نوین در ایران و جهان

شیرین محمودی^{۱*}، بهنام حمزه^۲، مصطفی سربرزه^۳

هیچ‌جای دیگری از کره زمین یافت نمی‌شوند (Orme *et al.*, 2005). این مناطق، اغلب در مناطق گرمسیری و معتدل واقع شده‌اند و دارای تنوع بالایی از زیستگاه‌ها مانند جنگل‌های بارانی هستند. حفاظت از نقاط داغ تنوع زیستی، برای بقای انسان و حفظ تعادل اکولوژیکی کره زمین ضروری است (Pimm *et al.*, 2014).

تخریب اکوسیستم‌ها منجر به از بین رفتن تنوع زیستی و انقراض گونه‌ها می‌شود و کاهش تنوع گونه‌ای نیز اکوسیستم‌ها را آسیب‌پذیر می‌کند، به عبارت بهتر، این دو اثر متقابل بر یکدیگر دارند (Bellard *et al.*, 2012). بنابراین، تلاش‌های حفاظتی باید به‌طور ویژه بر این مناطق تمرکز کند و با استفاده از راهکارهای مناسب و مشارکت جوامع محلی، از تخریب بیشتر آنها جلوگیری شود (Laurance *et al.*, 2012). شناخت اهمیت تنوع زیستی و نقاط داغ، اولین گام برای پیشگیری از آسیب‌های بیشتر به محیط‌زیست است (Noss *et al.*, 2015). با درک ارتباط تنگاتنگ بین سلامت اکوسیستم‌ها و رفاه بشر، می‌توانیم به سوی توسعه پایدار و حفاظت از میراث طبیعی کره زمین گام برداریم (Díaz *et al.*, 2019). با حفاظت از نقاط داغ تنوع زیستی، می‌توانیم از نابودی گونه‌های ارزشمند جلوگیری کنیم و از خدمات ارزشمندی که این مناطق ارائه می‌دهند، بهره‌مند شویم. نقاط داغ تنوع زیستی به عنوان یک استراتژی برای اولویت‌بندی تلاش‌های حفاظتی ظهور کرده است (Myers, 2000).

این مقاله مروری، به بررسی مفهوم نقاط داغ تنوع زیستی، اهمیت و کاربرد آنها در حفاظت از تنوع زیستی و نقش و اهمیت فناوری‌های نوین در حفاظت از نقاط داغ تنوع زیستی می‌پردازد و چگونگی استفاده از این ابزارها را برای مدیریت مؤثرتر و پایدارتر این مناطق ارزشمند مورد بحث قرار می‌دهد.

تعریف نقاط داغ تنوع زیستی

نقاط داغ تنوع زیستی (Biodiversity Hotspots) به مناطقی اطلاق می‌شود که از سطوح بالایی از گونه‌های انحصاری (En-

تنوع زیستی، مجموعه‌ای گسترده از گیاهان، جانوران، میکروارگانیسم‌ها و اکوسیستم‌هایی است که با یکدیگر در تعامل هستند و حیات روی کره زمین را ممکن می‌سازند (Cardinale *et al.*, 2012). این مفهوم، شامل تمام مراحل تنوع و تغییرپذیری درون و میان موجودات زنده، جوامع و اکوسیستم‌هاست و نقش حیاتی در پایداری و بقای زمین ایفا می‌کند (Isbell *et al.*, 2017; Hooper *et al.*, 2012).

تنوع زیستی، ابزاری مهم برای حفظ تعادل اکولوژیکی و ارائه خدمات ضروری مانند تولید غذا، تصفیه آب، تنظیم آب‌وهوا و گرده‌افشانی است (Díaz *et al.*, 2019; Oliver *et al.*, 2015). حفظ و توسعه تنوع زیستی، از اهداف غایی مدیریت منابع طبیعی است، زیرا افول و تخریب زیستگاه، همچنان یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش تنوع زیستی در جهان است (Newbold *et al.*, 2016). تخریب زیستگاه‌ها به دلیل عوامل انسانی و غیرانسانی، موجب از بین رفتن تنوع زیستی و بروز آفات و بیماری‌های جدید گیاهی، سوء تغذیه و بیماری در اثر کاهش کیفیت مواد غذایی و غیره می‌شود. بنابراین، تنوع زیستی نه تنها در تولید مواد غذایی نقش دارد، بلکه اثرهای مثبتی را نیز نظیر گردش مواد غذایی، کنترل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز دربردارد (Chaplin-Kramer *et al.*, 2019).

نقاط داغ تنوع زیستی، مناطق جغرافیایی هستند که غنای گونه‌ای بالا و تعداد زیادی گونه انحصاری دارند و در عین حال، با تهدیدهای شدید ناشی از فعالیت‌های انسانی روبه‌رو هستند (Myers *et al.*, 2000). این مناطق، اگرچه تنها بخش کوچکی از سطح زمین را تشکیل می‌دهند، میزبان درصد بالایی از گونه‌های گیاهی و جانوری جهان هستند (Brooks *et al.*, 2002).

برای اینکه یک منطقه به عنوان نقطه داغ تنوع زیستی شناخته شود، باید حداقل ۱۵۰۰ گونه گیاهی بومی و انحصاری داشته باشد و حداقل ۷۰ درصد از پوشش گیاهی اصلی خود را از دست داده باشد (Mit-termeier *et al.*, 2005). نقاط داغ تنوع زیستی، به دلیل شرایط اقلیمی و توپوگرافی خاص، میزبان گونه‌های انحصاری هستند که در

* نویسنده مسئول، گروه تنوع زیستی، مرکز ملی مدیریت منابع ژنتیکی کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: sh.mahmoodi@areeo.ac.ir

۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات گیاه‌شناسی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- استاد پژوهش، بخش تحقیقات غلات، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران



demic Species (برخورد دارند، اما در معرض تهدیدهای جدی مانند تخریب زیستگاه‌ها قرار دارند. این مفهوم، نخستین بار توسط نورمن مایرز در سال ۱۹۸۸ معرفی شد و بر دو معیار اصلی استوار است: وجود حداقل ۱۵۰۰ گونه گیاهی بومی و انحصاری (۵/۰ درصد از کل گونه‌های گیاهی جهان) و از دست دادن حداقل ۷۰ درصد از زیستگاه اولیه (Myers et al., 2000). این مناطق تنها ۲/۴ درصد از سطح خشکی‌های زمین را پوشش می‌دهند، اما میزبان بیش از ۵۰ درصد از گونه‌های گیاهی و ۴۳ درصد از گونه‌های مهره‌داران خشکی‌زی هستند (Conservation International, 2023). شناسایی این نقاط به اولویت‌بندی تلاش‌های حفاظتی کمک می‌کند، چراکه تمرکز منابع بر مناطقی است که هم غنی از گونه‌ها و هم به‌شدت آسیب‌پذیر هستند. از زمان معرفی اولیه، تعداد نقاط داغ از ۲۵ به ۳۶ منطقه افزایش یافته است که نشان‌دهنده گسترش دانش بوم‌شناختی و افزایش تهدیدهای انسانی است (Mittermeier et al., 2005). این تعریف پویا به سازمان‌ها اجازه می‌دهد تا برنامه‌های حفاظتی را با توجه به تغییرات اقلیمی و اکوسیستمی به‌روز کنند. نقاط داغ به‌عنوان شاخصی برای حفاظت جهانی عمل می‌کنند، زیرا نابودی آنها نه‌تنها موجب انقراض گونه‌ها می‌شود، بلکه خدمات اکوسیستمی حیاتی را نیز مانند تصفیه آب و ذخیره کربن تضعیف می‌کند (Brooks et al., 2006).

اهمیت نقاط داغ به‌عنوان مراکز غنی از گونه‌های بومی و در معرض خطر

نقاط داغ تنوع زیستی به‌عنوان گهواره‌های تکاملی عمل می‌کنند و میزبان گونه‌های انحصاری هستند که در هیچ‌جای دیگر یافت نمی‌شوند. به‌عنوان مثال، ماداگاسکار با بیش از ۹۰ درصد گونه‌های گیاهی و جانوری انحصاری، یک نمونه کلاسیک است (Vieites et al., 2009). این مناطق برای بقای هزاران گونه در معرض خطر، مانند اورانگوتان‌ها در بورنئو، ضروری هستند (WWF, 2020). از دست دادن این ذخایر ژنتیکی می‌تواند تلاش‌ها را برای احیای اکوسیستم‌ها بی‌اثر کند. از جنبه اقتصادی، بسیاری از جوامع محلی وابسته به منابع طبیعی این مناطق هستند. برای مثال، جنگل‌های سونداربانس در هند و بنگلادش، علاوه بر میزبانی از ببر بنگال، منبع درآمدی از طریق گردشگری و ماهیگیری ایجاد کرده‌اند (Rahman et al., 2018). با این حال، ۸۵ درصد از نقاط داغ به‌دلیل فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی ناپایدار و شهرسازی تخریب شده‌اند، که نیاز به اقدامات فوری حفاظتی را آشکار می‌سازد (Hansen et al., 2013).

نقش نقاط داغ در حفظ تعادل اکولوژیکی و خدمات اکوسیستمی

نقاط داغ با حفظ تنوع زیستی بالا، پایداری اکوسیستم‌ها را تضمین می‌کنند. مطالعات نشان می‌دهد، اکوسیستم‌های متنوع‌تر در برابر اختلالات

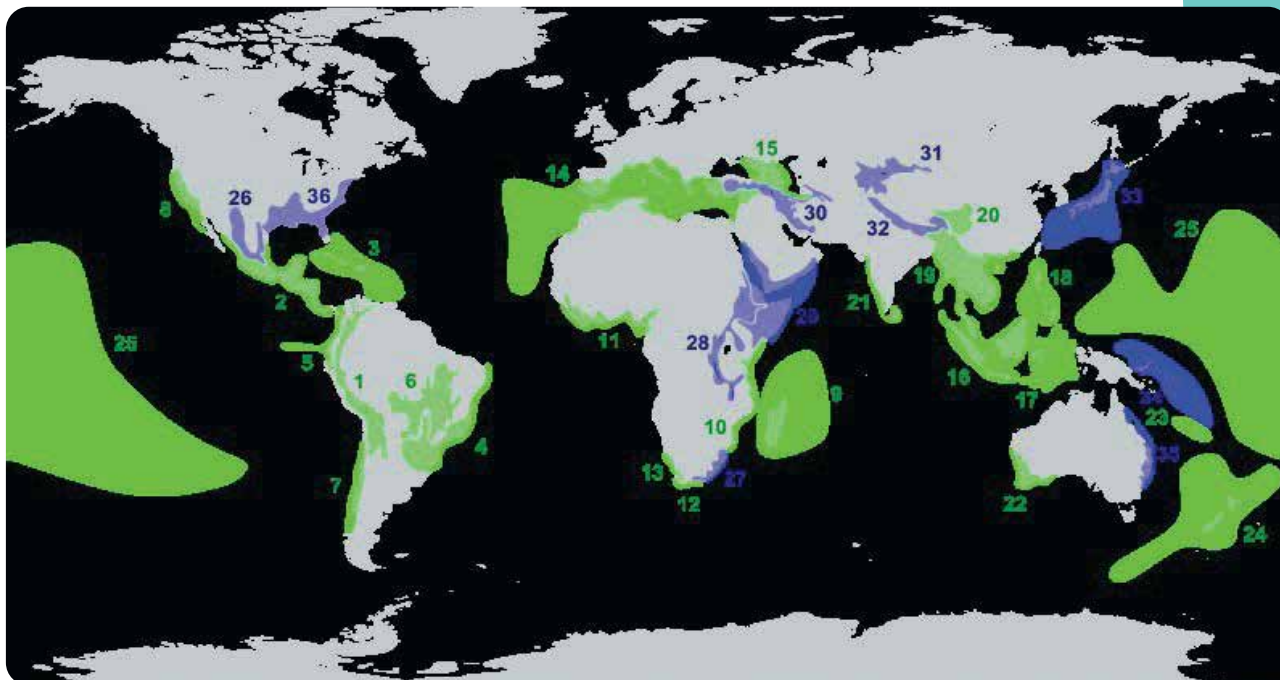
طبیعی مانند سیل یا آتش‌سوزی مقاوم‌ترند (Isbell et al., 2015). به‌عنوان مثال، جنگل‌های استوایی آمازون نقش کلیدی در تنظیم چرخه آب جهانی ایفا می‌کنند (Malhi et al., 2008). این مناطق، خدمات اکوسیستمی ارزشمندی مانند گرده‌افشانی محصولات کشاورزی، تصفیه آب و ذخیره کربن ارائه می‌دهند. ارزش اقتصادی این خدمات، سالانه ۱۲۵ تریلیون دلار برآورد می‌شود (Costanza et al., 2014). گونه‌های کلیدی در نقاط داغ، مانند فیل‌های آفریقایی، با ایجاد مسیرهای آبی و پراکندگی بذر، ساختار اکوسیستم را حفظ می‌کنند (Owen-Smith, 1987). نابودی این گونه‌ها می‌تواند موجب فروپاشی زنجیره‌های غذایی شود. همچنین، نقاط داغ در جذب دی‌اکسیدکربن نقش حیاتی دارند. به‌عنوان مثال، جنگل‌های گرمسیری، سالانه ۲/۴ میلیارد تن کربن جذب می‌کنند، اما نابودی آنها این روند را معکوس می‌نماید (Harris et al., 2021).

