



استفاده از فناوری سنجش از دور در حفاظت از تنوع زیستی

دکتر منصوره ملکیان

استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

دکتر رضا جعفری

استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

استفاده از داده‌های سنجش از دور در تعیین مناطق با اهمیت از نظر تنوع زیستی، پیش بینی نحوه پراکنش گونه‌ها و مدل‌سازی پاسخ‌های جوامع زیستی به تغییرات طبیعی و انسانی یکی از موضوعات مهم در تحقیقات به شمار می‌رود. پارامترهای محیطی با داشتن خصوصیات زیست-فیزیکی معین می‌توانند بیانگر نحوه پراکنش و فراوانی گونه‌ها در سطح سرزمین بوده و چگونگی اشغال زیستگاه‌ها توسط گونه‌ها را نشان دهند. داده‌های جدید حاصل از فناوری دورسنجی امکان ترکیب آنها را با مدل‌های بوم‌شناختی برای پاسخگویی به سؤالات متعدد در زمینه تنوع زیستی فراهم ساخته‌اند. پیشرفت‌های اخیر در زمینه قدرت تفکیک مکانی و طیفی سنجنده‌ها، مطالعه جنبه‌های مختلف تنوع زیستی نظیر شناسایی اجتماعات گونه‌ای، برآورد غنای گونه‌ای، تعیین متغیرهای اقلیمی و بررسی ساختار زیستگاه را ممکن نموده است. در مواردی که تشخیص مستقیم یک موجود زنده ممکن نباشد با استفاده از رویکرد دورسنجی غیر مستقیم و از روی خصوصیات زیست-فیزیکی می‌توان اطلاعات معنی داری را استنباط نمود. مقاله حاضر مروری دارد بر کاربرد سنجش از دور در مطالعات تنوع زیستی و حفاظت که شامل استفاده از دورسنجی مستقیم و غیرمستقیم در شناسایی گونه‌ها و جوامع، برآورد غنای گونه‌ای، تعیین متغیرهای اقلیمی و بررسی ساختار زیستگاه می‌باشد. امروزه همکاری بیش از پیش محققان سنجش از دور با پژوهشگران عرصه تنوع زیستی و حفاظت لازم است تا بتوان در راستای اهداف حفاظت بهتر گام برداشت. واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، تنوع زیستی، حفاظت، غنای گونه‌ای، تولید اولیه، ساختار زیستگاه.

باید حفاظت شوند معمولاً از برآورد غنای گونه‌ای استفاده می‌کنند. مدیریت صحیح و علمی نیازمند داشتن اطلاعات دقیق و مداوم مکانی از گونه‌ها و پراکنش آنهاست. جمع‌آوری مستقیم اینگونه اطلاعات بسیار پرهزینه است. به همین دلیل تعیین پراکنش و شرایط حاکم بر تنوع زیستی موجود در یک منطقه با استفاده از سنجنده‌های هوایی و یا ماهواره‌ای روشی ایده‌آل به شمار می‌آید. سؤالی که در اینجا مطرح می‌باشد، این است که دورسنجی چگونه می‌تواند به عنوان ابزاری کارا برای بررسی الگوهای تنوع زیستی به کار گرفته شود؟ آیا می‌توان تک گونه و یا اجتماعات گونه‌ای را از راه دور و با استفاده از پارامترهای محیطی که برای برآورد پراکنش گونه‌ها، میزان غنای گونه‌ای و یا ساختار جوامع بوم‌شناختی لازمند، شناسایی نمود؟

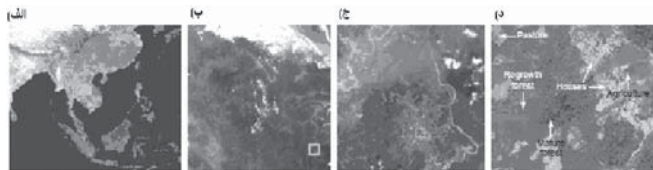
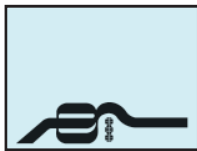
بررسی قابلیت سنجنده‌های نوین در تعیین مناطق مهم از نظر تنوع زیستی، پیش‌بینی نحوه پراکنش گونه‌ها و مدل‌سازی پاسخ‌های جوامع زیستی به تغییرات محیطی و یا انسانی یکی از موضوعات مهم در تحقیقات به شمار می‌رود. در پس این تلاش، این فرض وجود دارد که پارامترهای کلیدی محیطی با داشتن خصوصیات زیست-فیزیکی معین می‌توانند بیانگر پراکنش و فراوانی گونه‌ها در سطح سرزمین بوده و چگونگی اشغال زیستگاه‌ها توسط گونه‌ها را نشان دهند. تصاویر جدید این امکان را فراهم ساخته است تا دورسنجی بتواند از طریق ترکیب با مدل‌های بوم‌شناختی برخی از سؤالات اساسی در زمینه تنوع زیستی را روشن نماید. اینگونه روش‌ها می‌توانند در تولید دانش پایه درباره علل حضور گونه‌ها و همچنین تعیین مناطقی که باید در اولویت حفاظت قرار گیرند، مفید باشند.