تأثیر کاهش گونه‌های گیاهی بر بهره‌وری و عملکرد اکوسیستم

کاهش تنوع گیاهی به‌طور مستقیم، بهره‌وری اولیه اکوسیستم‌ها (Primary Productivity) را کاهش می‌دهد. مطالعات بلندمدت نشان می‌دهد، اکوسیستم‌های با تنوع گیاهی بالا، تا ۳۰ درصد زیست‌توده بیشتری تولید می‌کنند (Cardinale et al., 2012). این کاهش به‌ویژه در کشاورزی و جنگل‌داری مشهود است. گونه‌های گیاهی مختلف، نقش‌های مکملی در چرخه مواد مغذی ایفا می‌کنند. برای مثال، گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن، مانند حبوبات، خاک را غنی و رشد سایر گونه‌ها را تسهیل می‌کنند (Hooper et al., 2012). از بین رفتن این گونه‌ها منجر به فقر خاک و کاهش حاصلخیزی می‌شود. همچنین، کاهش تنوع گیاهی، مقاومت اکوسیستم‌ها را در برابر آفات و بیماری‌ها تضعیف می‌کند. در تک‌کشتی صنعتی، شیوع آفات سریع‌تر است، درحالی‌که سیستم‌های متنوع با ایجاد موانع اکولوژیکی، این ریسک را کاهش می‌دهند (Altieri et al., 2015). در نهایت، نابودی گیاهان بر جوامع انسانی تأثیر می‌گذارد. حدود ۷۵ درصد از داروهای مدرن، منشأ گیاهی دارند و انقراض گونه‌هایی مانند درختان پاسویا در آمازون، فرصت‌های دارویی آینده را نابود می‌کند (Elisabethsky et al., 1991).

پراکندگی نقاط داغ تنوع زیستی

نقاط داغ تنوع زیستی در مناطق مختلف در سراسر جهان پراکنده شده‌اند که هر کدام دارای ویژگی‌ها و چالش‌های منحصربه‌فردی هستند. این مناطق را



شکل ۱- نقشه پراکنش نقاط داغ تنوع زیستی

به دلیل فعالیت‌های انسانی مانند توسعه شهری، کشاورزی و جنگل‌زدایی، فشار چرای دام، صید بی‌رویه، آلودگی‌های ناشی از سموم و تردهای دریایی، مهم‌ترین تهدید برای نقاط داغ تنوع زیستی است. فشارهای انسانی مانند کشاورزی گسترده و شهرسازی، گونه‌های اندمیک را به شدت تهدید می‌کنند. Brooks و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که ۸۰ درصد از نقاط داغ با نرخ بالای انقراض محلی مواجه‌اند. برای نمونه، در ماداگاسکار، ۹۰ درصد از زیستگاه‌های طبیعی نابود شده‌اند و ۴۰ درصد از گونه‌های لمورها در خطر انقراض قرار دارند. تجزیه و تحلیل Hansen و همکاران (۲۰۱۳) نشان می‌دهد، بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲، حدود ۲/۳ میلیون کیلومتر مربع از جنگل‌های گرمسیری - بیشتر در نقاط داغ مانند آمازون و بورنئو - نابود شده‌اند. این تخریب نه تنها گونه‌ها، بلکه پیوندهای اکولوژیکی بین زیستگاه‌ها را نیز مختل می‌کند (Gibbs et al., 2010).

• بهره‌برداری بیش‌ازحد: بهره‌برداری ناپایدار از منابع طبیعی، مانند شکار، ماهیگیری و برداشت چوب، می‌تواند جمعیت گونه‌ها را کاهش دهد و اکوسیستم‌ها را مختل کند. جنگل‌های بارانی آمازون به دلیل قطع بی‌رویه درختان تحت فشار شدیدی قرار دارند (Neps-tad et al., 2009).

• گونه‌های مهاجم: گونه‌های غیربومی پس از ورود و گسترش می‌توانند با گونه‌های بومی رقابت کنند، بیماری‌ها را منتقل کنند و ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها را تغییر دهند.

• تغییرات آب‌وهوایی: تغییرات آب‌وهوایی در حال حاضر تأثیر عمیقی بر تنوع زیستی دارد و انتظار می‌رود که در آینده این اثرها تشدید شوند. تغییر در الگوهای دما و بارش، افزایش سطح دریا و

می‌توان به دسته‌های اصلی زیر طبقه‌بندی کرد:

- آمریکای شمالی و آمریکای مرکزی: استان فلوریستیک کالیفرنیا، جنگل‌های بلوط - کاج مادریان، مزوآمریکا
- کارائیب: جزایر کارائیب
- آمریکای جنوبی: جنگل آتلانتیک، سرادو، جنگل‌های بارانی زمستانی شیلی - والدیویان، تومبس - چوکو - ماگدالنا، مناطق گرمسیری آند
- اروپا: حوزه مدیترانه
- آفریقا: منطقه فلوریستیک کپ، جنگل‌های ساحلی شرق آفریقا، آفرومونتان شرقی، جنگل‌های گینه در غرب آفریقا، شاخ آفریقا، ماداگاسکار و جزایر اقیانوس هند، مایوتالند - پوندولند - آلبانی، کاروی آب‌دار
- آسیای مرکزی: کوه‌های آسیای مرکزی
- جنوب آسیا: هیمالیای شرقی، هند و برمه، گات غربی، سریلانکا
- جنوب شرقی آسیا و آسیا - اقیانوسیه: جزایر ملانزی شرقی، کالدونیای جدید، نیوزیلند، فیلیپین، پلینزی - میکرونزی، جنوب غربی استرالیا، سوندالند، والاسیا
- شرق آسیا: ژاپن، کوه‌های جنوب غربی چین
- غرب آسیا: قفقاز، ایران - آناتولی

چالش‌ها و تهدیدهای مرتبط با نقاط داغ تنوع زیستی

نقاط داغ تنوع زیستی با چالش‌ها و تهدیدهای متعددی مواجه هستند که بقای آنها را به خطر می‌اندازند. این چالش‌ها عبارتند از:

- از دست دادن زیستگاه: تخریب و قطعه‌قطعه شدن زیستگاه‌ها



رویدادهای شدید آب و هوایی می‌تواند زیستگاه‌ها و پراکندگی گونه‌ها را تغییر و خطر انقراض را افزایش دهد. تغییرات اقلیمی، مرزهای نقاط داغ را تغییر می‌دهند. Bouchet و همکاران (۲۰۱۷) پیش‌بینی می‌کنند که تا سال ۲۰۵۰، دمای مناطق مدیترانه‌ای - یکی از نقاط داغ - تا ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، که احتمال جابه‌جایی گونه‌ها و فروپاشی اکوسیستم‌ها را افزایش می‌دهد.

• آلودگی: آلودگی ناشی از منابع مختلف، از جمله کشاورزی، صنعت و فاضلاب‌های شهری، می‌تواند کیفیت آب و خاک را کاهش دهد، به گونه‌ها آسیب برساند و عملکرد اکوسیستم را مختل کند.

اقدامات حفاظتی

حفاظت از نقاط داغ تنوع زیستی نیازمند یک رویکرد چندوجهی است که مداخلات حفاظتی مختلف را ترکیب می‌کند. این اقدامات عبارتند از:

• ایجاد مناطق حفاظت‌شده (In-situ conservation): ایجاد و مدیریت مناطق حفاظت‌شده، مانند پارک‌های ملی و ذخیره‌گاه‌های طبیعی، برای حفظ زیستگاه‌ها و ارائه پناهگاهی امن برای گونه‌ها بسیار مهم است.

• بازسازی و احیای زیستگاه: تلاش‌ها برای احیای زیستگاه می‌تواند به بازگرداندن اکوسیستم‌های تخریب‌شده و افزایش تنوع زیستی کمک کنند.

• مدیریت گونه‌ها: مدیریت گونه‌ها شامل اقداماتی مانند کنترل جمعیت گونه‌های مهاجم، برنامه‌های اصلاح نژاد در اسارت و انتقال گونه‌ها برای حمایت از جمعیت‌های در معرض خطر است.

• حفاظت خارج از زیستگاه اصلی (Ex-situ conservation): حفاظت خارج از زیستگاه/رویشگاه اصلی شامل حفظ گونه‌ها در خارج از زیستگاه‌های طبیعی آنها، مانند باغ‌های گیاه‌شناسی، باغ‌وحش‌ها و بانک‌های ژن است.

• حفاظت مبتنی بر جامعه: درگیر کردن جوامع محلی در تلاش‌های حفاظتی، با اطمینان از اینکه آنها از مدیریت پایدار منابع طبیعی سود می‌برند و برای حفظ تنوع زیستی انگیزه دارند، ضروری است. جوامع محلی با تکیه بر دانش سنتی و مشارکت فعال در مدیریت منابع طبیعی، نقش حیاتی در حفاظت از تنوع زیستی ایفا می‌کنند. این جوامع با آشنایی عمیق از اکوسیستم‌های محلی، استراتژی‌های مؤثری مانند نظارت بر حیات وحش، کنترل آتش‌سوزی‌ها و اجرای قوانین عرفی برای ممنوعیت شکار غیرقانونی ارائه می‌دهند (Berkes et al., 2004). همچنین، توسعه اکوتوریسم پایدار و پروژه‌های احیای زیستگاه (مانند کاشت درختان بومی در هندوراس توسط کشاورزان) نه تنها درآمدزایی می‌کند، بلکه انگیزه حفاظت را تقویت می‌نماید (Chazdon et al., 2016). آموزش جوامع درباره اهمیت تنوع زیستی و ایجاد ساختارهای حکمرانی محلی (مانند کمیته‌های مدیریت منابع) نیز همکاری بین مردم و نهادها را تسهیل می‌کند. از سوی دیگر، روش‌های کشاورزی سازگار با محیط‌زیست، مانند کشت

چرخشی در آند پرو (Altieri et al., 2015) تنوع ژنتیکی را حفظ می‌کنند. باورهای فرهنگی، مانند استفاده از آتش‌سوزی‌های کنترل‌شده توسط بومیان استرالیا (Byrne et al., 2021)، سلامت اکوسیستم‌ها را تضمین می‌نمایند. ترکیب دانش بومی و علمی، نه تنها از تخریب زیستگاه‌ها جلوگیری می‌کند، بلکه تعادل پایدار بین نیازهای انسانی و اهداف حفاظتی ایجاد می‌کند (Gadgil et al., 1993).

• سیاست و قانونگذاری: اجرای سیاست‌ها و قوانینی که از حفاظت از تنوع زیستی حمایت می‌کنند، مانند قوانینی که مانع از بین رفتن زیستگاه می‌شوند، تجارت گونه‌ها را تنظیم می‌کنند و آلودگی را کاهش می‌دهند، بسیار مهم است. پیمان‌های جهانی مانند CBD 2020 بر حفاظت چندسطحی تأکید دارند. هدف ۱۱ آچی (Aichi Targets) خواستار حفظ ۱۷ درصد از خشکی‌ها و ۱۰ درصد از اقیانوس‌ها تا ۲۰۲۰ بود، اما بسیاری از نقاط داغ خارج از این مناطق باقی ماندند، که ضرورت بازنگری را در سیاست‌ها نشان می‌دهد (Butchart et al., 2015).

• آموزش و آگاهی: افزایش آگاهی عمومی در مورد اهمیت تنوع زیستی و تهدیدهایی که با آن مواجه است می‌تواند، از تلاش‌های حفاظتی حمایت کند و افراد را تشویق کند تا اقدامات پایداری انجام دهند.

نقش حفاظت خارج از رویشگاه و حفاظت درون رویشگاه در حفاظت از نقاط داغ تنوع زیستی

حفاظت خارج از زیستگاه/خارج از رویشگاه اصلی حفاظت خارج از زیستگاه/رویشگاه شامل روش‌هایی است که در آن، گونه‌ها خارج از زیستگاه/رویشگاه طبیعی خود حفظ می‌شوند. این روش‌ها شامل باغ‌های گیاه‌شناسی، باغ‌وحش‌ها، آکواریوم‌ها و بانک‌های ژن می‌شود. در مناطق داغ تنوع زیستی، حفاظت خارج از زیستگاه/رویشگاه می‌تواند به عنوان یک مکمل برای حفاظت درون زیستگاه/رویشگاه اصلی عمل کند. به عنوان مثال، در مواردی که زیستگاه‌های طبیعی به شدت تخریب شده‌اند یا گونه‌ها در معرض خطر انقراض فوری قرار دارند، حفاظت خارج از زیستگاه/رویشگاه می‌تواند به حفظ بقای این گونه‌ها کمک کند. این روش به ویژه برای گونه‌هایی که جمعیت‌های کوچک و پراکنده دارند، مفید است (Pri-mack., 2019).