۲- رویکردهای دورسنجی در تنوع زیستی

دو رویکرد کلی در استفاده از دورسنجی در زمینه تنوع زیستی وجود دارد. اولین رویکرد دورسنجی مستقیم افراد موجودات زنده، اجتماعات گونه‌ها و یا جوامع بوم‌شناختی با استفاده از سنجنده‌های هوایی و یا ماهواره ای است. امروزه برای اولین بار دورسنجی مستقیم موجودات زنده بزرگ و بسیاری از جوامع با استفاده از تصاویر ماهواره ای امکان پذیر است. رویکرد دیگر، دورسنجی غیرمستقیم تنوع زیستی است که در آن پارامترهای محیطی جانسین روش‌های مستقیم می‌شوند. به عنوان مثال بسیاری از گونه‌ها زیستگاه مشخصی نظیر درختزار، علفزار یا بستر علف‌های دریایی دارند که به راحتی

۱- مقدمه

تنوع زیستی به کلیه موجودات زنده و اشکال حیات روی کره زمین اطلاق می‌شود که معمولاً سه سطح تنوع گونه‌ای، تنوع بوم‌سازگانه‌ها و جوامع زیستی و تنوع ژنتیکی را شامل می‌شود. بررسی الگوی پراکنش گونه‌ها و اجتماعات گونه‌ای و شناسایی علل غنای گونه‌ای برخی مناطق از دیرباز در زیست‌شناسی و بوم‌شناسی مطرح بوده است. امروزه که تنوع زیستی جهان به سرعت در حال کاهش است، زیست‌شناسان حفاظت در تعیین مناطقی که



نگاره ۱: تصاویر ماهواره ای از سه سنجنده با درجه تفکیک مکانی متفاوت. به ترتیب: الف) موزائیکی از تصاویر سنجنده MODIS4 (ب) تصویر لندست ۷ (ج) تصویر ایکونوس به وسعت ۱۰۸/۶ km با رنگ کاذب (باند مادون قرمز نزدیک، باند قرمز و باند سبز) و باند بانکروماتیک (د) تصویر نمای نزدیک ایکونوس از انواع کاربری اراضی

۲-۱-۲ شناسایی غیرمستقیم تنوع گونه‌ای با استفاده از پارامترهای محیطی

دورسنجی پارامترها و یا شاخص‌های محیطی می‌تواند به عنوان روش غیرمستقیم استخراج الگوی تنوع زیستی به کار رود. از آنجا که ممکن است یک پارامتر واحد پدید آورنده الگوی تنوع نباشد (مثل تغییرات غنای گونه‌ای با عرض جغرافیایی)، محققان پارامترهای مختلف شامل تولید اولیه، اقلیم و ساختار زیستگاه را به عنوان عوامل مهم تعیین کننده الگوی پراکنش و غنای گونه‌ای مورد بررسی‌های طولانی مدت قرار داده‌اند (MacArthur 1972; Rosenzweig 1995; Gaston 2000; Nagendra 2001). پیشرفت‌های جدید در زمینه سنجنش از دور داده‌های مرتبط با هر یک از این پارامترها را فراهم کرده است.

۲-۲-۲ فن آوری مورد استفاده در دورسنجی تولید اولیه و غنای گونه‌ای

در مورد ماهیت رابطه بین تولید اولیه و غنای گونه‌ای هنوز اختلاف نظر وجود دارد. محققان با بررسی این رابطه در مقیاس‌های مکانی مختلف و در اکوسیستم‌های آبی و خشکی دریافته‌اند که این رابطه به صورت خطی مثبت، خطی منفی و غیرخطی و کوژ و در پاره‌ای موارد بدون رابطه است (Waide and et al. 1999).

نظریه‌های مختلفی در مورد تولید و تنوع وجود دارد ولی توافق کلی بر این است که هنوز به مطالعات بیشتری در زمینه ارتباط الگوهای تولید اولیه، برآورد غنا و فراوانی گونه‌ای مناطق وسیع و همچنین اطلاعات بیشتری در مورد موجودات زنده که کارکردهای متفاوتی در زیستگاه خود داشته و از منابع موجود به طرق مختلف استفاده می‌کنند، نیاز است. رویکردهای دورسنجی متعددی برای برآورد تولید اولیه وجود دارد. تصاویر ماهواره‌های چند طیفی که قدرت تفکیک بین ۴ متر تا ۸ کیلومتر دارند برای برآورد تولید اولیه در مقیاس‌های متفاوت مناسبند. اینگونه برآوردها معمولاً از یک یا چند شاخص گیاهی (نظیر NDVI^۲) و یا اندازه‌گیری مستقیم تولید خالص اولیه (NPP) استفاده می‌کنند. مشکلی که محققان در آزمون نظریه‌های مرتبط با تولید و غنای گونه‌ای با آن مواجهند این است که مطمئن شوند مقیاس تصاویر و مقیاس محاسبه غنای گونه‌ای یکسان است (Huston 1999; Waide and et al. 1999).

قابل تشخیص هستند. از طریق ترکیب نمودن نیازهای زیستگاهی شناخته شده گونه‌ها با نقشه پوشش اراضی، که از تصاویر ماهواره‌ای بدست می‌آید، می‌توان برآورد دقیقی از مناطق بالقوه حضور، محدوده‌ها و الگوی غنای گونه‌ای بدست آورد. در این مقاله پیشرفت‌های جدید در زمینه فن آوری و رویکردهای مستقیم و غیرمستقیم دورسنجی در مطالعه تنوع زیستی مورد بحث قرار می‌گیرد و پس از معرفی هر یک از فنون مثال‌هایی از به کارگیری آنها ارائه می‌شود.

۲-۱-۲ دورسنجی مستقیم

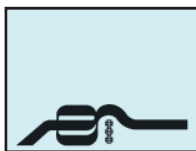
دورسنجی مستقیم عبارت است از شناسایی موجودات زنده، اجتماعات گونه‌ها و یا جوامع بوم شناختی با استفاده از سنجنده‌های هوایی و یا ماهواره‌ای. سامانه‌های جدید فضایی با داشتن قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا^۱ شناسایی مستقیم موجودات زنده بزرگ و بسیاری از جوامع را امکان پذیر ساخته است. به طریق مشابه سنجنده‌های فراطیفی^۲ جدید طیف الکترومغناطیسی را به تعداد بسیار زیادی باند طیفی مجزا تقسیم نموده که شناسایی عارضه‌های طیفی^۳ که خصوصیت معینی از یک گونه گیاهی و یا جوامع است، را امکان پذیر می‌سازد.

۲-۱-۲ کاربرد دورسنجی مستقیم در شناسایی گونه و اجتماعات گونه‌ای

ماهواره‌های تجاری که در چند سال گذشته به فضا پرتاب شده اند از قدرت تفکیک مکانی بسیار بالایی برخوردارند. سامانه‌هایی نظیر ایکونوس و کویک برد تصاویر چند طیفی را با قدرت تفکیک به ترتیب ۴ متر و ۲/۴-۲/۸ متر و تصویر بانکروماتیک با قدرت تفکیک به ترتیب ۱ متر و ۰/۸-۰/۶ متر را در اختیار کاربران قرار می‌دهند. با استفاده از اینگونه تصاویر امکان شناسایی گونه‌ها (مثلاً از روی تاج پوشش) و اجتماعات گونه‌ای فراهم شده است (نگاره ۱). شناسایی تغییرات فنولوژیکی (نظیر گل‌دهی و میوه‌دهی) به عنوان روشی در تعیین نوع رویش و حتی نوع گونه بسیار امید بخش است. استفاده از داده‌های سنجنده ایکونوس در شناسایی و شمارش وال‌ها در سطح اقیانوس بسیار امیدوارکننده بوده است به طوری که می‌تواند به عنوان یک ابزار نظارتی در اختیار مسئولین حفاظت از گونه‌های تهدید شده وال قرار گیرد (Abileah 2001). از طرف دیگر در آبهای شیرین تصاویر ایکونوس به صورت تلفیقی با داده‌های لندست برای نقشه‌بندی یک گونه گیاهی وارداتی و مهاجم با موفقیت به کار گرفته شده است (Albright and et al. 2002).