حفاظت درون زیستگاه/درون رویشگاه اصلی حفاظت درون زیستگاه/رویشگاه به معنای حفظ گونه‌ها در زیستگاه/رویشگاه طبیعی آنهاست. این روش شامل ایجاد و مدیریت مناطق حفاظت‌شده مانند پارک‌های ملی، ذخیره‌گاه‌های طبیعی و مناطق حفاظت‌شده محلی است. در مناطق داغ تنوع زیستی، حفاظت درون رویشگاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا این مناطق دارای غنای گونه‌ای بالایی هستند و بسیاری از گونه‌ها تنها در این مناطق یافت می‌شوند. حفاظت درون رویشگاه نه تنها به حفظ گونه‌ها کمک می‌کند، بلکه اکوسیستم‌های طبیعی و خدمات زیست‌محیطی آنها را نیز حفظ می‌کند. به عنوان مثال، حفظ جنگل‌های بارانی در مناطق داغ

تنوع زیستی نه تنها به بقای گونه‌های نادر کمک می‌کند، بلکه به تنظیم آب‌وهوا و حفظ چرخه‌های طبیعی نیز کمک می‌کند (Myers et al., 2000).

ترکیب حفاظت درون و خارج از زیستگاه/رویشگاه به همراه استفاده از بانک‌های ژن می‌تواند یک استراتژی جامع برای حفاظت از نقاط داغ تنوع زیستی ارائه دهد. درحالی‌که حفاظت درون زیستگاه/رویشگاه به حفظ اکوسیستم‌های طبیعی و گونه‌ها در زیستگاه‌های اصلی آنها کمک می‌کند، حفاظت خارج از زیستگاه/رویشگاه و بانک‌های ژن به عنوان یک پشتیبان برای گونه‌های در معرض خطر عمل می‌کنند. این رویکرد ترکیبی می‌تواند به کاهش خطر انقراض گونه‌ها و حفظ تنوع زیستی در بلندمدت کمک کند.

عواملی که موجب افزایش تنوع زیستی در مناطق داغ تنوع زیستی می‌شوند

عوامل متعددی موجب افزایش تنوع زیستی در نقاط داغ تنوع زیستی می‌شوند. این عوامل شامل ویژگی‌های طبیعی مناطق، فرایندهای اکولوژیکی و اقدامات انسانی برای حفاظت و بازسازی محیط زیست هستند (Mittermeier et al., 2005).

تنوع اکوسیستم‌ها یکی از عوامل کلیدی در افزایش تنوع زیستی است. مناطق داغ تنوع زیستی معمولاً دارای انواع مختلفی از زیستگاه‌ها هستند، از جمله جنگل‌های بارانی، تالاب‌ها، علفزارها و صخره‌های مرجانی. این تنوع زیستگاه‌ها، امکان حمایت از گونه‌های مختلف را فراهم می‌کند (Brooks et al., 2006). به عنوان مثال، جنگل‌های بارانی آمازون به دلیل وجود شرایط متنوع زیستگاهی، میزبان بیش از ۱۰ درصد از گونه‌های شناخته شده جهان هستند (Hoom et al., 2010).

بازسازی زیستگاه‌های تخریب شده نیز می‌تواند به افزایش تنوع زیستی کمک کند. برای مثال، احیای تالاب‌ها یا جنگل‌های بومی می‌تواند شرایط مناسبی برای بازگشت گونه‌های محلی فراهم کند و تعاملات اکولوژیکی را تقویت نماید (Benayas et al., 2009).

نقاط داغ تنوع زیستی به دلیل تعداد بالای گونه‌های انحصاری (Endemic) شناخته می‌شوند. این گونه‌ها که فقط در یک منطقه خاص یافت می‌شوند، نقش مهمی در افزایش غنای زیستی ایفا می‌کنند (Myers et al., 2000). برای مثال، جزایر فیلیپین و ماداگاسکار دارای تعداد زیادی گونه انحصاری هستند که در هیچ جای دیگری از جهان یافت نمی‌شوند (Goodman & Benstead., 2005). این انحصاری بودن معمولاً نتیجه فرایندهای تکاملی طولانی مدت و جدایی جغرافیایی است که موجب ایجاد گونه‌های منحصربه‌فرد شده است (Antonelli et al., 2018). چنین مناطقی نیازمند حفاظت دقیق هستند تا از انقراض گونه‌ها جلوگیری شود.

تعاملات بین گونه‌ها مانند گرده افشانی، شکار و همزیستی، نقش مهمی در پایداری و افزایش تنوع زیستی دارند. برخی گونه‌ها به عنوان «مهندسان اکوسیستم» عمل می‌کنند و با ایجاد یا تغییر زیستگاه‌ها به بقای دیگر گونه‌ها کمک می‌کنند (Jones et al., 1994). برای مثال، برخی گیاهان برای گرده افشانی به حشرات خاصی وابسته هستند که این تعاملات موجب حفظ تعادل اکوسیستم می‌شود (Bascompte et al., 2003). این تعاملات

همچنین، موجب تقویت شبکه‌های غذایی پیچیده تر و پایداری بیشتر اکوسیستم‌ها می‌شوند.

شرایط اقلیمی پایدار و متنوع، مانند دما و رطوبت مناسب، یکی از دلایل اصلی غنای زیستی در نقاط داغ است. مناطقی مانند جنگل‌های بارانی استوایی به دلیل داشتن شرایط اقلیمی ثابت و منابع غذایی فراوان، میزبان تعداد زیادی از گونه‌ها هستند (Corlett & Primack., 2011). با این حال، تغییرات اقلیمی تهدید جدی برای این مناطق محسوب می‌شوند، زیرا موجب تغییر در پراکنش گونه‌ها و کاهش تنوع زیستی می‌شوند (Bel-lard et al., 2012).

اقدامات حفاظتی مانند ایجاد مناطق حفاظت شده و مدیریت پایدار منابع طبیعی، نقش حیاتی در افزایش تنوع زیستی دارند. برای مثال، برنامه‌هایی که توسط سازمان‌هایی مانند Critical Ecosystem Partnership (CEPF) Fund اجرا می‌شوند، شامل حفاظت از زیستگاه‌ها، کاهش تهدیدها مانند شکار غیرقانونی و ترویج فعالیت‌هایی مانند اکوتوریسم است که به جوامع محلی کمک اقتصادی می‌کند (CEPF, 2020).

همکاری با جوامع محلی برای مدیریت پایدار منابع طبیعی نیز یکی از راهکارهای مؤثر در حفاظت از این مناطق است (Garnett et al., 2018). بیش از ۸۰ درصد تنوع زیستی جهان در زمین‌ها و آب‌هایی قرار دارد که تحت مدیریت جوامع بومی و محلی هستند. این جوامع با دانش سنتی خود نقش مهمی در حفظ تنوع زیستی ایفا می‌کنند (IPBES, 2019).

کاهش تهدیدهایی مانند تخریب زیستگاه، آلودگی، ورود گونه‌های مهاجم و بهره‌برداری بیش از حد نیز تأثیر بسزایی در حفظ تنوع زیستی دارد. برای مثال، محدود کردن فعالیت‌هایی مانند قطع بی‌رویه درختان یا ممانعت از ماهیگیری بی‌رویه می‌تواند به بازسازی جمعیت گونه‌ها کمک کند (Max-well et al., 2016).

فرایندهای تکاملی مانند جدایی جغرافیایی یا رقابت بین گونه‌ها نیز موجب افزایش تنوع زیستی شده‌اند. مناطقی که دارای تاریخچه طولانی مدت تغییرات اقلیمی ملایم بوده‌اند (مانند کوهستان‌های آند)، معمولاً غنای گونه‌ای بالایی دارند، زیرا فرصت کافی برای تکامل گونه‌های جدید فراهم شده است (Hoom et al., 2010). خدمات اکوسیستمی ارائه شده توسط نقاط داغ مانند گرده افشانی، تصفیه آب و تنظیم آب‌وهوا نیز موجب پایداری بیشتر این مناطق شده و امکان حمایت از جمعیت بیشتری از گونه‌ها را فراهم کرده است (Díaz et al., 2019).

همکاری بین‌المللی برای حفاظت از نقاط داغ تنوع زیستی یکی دیگر از عوامل مؤثر است. برنامه‌هایی مانند شبکه جهانی مناطق حفاظت شده یا پروژه‌های بازسازی جنگل‌ها نمونه‌هایی از تلاش‌های جهانی برای حفظ این مناطق هستند که تأثیر مثبتی بر افزایش تنوع زیستی دارند (Watson et al., 2014). بنابراین، ترکیبی از عوامل طبیعی (مانند شرایط اقلیمی مناسب) و اقدامات انسانی (مانند حفاظت فعال) موجب افزایش تنوع زیستی در نقاط داغ می‌شوند (Noss et al., 2015).

مناطق داغ تنوع زیستی اغلب در مناطقی با شرایط جغرافیایی منحصربه‌فرد (مانند جزایر یا کوهستان‌ها) شکل می‌گیرند که ایزوله شدن، فرصتی برای تکثیر گونه‌های اندمیک فراهم می‌کند. مطالعه Myers و همکاران (۲۰۰۰)



نشان می‌دهد، جزایر ماداگاسکار و فیلیپین به دلیل جدانشدگی از خشکی‌های اصلی، میزبان هزاران گونه گیاهی و جانوری منحصر به فرد شده‌اند. وجود ریز اقلیم‌های متنوع در مناطق داغ (مانند جنگل‌های ابری یا مناطق کوهستانی) به گونه‌ها اجازه می‌دهد تا در زیستگاه‌های تخصصی تکامل یابند. Brooks و همکاران (۲۰۰۶) تأکید می‌کنند، تنوع دمایی و بارشی در آمازون، به شکل‌گیری بیش از ۱۶۰۰۰ گونه درختی کمک کرده است. برخی نقاط داغ، مانند جنگل‌های گرمسیری آفریقا، میلیون‌ها سال قدمت دارند و زمان کافی برای تکامل گونه‌های جدید فراهم شده است. پژوهش Jones و همکاران (۲۰۱۷) نشان می‌دهد، مناطق با تاریخچه اکولوژیکی پایدار، تنوع ژنتیکی بالاتری در گونه‌ها ایجاد می‌کنند. اکوسیستم‌های لایه‌لایه (مانند جنگل‌های بارانی) با ایجاد اشکال مختلف زیستگاه (از تاج درختان تا کف جنگل)، امکان همزیستی گونه‌های بی‌شماری را فراهم می‌کنند. Laura-nce و همکاران (۲۰۰۶) اشاره می‌کنند که ساختار عمودی جنگل‌های بورتو، تنوع بی‌مهرگان را تا ۱۰ برابر افزایش می‌دهد. همکاری بین گونه‌ها (مانند گرده‌افشانی یا همزیستی قارچ‌ها و ریشه‌ها) تنوع زیستی را تقویت می‌کند. مطالعه Bascompte و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد، شبکه‌های همزیستی در نقاط داغ مانند آمازون، پایداری اکوسیستم را افزایش می‌دهند. فرایندهای زمین‌شناسی مانند تشکیل کوه‌ها یا فوران آتشفشان‌ها، زیستگاه‌های جدیدی ایجاد می‌کنند که گونه‌ها را به انطباق و گونه‌زایی وادار می‌کنند. Antonelli و همکاران (۲۰۱۸) توضیح دادند که کوه‌زایی آند، عامل اصلی تنوع زیستی خارق‌العاده در پرو و کلمبیاست. برخلاف فعالیت‌های مخرب مدرن، برخی جوامع محلی با روش‌های پایدار (مانند کشت چرخشی یا مدیریت جنگل) به حفظ تنوع کمک کردند. Turner و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند، سیستم‌های کشاورزی بومی در هندوراس، تنوع گیاهان دارویی را حفظ کرده‌اند. خاک‌های حاصلخیز در نقاط داغی مانند سوندالند (اندونزی)، به‌ویژه پس از فعالیت آتشفشانی، رشد گونه‌های گیاهی را تسریع می‌کنند. Hansen و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کردند که چرخه سریع مواد مغذی در این مناطق، تنوع زیستی را تقویت می‌کند. ایجاد مناطق حفاظت‌شده و قوانین ضدشکار در نقاط داغ، مانند پروژه «مکان‌های حیات وحش» در برزیل، از گونه‌ها در برابر انقراض محافظت می‌کند. گزارش CBD (۲۰۲۰) تأکید می‌کند که مناطق حفاظت‌شده در کاهش نرخ انقراض تا ۲۹ درصد مؤثر بوده‌اند.

نقاط داغ تنوع زیستی: بررسی در سطوح مختلف

سطح گونه (مبنای شناسایی نقاط داغ)
مطالعه نقاط داغ تنوع زیستی در سطح گونه‌ای به بررسی تعداد گونه‌ها، میزان انحصاری بودن (Endemism) و وضعیت حفاظتی گونه‌ها می‌پردازد. برای اینکه منطقه‌ای به‌عنوان نقطه داغ شناخته شود، باید حداقل ۱۵۰۰ گونه گیاه آوندی اندمیک داشته باشد و بیش از ۷۰ درصد از پوشش گیاهی اولیه خود را از دست داده باشد. این معیارها توسط Conservation International تعریف شده‌اند و نشان‌دهنده اهمیت بالای این مناطق در حفاظت از گونه‌های خاص است (Mittermeier et al., 2005). این سطح مطالعه به شناسایی مناطقی مانند جنگل‌های

بارانی آمازون، هیمالیا و جزایر فیلیپین کمک کرده است. این مناطق نه تنها دارای تنوع زیستی بالا هستند، بلکه بسیاری از گونه‌های آنها فقط در این مناطق یافت می‌شوند. برای مثال، در جنگل‌های بارانی آمازون بیش از ۱۰ درصد از گونه‌های شناخته‌شده جهان زندگی می‌کنند (Hoorn et al., 2010).