۲-۲-۲ دورسنجی غیرمستقیم

در دورسنجی غیرمستقیم تنوع زیستی پارامترهای محیطی جانسین روش‌های مستقیم می‌شود. به عنوان مثال بسیاری از گونه‌ها زیستگاه مشخصی نظیر درختزار، علفزار یا بستر علف‌های دریایی دارند که به راحتی قابل تشخیص هستند. از طریق ترکیب نمودن نیازهای زیستگاهی شناخته شده گونه‌ها با نقشه پوشش اراضی، که از تصاویر سنجنش از دور بدست می‌آید، می‌توان برآورد دقیقی از مناطق بالقوه حضور، محدوده‌ها و الگوی غنای گونه‌ای بدست آورد.



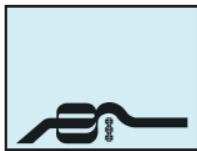
جدول ۱. نمونه‌هایی از متغیرهای بوم‌شناختی و منابع داده برای کمی کردن و مدل‌سازی تنوع زیستی

متغیر بوم شناختی	سنجنده	قدرت تفکیک مکانی	قدرت تفکیک زمانی	توصیف
روشهای مستقیم				
ترکیب گونه ای	TM/ETM ⁷⁺ , ALI ⁸ , HYPERION, ASTER, IKONOS, QUICKBIRD, AVIRIS ⁹ , CASI ¹⁰	کمتر از ۳۰-۱ متر	۱۶-۲ روزه	سنجنده های مذکور قابلیت اندازه گیری مستقیم تاج پوشش جوامع و گونه ها بر اساس نشانه های طیفی منحصر به فرد را دارند
پوشش اراضی	MODIS, TM/ETM+, ASTER ALI, IKONOS, QUICKBIRD	کمتر از ۱-۱۰۰۰ متر	۱۶-۱ روزه	قادرند سطوح مختلف را از یکدیگر متمایز سازد. طبقه بندی پوشش اراضی اولین قدم برای بررسی حضور گونه هاست
روشهای غیرمستقیم				
برآورد تولید اولیه				
کلروفیل	SeaWiFS ¹¹ , MODIS, ASTER, TM/ETM+, ALI, Hyperion IKONOS, QUICKBIRD, AVIRIS, CASI	۱-۱۰۰۰ متر	۱۶-۱ روزه	اندازه گیری میزان بازتاب جهت ارزیابی حضور/عدم حضور پوشش گیاهی و اندازه گیری سبزیگی برای محاسبه میزان کلروفیل سطح اقیانوس و خشکی جهت محاسبه تولید و سلامت گیاه
رنگ اقیانوسها و جریانهای آن	TOPEX ¹² / AVHRR ¹³ , MODIS, SeaWiFS	۱-۱۰ کیلومتر	۱۰-۱ روزه	الگوهای جریانهای اقیانوسی بر اساس تغییر رنگ اقیانوس، ارتفاع سطح دریا، درجه حرارت آب اقیانوس، تشخیص حرکت لارو ها، عوامل بیماریزا و رسوبات
اقلیم				
بارش	CERES ¹⁴ , AMSR-E	۲۰-۵۶ کیلومتر	۲-۱ روزه	تشخیص مقدار بارش و رطوبت سطحی در مقیاس وسیع، استفاده از این داده ها در مدل سازی مناطق حضور گونه ها بر اساس مقاومت به خشکی
رطوبت خاک	AMSR-E ¹⁵	۵/۴-۵۶ کیلومتر	۲-۱ روزه	در ابعاد وسیع قابل اندازه گیری است. استفاده از آن در مدل های حضور گونه بر اساس نیاز رطوبتی
فنونلژی	MODIS, TM/ETM+, ASTER, ALI, HYPERION, IKONOS, QUICKBIRD	۱-۱۰۰۰ کیلومتر	۱۶-۱ روزه	کسب اطلاعات در زمینه فنونلژی نظیر چرخه های گلدهی-میوه دهی از روی سری های زمانی
ساختار زیستگاه				
توپوگرافی	SRTM, SLICER, LVIS, IKONOS, ATM ¹⁶ , ASTER	۹۰-۱ متر	تکرار ندارد ۱۶-۲ روزه	تهیه مدل رقومی ارتفاع با استفاده از داده های رادار از طریق اینترفرومتری، تصاویر جفتی سه بعدی ASTER و سیگنال های بازگشتی لیداری. تعیین زیستگاه بسیاری از گونه ها بر اساس عرض جغرافیایی و همچنین استفاده از داده های ارتفاعی برای مطالعات آبخیزداری
ساختار عمودی تاج پوشش	SLICER ¹⁷ , LVIS	۱-۱۰ متر	تکرار ندارد	اندازه گیری سه بعدی با استفاده از پالسهای لیزری، برآورد زیست توده و ساختار پوشش گیاهی

که تصاویری با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر تولید می‌کند. وجود چنین قدرت تفکیک مکانی متنوع و وسعت تصویر برداری این سنجنده بدین معناست که ما می‌توانیم تقریباً هر روز یکبار پوشش منظمی از سراسر جهان (یعنی تصویر از هر نقطه از زمین) داشته باشیم. بسیاری از داده‌های ماهواره‌ای که با استفاده از تصاویر MODIS تولید می‌شوند نیازمند ارزیابی صحت و کالیبره شدن با استفاده از داده‌های صحرائی هستند. اینگونه تصاویر و محصولات مشابه، امکان مقایسه و کنکاش در تنوع زیستی را فراهم می‌آورند. جانسون و همکاران از داده‌های اقلیمی و شاخص NDVI استخراج شده از ماهواره هواشناسی NOAA و EUMETSAT برای پیش‌بینی مناطقی در آفریقای شرقی که گونه‌های پرنده بومی فراوانی داشتند، استفاده

۲-۳- فن آوری مورد استفاده در دورسنجی برآورد متغیرهای اقلیمی

مدل‌سازی تولید اولیه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، متغیرهای محیطی دیگری را نیز فراهم می‌کند که ممکن است در برآورد بهتر الگوهای مکانی تنوع مفید باشد. بسیاری از این متغیرها، متغیرهای اقلیمی (مثل دما، رطوبت هوا و خاک) هستند که به عنوان عوامل محدودکننده گونه‌ها عمل می‌کنند. منابع جدید اطلاعاتی و مدل‌های مختلفی که برای برآورد متغیرهای اقلیمی به کار می‌رود از زمان پرتاب ماهواره ترا^{۱۸} در سال ۱۹۹۹ و ماهواره آکوا^{۱۹} در سال ۲۰۰۲ در اختیار محققان قرار گرفته است. سنجنده MODIS بر روی دو ماهواره مذکور قرار دارد. این سنجنده دارای ۳۶ باند طیفی است



حرارتی ثبت می‌کند. این سنجنده همچنین قادر است مدل رقومی ارتفاع را با دقت نسبی ۱۰ متر به صورت زوج تصاویری که با زاویه‌های مختلف از یک نقطه برداشت شده‌اند، تولید نماید.

مطالعات انجام شده توسط نگندرا (Nagendra 2001) و همچنین جانسون و همکاران (Johnson and et al. 1998) پیشرفت‌هایی را در زمینه طبقه‌بندی تپ‌های جنگلی و پیش‌بینی مناطق حضور پرندگان بومی با استفاده از داده‌های ارتفاعی نشان داده است. داده‌های LVIS موجود محققان را قادر ساخت که پستی و بلندی‌های زیر تاج پوشش و ارتفاع تاج پوشش را تا حد یک متر نقشه‌بندی کنند (Drake and et al. 2002). علاوه بر داده‌های ارتفاعی، سیگنالهای برگشتی از لیدار امکان برآورد تراکم پوشش را نیز در سطوح مختلف تاج پوشش و ایجاد تصاویر سه‌بعدی از ساختار پوشش گیاهی، فراهم کرده است. اینگونه داده‌ها کاربری‌های متعددی دارند، از جمله شناسایی گونه‌های درختی جدید در یک منطقه که می‌توانند زیستگاه گونه‌های جدید پرند باشند.