مساحت

در سطح مساحتی، رابطه بین مساحت یک منطقه و تعداد گونه‌ها (Species-Area Relationship) بررسی می‌شود. این رابطه نشان می‌دهد، با افزایش مساحت زیستگاه، تعداد گونه‌ها نیز افزایش می‌یابد. با این حال، برخی مناطق کوچک‌تر با تنوع زیستی فوق‌العاده نیز شناسایی شده‌اند که نیازمند حفاظت ویژه هستند. برای مثال، جزایر کوچک دریای اژه با وجود مساحت کم، تعداد زیادی گونه بومی دارند که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی قرار گرفته‌اند (Triantis et al., 2012). مطالعات نشان داده‌اند، مدل‌های ریاضی مانند توابع نمایی و گامپرتز برای تحلیل رابطه مساحت-گونه مناسب هستند و می‌توانند به شناسایی نقاط داغ کمک کنند (Tjørve., 2003). این سطح همچنین نشان‌دهنده اهمیت حفظ زیستگاه‌های کوچک‌تر اما غنی از نظر زیستی است. برای مثال، برخی جزایر کوچک در اقیانوس آرام با وجود اندازه محدود، شامل گونه‌هایی هستند که در هیچ‌جای دیگری یافت نمی‌شوند (Whittaker et al., 2017).

سطح اکوسیستم (تنوع کارکردی و ساختاری)

در سطح اکوسیستم، بررسی نقاط داغ شامل تحلیل تعاملات بین گونه‌ها و محیط زیست آنهاست. نقاط داغ نه تنها بر گونه‌ها، بلکه بر تنوع زیستگاه‌ها، مانند جنگل‌های بارانی گرمسیری یا صخره‌های مرجانی تمرکز می‌کنند.

Mittermeier و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند، اکوسیستم‌های منحصر به فرد در نقاط داغ، خدمات زیستی حیاتی (مانند گرده‌افشانی و تصفیه آب) ارائه می‌دهند. برای مثال، جنگل‌های ابری آند، اکوسیستم‌های ابری دارند که برای تأمین آب میلیون‌ها نفر ضروری‌اند (Buytaert et al., 2009). صخره‌های مرجانی اندونزی نه تنها زیستگاه هزاران گونه دریایی هستند، بلکه نقش مهمی در حفظ تعادل اکوسیستم دریایی ایفا می‌کنند (Burke et al., 2022). این سطح مطالعه اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا تخریب اکوسیستم‌ها منجر به کاهش شدید تنوع زیستی و خدمات اکوسیستمی مورد نیاز انسان‌ها خواهد شد (Díaz et al., 2019).

سطح ژنتیکی (تنوع درون گونه‌ای)

تنوع ژنتیکی یکی دیگر از سطوح مطالعه نقاط داغ تنوع زیستی است که شامل بررسی تفاوت‌های ژنتیکی میان جمعیت‌های یک گونه یا بین گونه‌های مختلف است. هرچند به این سطح کمتر توجه شده است، اهمیت زیادی دارد، زیرا تنوع ژنتیکی بالا توانایی انطباق با

تغییرات محیطی را افزایش می‌دهد. Faith (۱۹۹۲) استدلال کرد که کاهش تنوع ژنتیکی، سازگاری گونه‌ها را با تغییرات اقلیمی تضعیف می‌کند. در نقاط داغی مانند سوندالند (اندونزی)، جمعیت‌های پراکنده اورانگوتان‌ها از نظر ژنتیکی منزوی شده‌اند (Nater *et al.*, 2017). برای مثال، مطالعات انجام‌شده در ایران- آناطولی نشان داده است، ارتفاعات بالا دارای تنوع ژنتیکی بیشتری نسبت به مناطق پایین‌تر هستند (Noroozi *et al.*, 2019). این مناطق به دلیل شرایط خاص جغرافیایی و اقلیمی توانسته‌اند تنوع ژنتیکی بالایی را حفظ کنند که برای برنامه‌ریزی حفاظتی ضروری است. حفاظت از تنوع ژنتیکی نه تنها برای بقای گونه‌ها بلکه برای حفظ پایداری اکوسیستم‌ها نیز حیاتی است (Hoban *et al.*, 2020).

نقاط داغ فرعی یا «نقاط داغ درون نقاط داغ»

در برخی موارد، حتی درون یک نقطه داغ بزرگ‌تر، مناطقی با غنای زیستی بیشتر یا تهدیدهای جدی‌تر شناسایی شده‌اند. این مناطق فرعی نیازمند برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای حفاظت هستند. به عنوان مثال، در منطقه ایران- آناطولی پنج منطقه فرعی شناسایی شده‌اند که دارای غنای گونه‌ای بالاتر هستند (Noroozi *et al.*, 2019). این مناطق معمولاً در ارتفاعات بالا قرار دارند و تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و چرای بیش‌ازحد قرار گرفته‌اند. شناسایی این نقاط فرعی می‌تواند به تخصیص بهتر منابع حفاظتی کمک کند (Myers *et al.*, 2000). منطقه حفاظت‌شده ارسباران در شمال غرب ایران از این مناطق است که هم دچار چرای مفرط و هم درگیر قطع جنگل است.

سطح دریایی

نقاط داغ دریایی شامل مناطقی مانند صخره‌های مرجانی و جنگل‌های علف دریایی هستند که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند ماهیگیری بی‌رویه و آلودگی قرار دارند. این مناطق نه تنها زیستگاه بسیاری از گونه‌های دریایی هستند، بلکه خدمات اکوسیستمی مهمی ارائه می‌دهند. برای مثال، صخره‌های مرجانی اندونزی یکی از غنی‌ترین اکوسیستم‌های دریایی جهان هستند که میزبان گونه‌هایی مانند لاک‌پشت دریایی منقار عقابی‌اند (Schuyler *et al.*, 2016). حفاظت از این مناطق برای پایداری تنوع زیستی دریایی ضروری است (Roberts *et al.*, 2002).

روش‌های شناسایی نقاط داغ تنوع زیستی

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های چشمگیری در حوزه فناوری‌های نوین رخ داده است که فرصت‌های بی‌نظیری را برای حفاظت از تنوع زیستی فراهم می‌کند. این فناوری‌ها، با ارائه داده‌های دقیق، امکان پایش مستمر و تحلیل‌های پیشرفته، به تصمیم‌گیران و مدیران مناطق حفاظت‌شده کمک می‌کنند تا استراتژی‌های حفاظتی مؤثرتری را طراحی و اجرا کنند. با تشدید تغییرات اقلیمی و گسترش فعالیت‌های انسانی، حفاظت سنتی دیگر پاسخگوی چالش‌های پیچیده این مناطق نیست.

فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی (AI)، سنجش از دور (RS) و DNA

محیطی (eDNA) به عنوان ابزارهای تحول‌آفرین، امکان پایش بلادرنگ، شناسایی تهدیدها و اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی را فراهم می‌کنند. گزارش IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) در سال ۲۰۲۲ هشدار داد، نابودی نقاط داغ می‌تواند تا سال ۲۰۳۰ منجر به فروپاشی زنجیره‌های غذایی و تشدید بحران‌های انسانی شود. بنابراین، ادغام فناوری‌های نوین در استراتژی‌های حفاظتی، تنها راه نجات این گنجینه‌های طبیعی است. هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل داده‌های بزرگ و پردازش تصاویر ماهواره‌ای به شناسایی و پیگیری وضعیت زیستگاه‌های طبیعی و گونه‌های در معرض خطر کمک کند. همچنین، سیستم‌های هوشمند با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، الگوهای مهاجرتی، رفتارهای حیوانات و تغییرات زیست‌محیطی را شناسایی می‌کنند و پیش‌بینی‌هایی برای حفاظت از این گونه‌ها انجام می‌دهند.

یکی از روش‌های کلاسیک برای شناسایی نقاط داغ تنوع زیستی، استفاده از شاخص غنای گونه‌ای است. این شاخص تعداد گونه‌های موجود در یک واحد منطقه را اندازه‌گیری می‌کند. مناطق با غنای گونه‌ای بالا، به عنوان نقاط داغ در نظر گرفته می‌شوند. مطالعات نشان داده‌اند، این روش به ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کاربرد دارد (Myers *et al.*, 2000). مطالعه‌ای در جنگل‌های آمازون نشان داد، مناطق با غنای گونه‌ای بالا اغلب شرایط محیطی پایدار و دست‌نخورده دارند. این مطالعه از داده‌های حضور گونه‌های گیاهی و جانوری استفاده کرد و نشان داد، مناطق با غنای گونه‌ای بالا به طور قابل توجهی با مناطق تحت حفاظت همپوشانی دارند (Ribeiro *et al.*, 2016). این یافته‌ها اهمیت حفاظت از این مناطق را برای حفظ تنوع زیستی جهانی برجسته می‌کند. با این حال، شاخص غنای گونه‌ای محدودیت‌هایی نیز دارد، به عنوان مثال، این شاخص تنها تعداد گونه‌ها را در نظر می‌گیرد و به تنوع ژنتیکی یا عملکردی گونه‌ها توجهی نمی‌کند. مطالعه‌ای در آفریقای جنوبی نشان داد، برخی مناطق با غنای گونه‌ای پایین ممکن است دارای گونه‌های اندمیک یا عملکردی مهمی باشند که برای اکوسیستم حیاتی هستند (Cowling *et al.*, 2003). بنابراین، استفاده از این شاخص به تنهایی ممکن است منجر به نادیده گرفتن برخی مناطق مهم شود.

الف) تکنیک‌های سنجش از دور (RS) و GIS

فناوری‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان ابزارهای کارآمد در شناسایی مناطق با تنوع زیستی بالا استفاده می‌شوند. سنجش از دور با استفاده از ماهواره‌ها و پهپادها اطلاعات دقیقی از وضعیت اکوسیستم‌ها و زیستگاه‌ها ارائه می‌دهد. محققان می‌توانند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پهپادی، میزان تخریب جنگل‌ها، کاهش سطح دریاچه‌ها و تغییرات را در زیستگاه‌ها به طور دقیق رصد کنند و سیاست‌های حفاظتی بهتری را تدوین کنند. همچنین می‌توان به پیش‌بینی نحوه پراکنش گونه‌ها، مدل‌سازی و بررسی نحوه واکنش جوامع زیستی به تغییرات طبیعی و انسانی، شناسایی و بررسی اجتماعات مختلف گونه‌های گیاهی و جانوری، ارزیابی و تخمین تنوع و تعداد گونه‌های مختلف در یک منطقه، تعیین و بررسی متغیرهای اقلیمی مؤثر بر تنوع زیستی، مانند دما، بارش و رطوبت، بررسی و تحلیل ساختار فیزیکی زیستگاه‌ها، مانند



پوشش گیاهی، توپوگرافی و کاربری اراضی، پایش و نظارت بر تنوع زیستی و حفاظت از آن، شناسایی و نظارت بر آتش سوزی های جنگلی، مدل سازی مطلوبیت زیستگاه ها برای گونه های در خطر انقراض، نظارت بر آفات جنگلی، شناسایی نشانه های آفات در جنگل ها، نظارت بر بیابان زایی، دسترسی به مناطق دوردست و پیش بینی تغییرات آینده در پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر و داده های سنجش از دور پرداخت (Turner et al., 2007).

مطالعاتی در هند از تصاویر ماهواره ای و GIS برای شناسایی مناطق با تنوع زیستی بالا در جنگل های غربی گات استفاده کرد. نتایج نشان داد، مناطق با پوشش گیاهی متراکم و دست نخورده دارای بالاترین غنای گونه ای هستند. این مطالعه همچنین نشان داد، مناطق تحت فشار انسانی، مانند کشاورزی و شهرنشینی، به طور چشمگیری از تنوع زیستی کمتری برخوردار هستند (Puyravaud et al., 2010). در مطالعاتی دیگر در برزیل، از داده های سنجش از دور برای بررسی تغییرات پوشش جنگلی در آمازون استفاده شد. نتایج نشان داد، مناطق با نرخ بالای جنگل زدایی تنوع زیستی کمتری دارند. این مطالعه همچنین نشان داد، مناطق حفاظت شده به طور مؤثری از تنوع زیستی در برابر تخریب زیستگاه محافظت می کنند (Soares-Filho et al., 2006). تصاویر ماهواره ای با وضوح بالا مانند Landsat و Sentinel برای رصد تغییرات پوشش جنگلی، خشک سالی و آتش سوزی در نقاط داغی مانند آمازون و آسیای جنوب شرقی استفاده می شوند. فناوری Lidar با ایجاد نقشه های سه بعدی از ساختار جنگل، ذخایر کربن و تنوع زیستی را در مناطق داغی مانند گینه نو ارزیابی می کند (ب) هوش مصنوعی (AI).

هوش مصنوعی به عنوان یک ابزار نوین در شناسایی نقاط داغ تنوع زیستی مطرح شده است. الگوریتم های یادگیری ماشین می توانند پراکنش مکانی گونه ها را پیش بینی و میزان تخریب زیستگاه ها را برآورد کنند. این روش ها دقت و سرعت تحلیل را به طور چشمگیری افزایش می دهند (Joppa et al., 2016).

مطالعاتی در ایالات متحده از الگوریتم های یادگیری ماشین برای پیش بینی پراکنش گونه های پرندگان استفاده کرد. نتایج نشان داد، مناطق با شرایط محیطی مطلوب، مانند جنگل های مرطوب، به عنوان زیستگاه های کلیدی برای این گونه ها در نظر گرفته می شوند. این مطالعه همچنین نشان داد، هوش مصنوعی می تواند دقت پیش بینی ها را به طور چشمگیری افزایش دهد (Elith et al., 2008).

کاربردهای هوش مصنوعی در شناسایی نقاط داغ تنوع زیستی - پیش بینی پراکنش گونه ها

یکی از کاربردهای اصلی هوش مصنوعی در شناسایی نقاط داغ تنوع زیستی، پیش بینی پراکنش گونه ها است. الگوریتم های یادگیری ماشین مانند شبکه های عصبی و مدل های رگرسیون می توانند با استفاده از داده های حضور گونه ها و متغیرهای محیطی، مناطق با احتمال حضور بالا را شناسایی کنند. به عنوان مثال، مطالعاتی در برزیل از هوش مصنوعی برای پیش بینی پراکنش گونه های در معرض خطر در آمازون استفاده کرد و مناطق جدیدی را برای حفاظت پیشنهاد داد (De Bem et al., 2020). نرم افزارهایی مانند MaxEnt برای مدل سازی زیستگاه های مطلوب گونه ها

استفاده می شوند. این نرم افزارها با استفاده از داده های محیطی و حضور گونه ها، مناطق با احتمال حضور بالا را شناسایی می کنند. مدل سازی زیستگاه به عنوان یک روش قدرتمند در تعیین نقاط داغ تنوع زیستی شناخته شده است (Phillips et al., 2006). مطالعاتی در چین از MaxEnt برای مدل سازی زیستگاه پاندهای غول پیکر استفاده کرد. نتایج نشان داد، مناطق با شرایط محیطی مطلوب، مانند جنگل های بامبو، به عنوان زیستگاه های کلیدی برای این گونه در نظر گرفته می شوند. این مطالعه همچنین مناطق جدیدی را برای حفاظت پیشنهاد کرد که پیش از این مورد توجه نبودند (Li et al., 2016). در مطالعاتی دیگر در آفریقا، از MaxEnt برای پیش بینی پراکنش گونه های در معرض خطر مانند فیل ها و شیرها استفاده شد. نتایج نشان داد، مناطق با دسترسی کم به آب و منابع غذایی به طور چشمگیری از تنوع زیستی کمتری برخوردار هستند. این یافته ها به برنامه ریزی برای حفاظت از این گونه ها کمک کرد (Thorn et al., 2009).

- تحلیل داده های بزرگ

هوش مصنوعی امکان تحلیل داده های بزرگ (Big Data) را فراهم می کند. این داده ها شامل اطلاعاتی از قبیل تصاویر ماهواره ای، داده های اقلیمی و حضور گونه ها هستند. با استفاده از الگوریتم های هوش مصنوعی، می توان این داده ها را با سرعت تحلیل و مناطق با تنوع زیستی بالا را شناسایی کرد. مطالعاتی در ایالات متحده از هوش مصنوعی برای تحلیل داده های بزرگ در شناسایی نقاط داغ تنوع زیستی استفاده کرد و نتایج دقیقی ارائه داد (Hampton et al., 2013). حجم عظیمی از داده ها از منابع مختلف (مانند تصاویر ماهواره ای، حسگرها، مشاهدات میدانی و گزارش های مردمی) در دسترس است. با استفاده از الگوریتم های پیشرفته تحلیل داده، می توان الگوهای پنهان را شناسایی، روندها را پیش بینی و تصمیمات آگاهانه تری را در مورد حفاظت از تنوع زیستی اتخاذ کرد.

- شناسایی گونه های جدید

هوش مصنوعی می تواند به شناسایی گونه های جدید و نادر کمک کند. با استفاده از الگوریتم های تشخیص تصویر، می توان تصاویر گرفته شده از دوربین های تله ای را تحلیل و گونه های جدید را شناسایی کرد. مطالعاتی در استرالیا از هوش مصنوعی برای شناسایی گونه های جدید پرندگان استفاده کرد و نتایج قابل توجهی ارائه داد (Norouzzadeh et al., 2018).

- برآورد میزان تخریب زیستگاه

هوش مصنوعی می تواند میزان تخریب زیستگاه ها را برآورد کند. با استفاده از داده های ماهواره ای و الگوریتم های یادگیری ماشین، می توان نرخ جنگل زدایی و تغییرات پوشش گیاهی را به طور دقیق اندازه گیری کرد. مطالعاتی در اندونزی از هوش مصنوعی برای برآورد میزان تخریب زیستگاه ها در جنگل های بارانی استفاده کرد و مناطق در معرض خطر را شناسایی نمود (Gaveau et al., 2014). ابزارهایی مانند Terra-i از شبکه های عصبی برای تحلیل داده های ماهواره ای و شناسایی تغییرات پوشش گیاهی در جنگل های آمریکای لاتین استفاده می کنند. این سیستم قادر است تخریب جنگل را در سطح پیکسل تشخیص و به صورت بلادرنگ به سازمان های مرتبط هشدار دهد.

- بهینه سازی مناطق حفاظت شده

هوش مصنوعی می تواند به بهینه سازی مناطق حفاظت شده کمک کند. با

استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، می‌توان مناطق با بالاترین تنوع زیستی را شناسایی و اولویت‌های حفاظتی را تعیین کرد. مطالعه‌ای در ماداگاسکار از هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی مناطق حفاظت‌شده استفاده کرد و نتایج مؤثری ارائه داد (Kremen et al., 2008).

– پیش‌بینی تأثیر تغییرات اقلیمی

هوش مصنوعی می‌تواند تأثیر تغییرات اقلیمی را بر تنوع زیستی پیش‌بینی کند. با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی، می‌توان تغییرات آینده را در پراکنش گونه‌ها و زیستگاه‌ها، پیش‌بینی و برای حفاظت برنامه‌ریزی کرد. مطالعه‌ای در اروپا از هوش مصنوعی برای پیش‌بینی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تنوع زیستی استفاده و مناطق در معرض خطر را شناسایی کرد (Bellard et al., 2012).

– شناسایی گونه‌های مهاجم

هوش مصنوعی می‌تواند به شناسایی گونه‌های مهاجم کمک کند. با استفاده از الگوریتم‌های تشخیص الگو، می‌توان گونه‌های مهاجم را شناسایی کرد و اقدامات کنترلی انجام داد. مطالعه‌ای در نیوزیلند از هوش مصنوعی برای شناسایی گونه‌های مهاجم گیاهی استفاده کرد و نتایج مؤثری ارائه داد (Walsh et al., 2020).

– پایش سلامت اکوسیستم

هوش مصنوعی می‌تواند به پایش سلامت اکوسیستم‌ها کمک کند. با استفاده از داده‌های محیطی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، می‌توان سلامت اکوسیستم‌ها را ارزیابی و مناطق نیازمند اقدامات حفاظتی را شناسایی کرد. مطالعه‌ای در کانادا از هوش مصنوعی برای پایش سلامت اکوسیستم‌های جنگلی استفاده کرد و نتایج دقیقی ارائه داد (Wulder et al., 2019).

– مشارکت عمومی

هوش مصنوعی می‌تواند به جمع‌آوری و تحلیل داده‌های علوم شهروندی کمک کند. با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر و متن، می‌توان داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط عموم مردم را تحلیل کرد و به شناسایی نقاط داغ تنوع زیستی کمک نمود. مطالعه‌ای در ایالات متحده از هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌های علوم شهروندی در شناسایی گونه‌های پرندگان استفاده کرد و نتایج قابل‌توجهی ارائه داد (Dickinson et al., 2012).

ج) اینترنت اشیا (IoT) و حسگرها

استقرار حسگرهای هوشمند در نقاط داغ تنوع زیستی، امکان جمع‌آوری داده‌های بلندمدت را در مورد شرایط آب‌وهوایی، کیفیت آب و خاک، رفتار حیوانات و سایر پارامترهای مهم فراهم می‌کند. این داده‌ها، به مدیران مناطق حفاظت‌شده کمک می‌کنند تا تغییرات محیطی را به‌سرعت شناسایی کنند و اقدامات لازم را برای مقابله با تهدیدها انجام دهند (Porter et al., 2004).

د) واقعیت افزوده (AR) (Augmented Reality) و واقعیت مجازی (VR) (Virtual Reality)

این فناوری‌ها امکان ایجاد تجربیات غنی و جذاب را برای بازدیدکنندگان و جوامع محلی فراهم می‌کنند. با استفاده از AR و VR، می‌توان به افراد امکان داد تا به‌صورت مجازی در زیستگاه‌های دورافتاده و ناشناخته کاوش کنند، با گونه‌های نادر آشنا شوند و اهمیت حفاظت از تنوع زیستی را درک کنند

ه) تحلیل ژنتیکی

تحلیل ژنتیکی گونه‌ها به شناسایی مناطق با تنوع ژنتیکی بالا کمک می‌کند. این مناطق اغلب به‌عنوان نقاط داغ تنوع زیستی در نظر گرفته می‌شوند، زیرا تنوع ژنتیکی بالا نشان‌دهنده پتانسیل بالایی سازگاری و بقای گونه‌هاست (Moritz, 2002). در مناطق داغی مانند کلمبیا و ماداگاسکار، نمونه‌برداری از آب و خاک برای استخراج DNA محیطی، حضور گونه‌های نادر مانند دوزیستان و ماهیان را بدون نیاز به مشاهده مستقیم آشکار می‌کند. این روش، هزینه‌های مطالعات میدانی را تا ۶۰ درصد کاهش می‌دهد. بیوتکنولوژی و مهندسی ژنتیک، نقش مهمی در حفظ و بازیابی گونه‌های در معرض خطر دارد. دانشمندان می‌توانند با استفاده از تکنیک‌هایی مانند کشت سلولی و فناوری‌های ژنتیکی، گونه‌های نادر و در معرض خطر را تکثیر و ذخیره ژنتیکی آنها را حفظ کنند. همچنین، فناوری‌های ژنتیکی به آنها اجازه می‌دهد تا گونه‌های مقاوم به بیماری‌ها یا تغییرات اقلیمی را شناسایی و توسعه دهند.

و) بلاکچین و شفافیت مالی

پلتفرم‌هایی مانند J-Palm در لیبریا از بلاکچین برای ردیابی زنجیره تأمین روغن نخل پایدار استفاده می‌کنند. این فناوری تضمین می‌کند که محصولات از مناطق حفاظت‌شده غیرقانونی تهیه نشده‌اند.

ز) ارزیابی خدمات اکوسیستمی

ارزیابی خدمات اکوسیستمی نیز به‌عنوان یک روش مکمل در شناسایی نقاط داغ تنوع زیستی مطرح شده است. مناطقی که خدمات اکوسیستمی بالایی ارائه می‌دهند، اغلب دارای تنوع زیستی بالایی هستند و باید در اولویت حفاظت قرار گیرند (MEA, 2005).

ح) مطالعات موردی بین‌المللی

پروژه Wildlife Insights

این پروژه با استفاده از هوش مصنوعی و تصاویر دوربین‌های تله‌ای، به شناسایی و پایش گونه‌های جانوری در سراسر جهان کمک می‌کند. این اطلاعات، برای حفاظت از گونه‌های در معرض خطر و مدیریت مؤثرتر مناطق حفاظت‌شده بسیار ارزشمند است.

پروژه Rainforest Connection

این پروژه با استفاده از تلفن‌های همراه بازیافتی و فناوری تشخیص صدا، به شناسایی فعالیت‌های مخرب مانند قطع درختان و شکار غیرمجاز کمک می‌کند.

پروژه LANDFIRE

این پروژه با ترکیب داده‌های ماهواره‌ای و هوش مصنوعی، نقشه‌های دقیقی از اکوسیستم‌های طبیعی، پیش از دخالت انسان در آمریکای شمالی ایجاد کرده است. این داده‌ها برای بازسازی جنگل‌های تخریب‌شده در نقاط داغی مانند کالیفرنیا استفاده می‌شوند.

پلتفرم iNaturalist

با مشارکت ۱/۵ میلیون کاربر در سراسر جهان، این اپلیکیشن از هوش مصنوعی برای شناسایی گونه‌ها از طریق عکس‌های ارسالی کاربران استفاده می‌کند. داده‌های جمع‌آوری‌شده به نقشه‌برداری تنوع زیستی در مناطق داغی مانند فیلیپین کمک کرده است.

وضعیت نقاط داغ تنوع زیستی در ایران

از آنجایی که ایران دارای بیش از ۸۰۰۰ آرایه یا تاکسون گیاهی است که حدود ۲۵۰۰ گونه از آن انحصاری هستند، بررسی و حفاظت از این تنوع گیاهی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با استفاده از این تکنیک‌ها، می‌توان مناطقی با غنای گونه‌ای بالا، پوشش گیاهی نادر و ارزش حفاظتی استثنایی را شناسایی و برای مدیریت بهتر و حفاظت مؤثرتر برنامه‌ریزی کرد.