کاربرد فن آوری لیدار در مطالعات تنوع زیستی و حفاظت دریایی نیز در زمینه شناسایی زیستگاه‌ها از دو طریق بسیار امیدوار کننده است. طریق اول، تلفیق سنسجش از دور نوری و داده‌های لیدار برای کالیبره کردن مقدار بازتاب می‌باشد که امکان تشخیص عمق آب و تغییرات بستر دریا را فراهم می‌کند. دومین طریق، مدل‌هایی است که با استفاده از لیدار، داده‌های عمق سنسجی در مقیاس کوچک و پارامترهای زیستی-فیزیکی مؤثر بر رشد و پویایی جوامع مرجانی (مانند عمق تأثیرگذاری رسوبات معلق) ایجاد شده‌اند که ما را قادر ساخته‌اند توزیع موجودات زنده و پراکنش جوامع کفزی و عوامل مؤثر بر آن را پیش‌بینی کنیم. از آنجا که تفسیر عکس‌ها، نقشه‌های یکنواختی از آبراهه‌ها ایجاد نمی‌کند، بنابراین روش‌های خودکار نقشه‌بندی آبراهه‌ها با استفاده از داده‌های ارتفاعی در طول ۲۵ سال گذشته توسعه فراوانی یافته است (Jenson and Domingue 1988).

سنسنده‌های با قدرت تفکیک بالا مانند رادار هواپیمایی و لیدار با دقت یک متر در هر بعد (X, Y, Z) برای نقشه‌بندی آبراهه‌ها، سیستم‌های رودخانه‌ای و دشت‌های سیلابی توانایی حیرت‌انگیزی دارند. اطلاعاتی که از سطح خشکی‌ها بدست می‌آید برای مدل سازی فرایندهای سطحی مانند فرسایش و رسوب، تحلیل آماری گسترش گونه‌های مهاجم و تعیین وضعیت زیستگاه ضروری است (Gardiner and Meyer 2001; Scott and Helfman 2001). داده‌های ارتفاعی توانایی زیادی در آشکارسازی پدیده‌ها دارند. محققان غالباً از اینگونه داده‌ها برای یافتن توزیع کاربری‌های مختلف در سطح سیمای سرزمین و همچنین ارتباط متقابل بین کاربری‌ها و توپوگرافی زمین و تأثیری که بر روی کیفیت آب می‌گذارد، استفاده می‌کنند (Wear and et al. 1998). هنگامی که داده‌های لندست با داده‌های رقومی ارتفاع SRTM تلفیق شود کاربری‌های مختلف در حوزه آبخیز تا حد مورد انتظار قابل مقایسه بوده و در نتیجه شرایط کیفی آب، اجتماعات گونه‌ای و وضعیت زیستگاه را می‌توان پیش‌بینی نمود (Harding and et al. 1998).

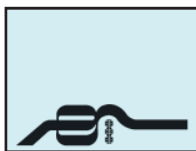
۳- بحث و نتیجه‌گیری

شناخت عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش گونه‌ها و میزان غنای گونه‌ای و همچنین چگونگی عملکرد آنها در محیط‌های مختلف یکی از چالش‌های

نمودند که دقت این برآوردها ۸۹ درصد بدست آمد (Johnson and et al. 1998). آنها همچنین داده‌های رقومی ارتفاع را با آن تلفیق نمودند که در تحلیل‌های مذکور بسیار کارآمد بود. در مناطقی که داده‌های رقومی ارتفاع استفاده نشد نیز دقت پیش‌بینی ۷۰ تا ۸۸ درصد بود که متغیرهای اقلیمی شامل بارندگی و دما سهم مهمی در این برآوردها داشتند.