نقطه داغ ایران-آناتولی و نقطه داغ قفقاز، هر دو از نقاط داغ تنوع زیستی در ایران هستند، اما تفاوت‌هایی در موقعیت جغرافیایی، وسعت، پوشش گیاهی باقی‌مانده، تعداد گونه‌های انحصاری، تراکم جمعیت انسانی و میزان حفاظت دارند (شکل ۲).

نقطه داغ ایران-آناتولی

این نقطه، شامل غرب و رشته‌کوه‌های زاگرس، البرز و کوه‌های شمال شرق

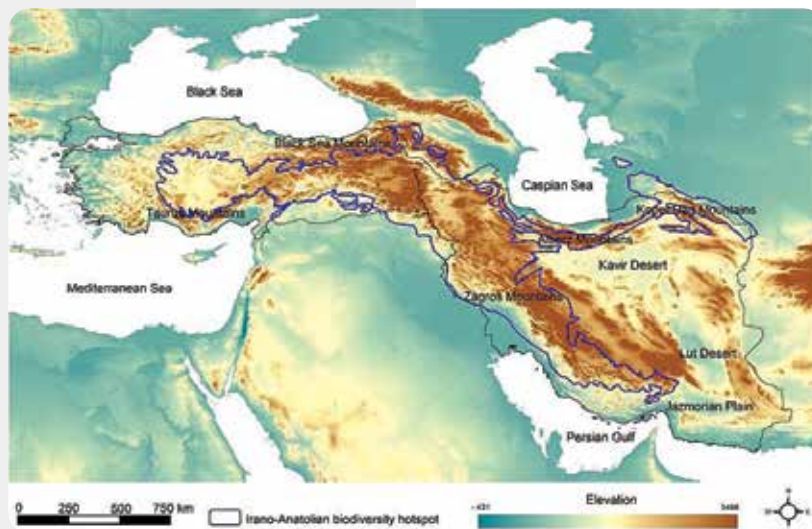
ایران است. این منطقه بخش بزرگی از مرکز و شرق ترکیه، بخش کوچکی از جنوب گرجستان، استان نخجوان آذربایجان، بیشتر ارمنستان، شمال شرق عراق و شمال منطقه کپه‌داغ در ترکمنستان را نیز دربرمی‌گیرد. تراکم جمعیت انسانی در این منطقه ۵۸ نفر در هر کیلومترمربع است. مساحت این منطقه ۸۹۹،۷۷۳ کیلومترمربع است که فقط در ۱۳۴،۹۹۶ کیلومترمربع از آن، پوشش گیاهی باقی‌مانده است. بیش از ۵۶،۱۹۳ کیلومترمربع از این منطقه تحت حفاظت قرار دارد (شکل ۳).

نقطه داغ قفقاز

این نقطه، شامل جنگل‌های ارسباران و جنگل‌های شمال ایران است. این منطقه کشورهای گرجستان، ارمنستان، آذربایجان، بخش قفقاز روسیه، شمال شرق ترکیه و شمال غرب ایران را دربرمی‌گیرد. نقطه داغ قفقاز در جنوب به نقطه داغ ایران-آناتولی می‌رسد. مساحت این منطقه ۵۳۲،۶۵۸ کیلومترمربع است که فقط در ۱۴۳،۸۱۸ کیلومترمربع از آن، پوشش



شکل ۲- دو کانون تنوع زیستی (قفقاز و ایران-آناتولی)



شکل ۳- نقطه داغ ایران-آناتولی از نقاط داغ تنوع زیستی در ایران

گیاهی باقی مانده است. تراکم جمعیت انسانی در این منطقه ۶۸ نفر در هر کیلومتر مربع است. حدود ۴۲,۷۲۱ کیلومتر مربع از این منطقه تحت حفاظت قرار دارد.

مطالعات انجام شده در زمینه شناسایی نقاط داغ تنوع زیستی و استفاده از روش های نوین مانند سنجش از دور (RS)، GIS، مدل سازی زیستگاه و هوش مصنوعی در ایران

در ایران، مطالعات متعددی در زمینه شناسایی نقاط داغ تنوع زیستی و استفاده از روش های نوین مانند سنجش از دور، GIS، مدل سازی زیستگاه و هوش مصنوعی در حوزه کشاورزی و منابع طبیعی انجام شده است. در ادامه، به برخی از این مطالعات و نتایج آنها اشاره می شود.

شاخص غنای گونه ای

در ایران، مطالعات متعددی از شاخص غنای گونه ای برای شناسایی مناطق با تنوع زیستی بالا استفاده کرده اند. به عنوان مثال، مطالعه ای در منطقه زاگرس مرکزی نشان داد، این منطقه به دلیل غنای گونه ای بالا، به ویژه در گونه های گیاهی، به عنوان یک نقطه داغ تنوع زیستی در ایران شناخته می شود. این مطالعه از داده های حضور گونه های گیاهی استفاده کرد و نشان داد، مناطق با پوشش جنگلی متراکم بالاترین غنای گونه ای را دارند. مطالعه دیگری در شمال ایران (جنگل های هیرکانی) نیز از شاخص غنای گونه ای برای شناسایی مناطق با تنوع زیستی بالا استفاده کرد. نتایج نشان داد، این جنگل ها به دلیل حضور گونه های اندمیک و نادر، از اهمیت بالایی برای حفاظت برخوردار هستند. این مطالعه همچنین نشان داد، فعالیت های انسانی مانند قطع درختان و تغییر کاربری اراضی، تنوع زیستی این مناطق را تهدید می کند (Sagheb-Talebi et al., 2014). منطقه حفاظت شده ارسباران در شمال غرب ایران با بیش از ۱۰۰۰ تاکسون گیاهی در سطحی حدود ۷۰۰۰۰ هکتار، یکی از مناطق منحصربه فرد از نظر غنای گونه ای در دنیاست (حمزه و همکاران، ۱۳۸۸).

تکنیک های سنجش از دور (RS) و GIS

در ایران، فناوری های سنجش از دور و GIS به طور گسترده ای برای شناسایی مناطق با تنوع زیستی بالا و بررسی تغییرات پوشش گیاهی استفاده شده اند. به عنوان مثال، طی مطالعه ای در منطقه ارسباران از تکنیک های سنجش از دور برای بررسی تغییرات پوشش جنگلی و شناسایی مناطق در معرض تهدید استفاده شد. نتایج نشان داد، مناطق با نرخ بالای تخریب زیستگاه، تنوع زیستی کمتری دارند. این مطالعه همچنین نشان داد، مناطق حفاظت شده به طور مؤثری از تنوع زیستی محافظت می کنند (تقی پور و همکاران، ۱۳۹۹). از تکنیک های GIS برای تحلیل توزیع جغرافیایی و تعیین مناطق با غنای گونه ای بالا استفاده شده است (Noroozi et al., 2019). پژوهشگران در مطالعه ای با عنوان «نقشه برداری پوشش جنگلی زاگرس با Sentinel-2» با استفاده از تصاویر ماهواره ای Sentinel-2 و داده های میدانی، پوشش جنگلی زاگرس را نقشه برداری کردند. نتایج آنها نشان داد، این منطقه به دلیل تغییرات کاربری اراضی و آتش سوزی ها در معرض تهدید قرار دارد. این مطالعه اطلاعات پایه ای برای مدیریت بهتر جنگل های زاگرس فراهم کرده

است (Eskandari et al., 2020). مطالعه ای با عنوان «شناسایی نقاط داغ گیاهان آبی در منطقه ایران- آنتولی» به شناسایی نقاط داغ گیاهان آبی با استفاده از شاخص های تنوع زیستی مانند غنای گونه ای و پراکنش بومزادی پرداخته است (Noroozi et al., 2023). محققان در مطالعه ای با عنوان «توزیع تک لپه ای های ایران» به بررسی ۱۵۲ گونه تک لپه ای در ایران پرداختند و نشان دادند، ۷۰ درصد این گونه ها در رشته کوه های زاگرس و البرز متمرکز هستند. نقشه برداری با استفاده از GIS و داده های میدانی انجام شده و مناطق اولویت دار برای حفاظت مشخص شده اند (Sayadi et al., 2021). مطالعه ای با عنوان «اولویت بندی حفاظت جنگل های بلوط زاگرس» تأثیر آتش سوزی را بر جنگل های بلوط زاگرس بررسی کرده و نشان داده است، نرخ سالانه آتش سوزی ۷۶/۲ مورد است. همچنین، از داده های MODIS برای شناسایی مناطق آسیب دیده استفاده شد و نتایج بر اهمیت مدیریت پیشگیرانه تأکید داشت (Sayahnia et al., 2024). مطالعه با عنوان «مدل سازی الگوی تخریب جنگل ها در ایلام»، با استفاده از GIS و رگرسیون لجستیک، الگوی تخریب جنگل ها را در استان ایلام پیش بینی کرد. نتایج نشان داد، نزدیکی به جاده ها و مناطق مسکونی عوامل اصلی تخریب هستند (ارخی، ۱۳۹۳).

مدل سازی مطلوبیت زیستگاه

در ایران، نرم افزار MaxEnt برای مدل سازی زیستگاه گونه های مختلف استفاده شده است. به عنوان مثال، مطالعه ای در منطقه زاگرس از MaxEnt برای مدل سازی زیستگاه گونه های گیاهی اندمیک استفاده کرد (Mah-moodi et al., 2022).

بررسی پوشش گیاهی و تخریب زیستگاه

در ایران، مطالعات متعددی به بررسی پوشش گیاهی و تأثیر تخریب زیستگاه بر تنوع زیستی پرداخته اند. به عنوان مثال، مطالعه ای در منطقه کویر مرکزی ایران نشان داد، مناطق با پوشش گیاهی دست نخورده دارای بالاترین غنای گونه ای هستند. این مطالعه همچنین نشان داد، فعالیت های انسانی مانند چرای بی رویه و تغییر کاربری اراضی، تنوع زیستی این مناطق را تهدید می کنند (Zare Chahouki et al., 2010).

استفاده از هوش مصنوعی

در ایران، استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در حوزه کشاورزی و منابع طبیعی در حال توسعه است. به عنوان مثال، مطالعه ای در جنگل های هیرکانی از الگوریتم های یادگیری ماشین برای پیش بینی غنای گونه ای دیگر در منطقه شمال ایران از هوش مصنوعی برای پیش بینی تأثیر تغییرات اقلیمی بر پراکنش گونه *Aegilops tauschii* استفاده کرد (Mahmoodi et al., 2024).

چالش ها و راهکارها

الف) چالش ها

یکی از مهم ترین چالش ها در زمینه حفاظت از نقاط داغ تنوع زیستی،



کمیود منابع مالی و انسانی است. بسیاری از این مناطق، در کشورهای در حال توسعه واقع شده‌اند که با مشکلات اقتصادی و اجتماعی متعددی روبه‌رو هستند و نمی‌توانند منابع کافی را به حفاظت از تنوع زیستی اختصاص دهند. علاوه‌براین، کمیود متخصصان آموزش‌دیده در زمینه حفاظت، مدیریت و پایش تنوع زیستی از دیگر موانع جدی در این زمینه است. نبود هماهنگی بین سازمان‌های مختلف دولتی و غیردولتی، که در زمینه حفاظت از تنوع زیستی فعالیت می‌کنند، یکی دیگر از چالش‌های مهم است. در مواردی، اهداف و برنامه‌های این سازمان‌ها با یکدیگر هم‌خوانی ندارند و حتی ممکن است در تضاد با یکدیگر باشند. این مسئله، می‌تواند منجر به اتلاف منابع و کاهش اثربخشی تلاش‌های حفاظتی شود. نبود مشارکت جوامع محلی در برنامه‌های حفاظتی، یکی دیگر از چالش‌های اساسی است. بسیاری از نقاط داغ تنوع زیستی، محل زندگی جوامع بومی و محلی هستند که به‌طور مستقیم از منابع طبیعی این مناطق برای امرار معاش خود استفاده می‌کنند. نادیده‌گرفتن نیازها و حقوق این جوامع، می‌تواند منجر به مقاومت آنها در برابر برنامه‌های حفاظتی و در نتیجه، شکست این برنامه‌ها شود. رشد جمعیت و توسعه شهرها و زیرساخت‌های انسانی مانند جاده‌ها، فشار بیشتری را بر مناطق حفاظت‌شده وارد می‌کند. این توسعه منجر به از دست‌دادن زیستگاه‌ها و افزایش تلفات حیات وحش می‌شود. تغییر کاربری اراضی، به‌ویژه تبدیل جنگل‌ها و مراتع به زمین‌های کشاورزی و مسکونی، یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب تنوع زیستی است. تغییرات آب‌وهوایی، با ایجاد خشک‌سالی‌ها، سیل‌ها و تغییر در الگوهای بارندگی، اثرهای منفی زیادی بر تنوع زیستی دارد. آلودگی هوا، آب و خاک، سلامت اکوسیستم‌ها و گونه‌های مختلف را تهدید می‌کند.