۲-۲-۴- فن آوری مورد استفاده در دورسنجی ساختار زیستگاه پستی و بلندی‌ها

دورسنجی غیرفعال^{۲۲}، تصویری دو بعدی از جهان در اختیار ما قرار می‌دهد. در مقابل دورسنجی فعال^{۲۱} بعد سوم را پدید می‌آورد که امکان اندازه‌گیری ساختار زیستگاه، زیست توده و پستی و بلندی‌ها را میسر می‌سازد. به عنوان مثال از داده‌های سنسنده فعال لیدار^{۲۳} (LIDAR) در جنگل‌ها برای آشکارسازی سطح تاج پوشش، ارتفاع از سطح زمین، موقعیت برگ‌ها و شاخه‌ها در فاصله بین تاج پوشش و زمین استفاده شده است. سنسنده^{۲۴} LVIS یک نوع سنسنده لیداری است که توسط هواپیما حمل می‌شود و تا کنون با پرواز بر فراز مناطق متعدد در آمریکا و جهان اقدام به تصویربرداری کرده است. ناسا امکان استفاده از یک سنسنده ماهواره‌ای لیدار که بتواند بخش اعظمی از سطح زمین را تصویر برداری کند را بررسی می‌کند. در سال ۱۹۹۴ شاخه مهندسی در ارتش آمریکا سامانه^{۲۵} SHOALS را تولید کرد (Guenther 1985). این سامانه یک نوع لیدار دریایی است که با استفاده از هلیکوپتر قادر است اطلاعات دقیق و با قدرت تفکیک بالا را جمع‌آوری کند. نوع دیگر سنسنده‌های فعال، سنسنده راداری است. طول موجهای بلندتر امواج راداری قادرند از ابرها عبور نموده و بلندترین امواج راداری (یعنی L) و بعد از آن قادرند از تاج پوشش درختان و یا در زمین‌های بدون پوشش از خاک‌های لومی تا عمق یک متر یا بیشتر بگذرند (Ulaby and et al. 1982). این چنین توانایی تکنولوژی رادار در عبور از تاج پوشش درختان ابزار خوبی برای محاسبه زیست توده و ساختار جامعه گیاهی را فراهم می‌آورد. با استفاده از داده‌های راداری اطلاعات ارزشمند توپوگرافی با قدرت تفکیک بالا برای بیشتر مناطق سطح زمین تهیه گردیده است. در سال ۲۰۰۰ ناسا با همکاری اداره نقشه و تصویر برداری آمریکا پروژه^{۲۶} SRTM^{۲۷} را برای دریافت اطلاعات توپوگرافی با استفاده از فضایی‌های اندوور انجام دادند. در یک دوره زمانی ده روزه این سامانه راداری توانست داده‌های ارتفاعی از ۸۰ درصد سطح زمین (حدوداً عرض جغرافیایی ± 60 درجه) را جمع‌آوری نماید. تصاویر این سیستم راداری توسط مؤسسات مذکور در اختیار محققان قرار گرفته است. تصاویر با قدرت تفکیک مکانی به صورت ۳۰ متری در آمریکا و ۹۰ متری در مناطق دیگر بصورت رایگان موجود می‌باشد. قدرت تفکیک عمودی این تصاویر ۵ متر است که همان تفاوت‌های ارتفاعی پدیده‌ها را نشان می‌دهد (Farr and Kobrick 2000). منبع اطلاعات دورسنجی دیگر برای کسب داده‌های ارتفاعی سنسنده ژاپنی^{۲۸} ASTER است. این سنسنده امواج الکترومغناطیس را به صورت انعکاسی و ساطع شده با قدرت تفکیک ۱۵ متر در محدوده طول موجهای مرئی و مادون قرمز نزدیک، قدرت تفکیک ۳۰ متر در محدوده طول موجهای میانه مادون قرمز و ۹۰ متر در طول موج‌های



11. Johnson, D. D. P. and et al. (1998). Contemporary environmental correlates of endemic bird areas derived from meteorological satellite sensors. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B* 265: 951-959.
12. MacArthur, R. H. (1972). *Geographical Ecology: Patterns in the Distribution of Species*, Harper & Row.
13. Nagendra, H. (2001). Using remote sensing to assess biodiversity. *Int. J. Remote. Sens* 22: 2377-2400.
14. Rosenzweig, M. L. (1995). *Species Diversity in Space and Time*. Cambridge University Press.
15. Scott, M. C. and G. S. Helfman (2001). Native invasions, homogenization, and the mismeasure of integrity of fish assemblages. *Fisheries* 26: 6-15.
16. Ulaby, F. T. and et al. (1982). *Microwave Remote Sensing: Active and Passive Volume II: Radar Remote Sensing and Surface Scattering and Emission Theory*, Artech House.
17. Waide, R. B. and et al. (1999). The relationship between productivity and species richness. *Annu. Rev. Ecol. Syst* 30: 257-300.
18. Wear, D. N. and et al. (1998). Land cover along an urban-rural gradient: implications for water quality. *Ecol. Appl* 8: 619-630.