ب) راهکارها (گامی به سوی حفاظت مؤثر)

برای غلبه بر این چالش‌ها و حفاظت مؤثر از نقاط داغ تنوع زیستی، لازم است راهکارهای جامعی به‌شرح زیر اتخاذ شود:

افزایش سرمایه‌گذاری در تحقیقات علمی، می‌تواند به درک بهتر تنوع زیستی این مناطق، شناسایی تهدیدهای موجود و ارائه راهکارهای مؤثر برای حفاظت از آنها کمک کند. آموزش و توانمندسازی جوامع محلی، می‌تواند نقش مهمی در حفاظت از نقاط داغ تنوع زیستی ایفا کند. با آموزش جوامع محلی درمورد اهمیت تنوع زیستی و ارائه راهکارهای جایگزین برای امرار معاش، می‌توان آنها را به حامیان اصلی برنامه‌های حفاظتی تبدیل کرد. برنامه‌های مدیریت جامع و مشارکتی، که با مشارکت تمامی ذی‌نفعان، از جمله سازمان‌های دولتی، جوامع محلی و بخش خصوصی تدوین شده باشند، می‌توانند به هماهنگ‌شدن تلاش‌های حفاظتی و تخصیص بهینه منابع کمک کنند. این برنامه‌ها باید با در نظر گرفتن نیازها و حقوق جوامع محلی و با هدف توسعه پایدار تدوین شوند. ایجاد مناطق حفاظت‌شده یکی از مؤثرترین راهکارها برای حفظ تنوع زیستی است. ترویج گردشگری مسئولانه، می‌تواند به ایجاد درآمد برای جوامع محلی و افزایش آگاهی عمومی درمورد اهمیت تنوع زیستی کمک کند. گردشگری مسئولانه باید به گونه‌ای طراحی شود که کمترین آسیب را به محیط‌زیست وارد کند و منافع آن به‌طور عادلانه بین جوامع محلی توزیع شود. افزایش آگاهی عمومی درمورد اهمیت تنوع زیستی و تهدیدهای موجود، می‌تواند

نقش مهمی در جلب حمایت مردم از برنامه‌های حفاظتی ایفا کند. این آگاهی‌رسانی می‌تواند از طریق رسانه‌ها، مدارس و سایر کانال‌های ارتباطی انجام شود. تلاش برای حفاظت از مناطق وسیع‌تر به‌جای تمرکز بر مناطق کوچک و مجزا، با ایجاد کریدورهای ارتباطی بین زیستگاه‌ها و حفاظت از کل سیمای سرزمین، می‌تواند اثربخشی بیشتری داشته باشد. ضروری است، برنامه‌ریزی مکانی برای تعیین مناطق مناسب برای توسعه و حفاظت، با هدف کاهش تعارض بین فعالیت‌های انسانی و حفظ تنوع زیستی انجام شود. رویکرد مدیریت سازگار، با ارزیابی و استمرار و توسعه برنامه‌های حفاظتی براساس نتایج پایش و بازخورد ذی‌نفعان اجرا شود. تقویت همکاری بین‌المللی، با تبادل اطلاعات، تجربیات و منابع مالی و فنی، می‌تواند به حفاظت مؤثرتر از نقاط داغ تنوع زیستی در سراسر جهان کمک کند. با اتخاذ این راهکارها و تلاش برای غلبه بر چالش‌های موجود، می‌توان گامی مؤثر برای حفاظت از نقاط داغ تنوع زیستی برداشت و از نابودی این گنجینه‌های ارزشمند برای نسل‌های آینده جلوگیری کرد.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت حیاتی نقاط داغ تنوع زیستی در ایران و جهان، به‌عنوان ذخایر غنی گونه‌های بومی و انحصاری و ارائه‌دهندگان خدمات اکوسیستمی، استفاده از فناوری‌های نوین مانند سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، هوش مصنوعی (AI) و حسگرهای IoT همراه با ادغام دانش بومی و مشارکت جوامع محلی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. این فناوری‌ها با افزایش ۵۰ درصدی سرعت شناسایی تهدیدها (مانند تغییر کاربری اراضی و شکار غیرقانونی) و ارائه راهکارهای مبتنی بر داده، همچون پروژه موفق Smart Parks در آفریقای جنوبی (با ۴۰ درصد کاهش شکار)، اثربخشی خود را نشان داده‌اند. ایجاد بانک‌های ژن دیجیتال مانند Earth Bank of Codes و مدل‌سازی زیستگاه‌ها نیز از ابزارهای کلیدی برای حفاظت هوشمند هستند. با این حال، موفقیت این اقدامات نیازمند همکاری بین‌المللی، سرمایه‌گذاری در آموزش، تقویت قوانین حفاظتی و برنامه‌ریزی جامع با تمرکز بر کاهش تهدیدهای انسانی است. حفاظت مؤثر از این گنجینه‌های طبیعی، مسئولیتی مشترک میان دولت‌ها، سازمان‌ها و جوامع محلی است تا با ادغام فناوری و دانش سنتی، پایداری اکوسیستم‌ها و رفاه نسل‌های آینده را تضمین کنند.

منابع

- آرخی، ص.، ۱۳۹۳. پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM در محیط GIS (مطالعه موردی: منطقه سراپله). نشریه تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران. ۱۲ (۱): ۱۹-۱.
- تقی‌پور، ص.، قدس‌خواه دریایی، م. و حیدری صفری کوچی، ا.، ۱۳۹۹. بررسی تغییرات پوشش جنگل و مرتع زیست‌بوم ارسباران طی ۳۴ سال با کاربرد تکنیک سنجش از دور. مجله حفاظت زیست‌بوم گیاهان، ۸ (۱۷): ۱۳۹-۱۵۶.
- حمزه، ب.، صفوی، ر.، عصری، ی. و جلیلی، ع.، ۱۳۸۸. تجزیه و تحلیل فلوربستیکی و توصیف مقدماتی پوشش گیاهی ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران، شمال غرب ایران. مجله رستنی‌ها، ۱۱ (۱): ۱۶-۱.

Ahmadi, K., Mahmoodi, S., Pal, S.C., Saha, A., Chowdhuri,

2003. A conservation plan for a global biodiversity hotspot-the Cape Floristic Region, South Africa. *Biological Conservation*, 112 (1-2): 191-216. 10.1016/S0006-3207(02)00425-1.
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P. and Naeem, S., 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486 (7401): 59-67. 10.1038/nature11148.
- Chazdon, R.L., Brancalion, P.H., Laestadius, L., Bennett-Curry, A., Buckingham, K., Kumar, C. and Wilson, S.J., 2016. When is a forest a forest?. *Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration*. *Ambio*, 45(5): 538-550. 10.1007/s13280-016-0772-y.
- Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I. and Turner, R.K., 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26: 152-158. 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002.
- Corlett, R.T. and Primack, R.B., 2011. *Tropical rain forests: an ecological and biogeographical comparison*. John Wiley & Sons.
- Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M., Schellhorn, N., Zhang, W., Robinson, B.E., Gratton, C. and Karp, D.S., 2019. Measuring what matters: actionable information for conservation biocontrol in multifunctional landscapes. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3 (60)0.3389/fsufs.2019.00060.
- Díaz, S.M., Settele, J., Brondízio, E., Ngo, H., Guèze, M., Agard, J. and Zayas, C., 2019. The global assessment report on biodiversity and ecosystem services: Summary for policy makers.
- De Bem, P.P., de Carvalho Junior, O.A., Fontes Guimarães, R. and Trancoso Gomes, R.A., 2020. Change detection of deforestation in the Brazilian Amazon using landsat data and convolutional neural networks. *Remote Sensing*, 12(6): 901. 10.3390/rs12060901.
- Dickinson, J.L., Shirk, J., Bonter, D., Bonney, R., Crain, R.L., Martin, J. and Purcell, K., 2012. The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6): 291-297. 10.1890/110236.
- Elisabetsky, E., 1991. Sociopolitical, economical and ethical issues in medicinal plant research. *Journal of Ethnopharmacology*, 32 (1-3): 235-239. 10.1016/0378-8741(91)90124-V.
- Elith, J., Leathwick, J.R. and Hastie, T., 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, 77 (4): 802-813. 10.1111/j.1365-2656.2008.01390.x.
- Eskandari, S., Reza Jaafari, M., Oliva, P., Ghorbanzadeh, O. and Blaschke, T., 2020. Mapping land cover and tree canopy cover in Zagros forests of Iran: Application of Sentinel-2, Google Earth, and field data. *Remote Sensing*, 12 (12): 1912. 10.3390/rs12121912.
- Faith, D.P., 1992. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological Conservation*, 61 (1): 1-10. 10.1016/0006-3207(92)91201-3.
- Joppa, L.N., O'Connor, B., Visconti, P., Smith, C., Geldmann, J., Hoffmann, M. and Burgess, N.D., 2016. Filling in biodiversity threat gaps. *Science*, 352 (6284): 416-418. 10.1126/science.aaf356.
- Jones, P.J., 1994. Biodiversity in the Gulf of Guinea: an overview. *Biodiversity & Conservation*, 3: 772-784. 10.1007/BF00129657.
- Hooper, D.U., Adair, E.C., Cardinale, B.J., Byrnes, J.E., Hungate, B.A., Matulich, K.L. and O'Connor, M.I., 2012. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major
- I., Kolyaie, S. and Kumar, L., 2023. Modeling tree species richness patterns and their environmental drivers across Hyrcanian Mountain forests. *Ecological Informatics*, 77: 102226. 10.1016/j.ecoinf.2023.102226.
- Antonelli, A., Zizka, A., Carvalho, F.A., Scharn, R., Bacon, C.D., Silvestro, D. and Condamine, F.L., 2018. Amazonia is the primary source of Neotropical biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115 (23): 6034-6039. 10.1073/pnas.1713819115.
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Henao, A. and Lana, M.A., 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35 (3): 869-890. 10.1007/s13593-015-0285-2.
- Brooks, T.M., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Da Fonseca, G.A., Rylands, A.B., Konstant, W.R. and Hilton-Taylor, C., 2002. Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Conservation Biology*, 16 (4): 909-923. 10.1046/j.1523-1739.2002.00530.
- Brooks, T.M., Mittermeier, R.A., Da Fonseca, G.A., Gerlach, J., Hoffmann, M., Lamoreux, J. F. and Rodrigues, A.S., 2006. Global biodiversity conservation priorities. *Science*, 313 (5783): 58-61. 10.1126/science.1127609.
- Bouchet, P.J., Meeuwig, J.J., Huang, Z., Letessier, T.B., Nichol, S.L., Caley, M.J. and Watson, R.A., 2017. Continental scale hotspots of pelagic fish abundance inferred from commercial catch records. *Global Ecology and Biogeography*, 26 (10): 1098-1111. 10.1111/geb.12619.
- Burke, L. and Spalding, M., 2022. Shoreline protection by the world's coral reefs: Mapping the benefits to people, assets, and infrastructure. *Marine Policy*, 146: 105311. 10.1016/j.marpol.2022.105311.
- Buytaert, W., Céleri, R., & Timbe, L. (2009). Predicting climate change impacts on water resources in the tropical Andes: Effects of GCM uncertainty. *Geophysical Research Letters*, 36 (7): L07406. 10.1029/2008GL037048.
- Butchart, S.H., Clarke, M., Smith, R.J., Sykes, R.E., Scharlemann, J.P., Harfoot, M. and Burgess, N.D., 2015. Shortfalls and solutions for meeting national and global conservation area targets. *Conservation Letters*, 8 (5): 329-337. 10.1111/conl.12158.
- Bascompte, J., Jordano, P., Melián, C.J. and Olesen, J.M., 2003. The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100 (16): 9383-9387. 10.1073/pnas.1633576100.
- Benayas, J.M.R., Newton, A.C., Diaz, A. and Bullock, J.M., 2009. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science*, 325 (5944): 1121-1124. 10.1126/science.1172460.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. and Courchamp, F., 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15(4): 365-377. 10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x.
- Byrne, B., Liu, J., Lee, M., Yin, Y., Bowman, K.W., Miyazaki, K. and Paton-Walsh, C., 2021. The carbon cycle of southeast Australia during 2019–2020: Drought, fires, and subsequent recovery. *AGU Advances*, 2(4): e2021AV000469. 10.1029/2021AV000469.
- Berkes, F., 2004. Rethinking community-based conservation. *Conservation Biology*, 18 (3): 621-630. 10.1111/j.1523-1739.2004.00077.x.
- Bascompte, J. and Jordano, P., 2007. Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38(1): 567-593. 10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095818.
- Cowling, R.M., Pressey, R.L., Rouget, M. and Lombard, A.T.,