پی نوشت

1. Hyperspatial
2. Hyperspectral
3. Spectral signatures
4. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer
5. Normalized Difference Vegetation Index
6. Net Primary Production
7. Landsat Thematic Mapper/ Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus
8. Advanced Land Imager
9. Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer
10. Compact Airborne Spectrographic Imager
11. Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor
12. The Ocean Topography Experiment
13. Advanced Very-High Resolution Radiometer
14. Clouds and the Earth's Radiant Energy System
15. Advanced Microwave Radiometer for EOS
16. Airborne Topographic Mapper
17. Scanning Lidar Imager of Canopies by Echo Recovery
18. TERRA
19. AQUA
20. Passive remote sensing
21. Active remote sensing
22. Light Detection and Ranging
23. Sensor Laser Vegetation Imaging
24. Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey
25. Shuttle Radar Topography Mission
26. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

زیست شناسی مدرن است. اگر ما بخواهیم زیستگاه‌هایی را که از تنوع گونه‌های بالایی برخوردارند حفاظت نمائیم باید ابتداً اینگونه مکان‌ها و گونه‌ها را شناسایی کنیم. اما برای موفقیت در این امر باید علل و عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌ها را مشخص نمائیم. توسعه سامانه‌های ماهواره‌ای و هواپیمایی در سالیان اخیر و پیشرفت فنون سنجش از دور ابزارهایی قوی جهت شناسایی و پراکنش گونه‌ها فراهم نموده است که علاوه بر کم هزینه بودن در مقایسه با روش‌های صحرایی از قابلیت به روز بودن نیز برخوردارند.

منابع جدید داده از طریق رویکرد دورسنجی مستقیم مطالعه جنبه‌های مختلف تنوع زیستی را امکان پذیر ساخته است. نظارت پیوسته و مدیریت جمعیت گونه‌های بزرگ جثه که غالباً تهدید شده می‌باشند از جمله این قابلیت‌هاست. علاوه بر این، دورسنجی غیرمستقیم نیز در بدست آوردن برآوردهای دقیقتر از الگوی پراکنش و غنای گونه‌ای و همچنین در شناخت علل و فرایندهای مؤثر بر آنها بسیار امیدوار کننده بوده است. برای مثال نقشه‌بندی متغیرهای محیطی (نظیر پوشش گیاهی، اقلیم و پستی و بلندی‌ها) با استفاده از داده‌های دورسنجی در برآورد دقیقتر الگوهای مکانی تنوع زیستی با موفقیت صورت پذیرفته است.

استفاده از فناوری دورسنجی در عرصه تنوع زیستی و حفاظت مستلزم همکاری محققان عرصه‌های تنوع زیستی و حفاظت با محققان سنجش از دور است. داده‌های اکولوژیک جمع‌آوری شده در مورد پراکنش گونه‌ها، میزان غنای گونه‌ای، مناطق غنی از گونه‌های بومی و غیره باید در سطح محلی، منطقه‌ای و جهانی با داده‌های دورسنجی نظیر پوشش گیاهی، اقلیم و مدل‌های رقمی ارتفاع تلفیق شوند تا بتوان به برآوردها و نقشه‌های دقیق‌تری دست یافت.

۴- منابع و مآخذ

1. Abileah, R. (2001). High-resolution imagery applications in the littorals. In 8th International Symposium on Remote Sensing, SPIE, Toulouse, France (17-21 September) <http://www.erg.sri.com/publications.html>.
2. Albright, T. and et al. (2002). The Abundance and Distribution of Water Hyacinth in Lake Victoria and the Kagera River Basin. 1989-2001, USGS/EROS Data Center and Clean Lakes.
3. Drake, J. B. and et al. (2002). Estimation of tropical forest structural characteristics using large-footprint lidar. *Remote Sens. Environ* 79: 305-319.
4. Farr, T. G. and M. Kobrick (2000). Shuttle radar topography mission produces a wealth of data. *Am. Geophys. Union Eos* 81: 583-585.
5. Gardiner, E. P. and J. L. Meyer (2001). Sensitivity of RUSLE to data resolution: modeling sediment delivery in the Upper Little Tennessee River Basin. Georgia Water Resources Conference. K. J. Hatcher, University of Georgia: 561-565.
6. Gaston, K. J. (2000). Global patterns in biodiversity. *Nature* 405: 220-227.
7. Guenther, G. C. (1985). *Airborne Laser Hydrography*. US Department of Commerce.
8. Harding, J. S. and et al. (1998). Stream biodiversity: the ghost of land use past. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A* 95: 14843-14847.
9. Huston, M. A. (1999). Local processes and regional patterns: appropriate scales for understanding variation in the diversity of plants and animals. *Oikos* 86: 393-401.
10. Jenson, S. K. and J. O. Domingue (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogramm. Eng. Remote Sens* 54: 1593-1600.