- ing conservation priorities across taxa in Madagascar with high-resolution planning tools. *Science*, 320 (5873): 222-226. 10.1126/science.1155193
- Laurance, W.F., Carolina Useche, D., Rendeiro, J., Kalka, M., Bradshaw, C.J., Sloan, S.P. and Scott McGraw, W., 2012. Averting biodiversity collapse in tropical forest protected areas. *Nature*, 489 (7415): 290-294. 10.1038/nature11318
- Laurance, W.F., Croes, B.M., Tchignoumba, L., Lahm, S.A., Alonso, A., Lee, M.E. and Ondzeano, C., 2006. Impacts of roads and hunting on central African rainforest mammals. *Conservation Biology*, 20(4): 1251-1261. 10.1111/j.1523-1739.2006.00420.x
- Li, J., Qu, X., Su, L., Zhang, W., Yang, D., Kolandhasamy, P. and Shi, H., 2016. Microplastics in mussels along the coastal waters of China. *Environmental Pollution*, 214: 177-184. 10.1016/j.envpol.2016.04.012
- Malhi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Killeen, T.J., Li, W. and Nobre, C.A., 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *science*, 319 (5860): 169-172. 10.1126/science.1146961
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858. 10.1038/35002501.
- Mahmoodi, S., Ahmadi, K., Zahravi, M. and Karami, O., 2022. Modeling of Iranian oak distribution in the south-west of Iran based on the presence-based approach Maximum Entropy (MaxEnt). *Forest Research and Development*, 8(2): 113-131. 10.30466/jfrd.2021.53916.1576.
- Mittermeier, R.A., Fonseca, G.A., Rylands, A.B. and Brandon, K., 2005. Uma breve história da conservação da biodiversidade no Brasil. *Megadiversidade*, 1(1): 14-21.
- Mahmoodi, S., Jaffar Aghaei, M., Ahmadi, K. and Naghibi, A., 2024. Climate-Change-Driven Shifts in *Aegilops tauschii* Species Distribution: Implications for Food Security and Ecological Conservation. *Diversity*, 16(4): 241. 10.3390/d16040241
- MEA, 2005. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press.
- Moritz, C., 2002. Strategies to protect biological diversity and the evolutionary processes that sustain it. *Systematic Biology*, 51(2): 238-254. 10.1080/10635150252899752.
- Maxwell, S.L., Fuller, R.A., Brooks, T.M. and Watson, J.E., 2016. Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature*, 536 (7615): 143-145. 10.1038/536143a.
- Nepstad, D., Soares-Filho, B.S., Merry, F., Lima, A., Moutinho, P., Carter, J. and Stella, O., 2009. The end of deforestation in the Brazilian Amazon. *Science*, 326 (5958): 1350-1351. 10.1126/science.1182108.
- Nater, A., Mattle-Greminger, M.P., Nurcahyo, A., Nowak, M.G., De Manuel, M., Desai, T. and Krützen, M., 2017. Morphometric, behavioral, and genomic evidence for a new orangutan species. *Current Biology*, 27(22): 3487-3498. 10.1016/j.cub.2017.09.047.
- Newbold, T., Hudson, L.N., Arnell, A.P., Contu, S., De Palma, A., Ferrier, S. and Purvis, A., 2016. Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science*, 353 (6296): 288-291. 10.1126/science.aaf220.
- Noss, R.F., Platt, W.J., Sorrie, B.A., Weakley, A.S., Means, D.B., Costanza, J. and Peet, R.K., 2015. How global biodiversity hotspots may go unrecognized: lessons from the North American Coastal Plain. *Diversity and Distributions*, 21(2): 236-244. 10.1111/ddi.12278.
- driver of ecosystem change. *Nature*, 486 (7401): 105-108. 10.1038/nature11118.
- Harris, N.L., Gibbs, D.A., Baccini, A., Birdsey, R.A., De Bruin, S., Farina, M. and Tyukavina, A., 2021. Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change*, 11(3): 234-240. 10.1038/s41558-020-00976-6.
- Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A. and Townshend, J.R., 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342 (6160): 850-853. 10.1126/science.1244693.
- Hansen, S.E. and Nyblade, A.A., 2013. The deep seismic structure of the Ethiopia/Afar hotspot and the African superplume. *Geophysical Journal International*, 194 (1): 118-124. 10.1093/gji/ggt116.
- Hoorn, C., Wesselingh, F.P., Ter Steege, H., Bermudez, M.A., Mora, A., Sevink, J. and Antonelli, A., 2010. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *Science*, 330 (6006): 927-931. 10.1126/science.1194585.
- Hoban, S., Bruford, M., Jackson, J.D.U., Lopes-Fernandes, M., Heuertz, M., Hohenlohe, P.A. and Laikre, L., 2020. Genetic diversity targets and indicators in the CBD post-2020 Global Biodiversity Framework must be improved. *Biological Conservation*, 248: 108654. 10.1016/j.biocon.2020.108654.
- Isbell, F., Gonzalez, A., Loreau, M., Cowles, J., Díaz, S., Hector, A. and Larigauderie, A., 2017. Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales. *Nature*, 546 (7656): 65-72. 10.1038/nature22899.
- Hampton, S.E., Strasser, C.A., Tewksbury, J.J., Gram, W.K., Budden, A.E., Batcheller, A.L. and Porter, J.H., 2013. Big data and the future of ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3): 156-162. 10.1890/120103.
- Gibbs, H.K., Ruesch, A.S., Achard, F., Clayton, M.K., Holmgren, P., Ramankutty, N. and Foley, J.A., 2010. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107 (38): 16732-16737. 10.1073/pnas.0910275107.
- Gadgil, M., Berkes, F. and Folke, C., 1993. Indigenous knowledge for biodiversity conservation. *AMBIO-STOCKHOLM*, 22, 151-151. 10.1017/9781009177856.042.
- Garnett, S.T., Burgess, N.D., Fa, J.E., Fernández-Llamazares, Á., Molnár, Z., Robinson, C.J. and Leiper, I., 2018. A spatial overview of the global importance of Indigenous lands for conservation. *Nature Sustainability*, 1(7): 369-374. OCKHOLM-, 22, 151-151. 10.1017/9781009177856.042.
- Gaveau, D.L., Sloan, S., Molidena, E., Yaen, H., Sheil, D., Abram, N. K. and Meijaard, E., 2014. Four decades of forest persistence, clearance and logging on Borneo. *PloS one*, 9(7): e101654. 10.1371/journal.pone.0101654.
- Garnett, S.T., Burgess, N.D., Fa, J.E., Fernández-Llamazares, Á., Molnár, Z., Robinson, C.J. and Leiper, I., 2018. A spatial overview of the global importance of Indigenous lands for conservation. *Nature Sustainability*, 1(7): 369-374. 10.1038/s41893-018-0100-6.
- Goodman, S.M. and Benstead, J.P., 2005. Updated estimates of biotic diversity and endemism for Madagascar. *Oryx*, 39(1): 73-77. 10.1017/S0030605305000128.
- Kremen, C., Cameron, A., Moilanen, A., Phillips, S.J., Thomas, C.D., Beentje, H. and Zjhra, M.L., 2008. Align-

- Biology, 22(2): 567-576. 10.1111/gcb.13078.
- Sagheb Talebi, K., Sajedi, T. and Pourhashemi, M., 2014. Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future (No. 15325). Springer Netherlands.
- Soares-Filho, B.S., Nepstad, D.C., Curran, L.M., Cerqueira, G.C., Garcia, R.A., Ramos, C.A. and Schlesinger, P., 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440 (7083): 520-523. 10.1038/nature04389.
- Sayadi, S., Mehrabian, A. and Mostafavi, H., 2021. Ecological database of genetic resources of eudicots crops wild relatives in Iran: in direction of domestication and food security. *Journal of Plant Biological Sciences*, 13(1): 55-82. 10.22108/ijpb.2021.128224.1245.
- Sayahnia, R., Ommi, S., Khoshnamvand, H., Salmanpour, F., Sadeghi, S.M.M. and Ahmadzadeh, F., 2024. Fire protection priorities in the oak forests of Iran with an emphasis on vertebrate habitat preservation. *Scientific Reports*, 14(1): 15624. 0.1038/s41598-024-65355-z.
- Triantis, K.A., Gullhaumon, F. and Whittaker, R.J., 2012. The island species–area relationship: biology and statistics. *Journal of Biogeography*, 39(2): 215-231. 10.1111/j.1365-2699.2011.02652.x.
- Tjørve, E., 2003. Shapes and functions of species–area curves: a review of possible models. *Journal of Biogeography*, 30(6): 827-835. 10.1046/j.1365-2699.2003.00877.x.
- Thorn, J.S., Nijman, V., Smith, D. and Nekaris, K.A.I., 2009. Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for Asian slow lorises (Primates: Nycticebus). *Diversity and Distributions*, 15(2): 289-298. 10.1111/j.1472-4642.2008.00535.x.
- Turner, B.L., Lambin, E.F. and Reenberg, A., 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52): 20666-20671. 10.1073/pnas.0704119104.
- Vieites, D.R., Wollenberg, K.C., Andreone, F., Köhler, J., Glaw, F. and Vences, M., 2009. Vast underestimation of Madagascar's biodiversity evidenced by an integrative amphibian inventory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(20): 8267-8272. 10.1073/pnas.0810821106.
- Watson, J.E., Dudley, N., Segan, D.B. and Hockings, M., 2014. The performance and potential of protected areas. *Nature*, 515(7525): 67-73. 10.1038/nature13947.
- Whittaker, R.J., Fernández-Palacios, J.M., Matthews, T.J., Borregaard, M.K. and Triantis, K.A., 2017. Island biogeography: taking the long view of nature's laboratories. *Science*, 357(6354), eaam8326. 10.1126/science.aam8326.
- Walsh, J.R., Hansen, G.J., Read, J.S. and Vander Zanden, M.J., 2020. Comparing models using air and water temperature to forecast an aquatic invasive species response to climate change. *Ecosphere*, 11(7): e03137. 10.1002/ecs2.3137.
- Wulder, M.A., Loveland, T.R., Roy, D.P., Crawford, C.J., Masek, J.G., Woodcock, C.E. and Zhu, Z., 2019. Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote sensing of environment*, 225: 127-147. 10.1016/j.rse.2019.02.015
- Zare Chahouki, M.A., Azarnivand, H., Jafari, M. and Tavili, A., 2010. Multivariate statistical methods as a tool for model-based prediction of vegetation types. *Russian Journal of Ecology*, 41: 84-94. 10.1134/S1067413610010169.
- Noroozi, J., Naqinezhad, A., Talebi, A., Doostmohammadi, M., Plutzer, C., Rumpf, S.B. and Schneeweiss, G.M., 2019. Hotspots of vascular plant endemism in a global biodiversity hotspot in Southwest Asia suffer from significant conservation gaps. *Biological Conservation*, 237: 299-307. 10.1016/j.biocon.2019.07.005.
- Noroozi, J., Minaei, M., Khalvati, S., Kaveh, A., Nafisi, H., Nazari, B. and Schneeweiss, G.M., 2023. Hotspots of (sub) alpine plants in the Irano-Anatolian global biodiversity hotspot are insufficiently protected. *Diversity and Distributions*, 29 (2): 244-253. 10.1111/ddi.13656.
- Norouzzadeh, M.S., Nguyen, A., Kosmala, M., Swanson, A., Palmer, M.S., Packer, C. and Clune, J., 2018. Automatically identifying, counting, and describing wild animals in camera-trap images with deep learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115 (25): E5716-E5725. 0.1073/pnas.1719367115.
- Oliver, T.H., Heard, M.S., Isaac, N.J., Roy, D.B., Procter, D., Eigenbrod, F. and Bullock, J.M., 2015. Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(11): 673-684. 10.1016/j.tree.2015.08.009
- Owen-Smith, N., 1987. Pleistocene extinctions: the pivotal role of megaherbivores. *Paleobiology*, 13(3): 351-362. 10.1017/S0094837300008927.
- Orme, C.D.L., Davies, R.G., Burgess, M., Eigenbrod, F., Pickup, N., Olson, V.A. and Owens, I.P., 2005. Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat. *Nature*, 436(7053):1016-9. 10.1038/nature03850.
- Primack, R. and Wilson, J.W., 2019. Conservation biology in sub-saharan Africa. Open Book Publishers.
- Pimm, S.L., Jenkins, C.N., Abell, R., Brooks, T.M., Gittleman, J.L., Joppa, L.N. and Sexton, J.O., 2014. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*, 344 (6187): 1246752.1016-1019. 10.1126/science.1246752.
- Porter, A.L. and Cunningham, S.W., 2004. Tech mining: Exploiting new technologies for competitive advantage. John Wiley & Sons.
- Puyravaud, J.P., Davidar, P. and Laurance, W.F., 2010. Cryptic destruction of India's native forests. *Conservation Letters*, 3(6): 390-394. 10.1111/j.1755-263X.2010.00141.x.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190 (3-4): 231-259. 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.
- Rahman, M.J., Ambigaipalan, P. and Shahidi, F., 2018. Biological activities of camelina and sophia seeds phenolics: inhibition of LDL oxidation, DNA damage, and pancreatic lipase and α -glucosidase activities. *Journal of food science*, 83(1): 237-245. 10.1111/1750-3841.14007.
- Roberts, C.M., McClean, C.J., Veron, J.E., Hawkins, J.P., Allen, G.R., McAllister, D.E. and Werner, T.B., 2002. Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science*, 295(5558): 1280-1284. 10.1126/science.1067728.
- Ribeiro, B.R., Sales, L.P., De Marco J.P. and Loyola, R., 2016. Assessing mammal exposure to climate change in the Brazilian Amazon. *PloS one*, 11(11): e0165073. 10.1371/journal.pone.0165073.
- Schuyler, Q.A., Wilcox, C., Townsend, K.A., Wedemeyer-Strombel, K.R., Balazs, G., van Sebille, E. and Haresty, B.D., 2016. Risk analysis reveals global hotspots for marine debris ingestion by sea turtles. *Global Change*