محیط‌شناسی، دورهٔ ٤٤، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۷، صفحهٔ ٤٢٤ -٤١١

کاربرد رگرسیون سیمبولیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضهٔ آبخیز خیرود برای ارائهٔ مدل‌های مکانی تأثیرگذار بر سطح سیمای سرزمین

محمود بیات[۱]* ، سحر حیدری مستعلی[۲] ، چارلز بورک[۳]

۱. استادیار پژوهش، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۲. دانشجوی دکتری محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران saharheidari@ut.ac.ir

۳. استاد تمام، دانشکدهٔ جنگل و مدیریت محیط‌زیست، دانشگاه نیوبرانزویک، کانادا Cbourque@unb.ca

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۲

چکیده

برای مدیریت یک حوضهٔ آبخیز در بلندمدت، تهیهٔ نقشه، ارائه مدل‌های مکانی تنوع‌زیستی و گونه‌ای درختان در سطح سیمای سرزمین و تعیین فاکتورهای فیزیوگرافیک تأثیرگذار بر آن ضروری است. در این تحقیق مدل مکانی تنوع زیستی درختان در حوضهٔ آبخیز خیرود در شمال ایران از مطالعات میدانی و ارتباط آن با ۱۶ فاکتور اکوفیزیوگرافیکی به دست آمدند که این فاکتورها نمایندهٔ انحصاری شرایط زیست‌محیطی آن منطقه هستند. اساس این تحقیق، ارائهٔ سطوح زیست‌محیطی (فیزیکی) با وضوح بالا و ارتباط آن با برآوردهای اندازه‌گیری شده در سطح قطعه‌نمونه روی زمین و عرصه است که برای رسیدن به این هدف از مدل رقومی زمین استفاده شد. داده‌های مدل رقومی زمین- ارتفاع از تصاویر ماهواره‌ای استر (ASTER) ۲۰۱۶ تهیه و از رگرسیون سیمبولیک در مدل‌سازی مکانی تنوع زیستی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که باد به‌تنهایی ۵۱ درصد از تغییرات تنوع زیستی را در حوضهٔ آبخیز تعریف می‌کند. دیگر عوامل به ترتیب سطوح انعکاس نور آبی، شاخص خیسی توپوگرافی و غیره هستند. درنهایت این تحقیق، با ارائهٔ مدل تنوع زیستی و مکانی و تعیین عوامل زیست‌محیطی تأثیرگذار بر آن، گام مهمی به سمت توضیح تغییرات مکانی تنوع زیستی در سطح سیمای سرزمین و تعیین فاکتورهای زیستی‌محیطی تأثیرگذار، برمی‌دارد.

کلیدواژه

جنگل‌های هیرکانی، سیمای سرزمین، شاخص خیسی، متغیرهای زیست‌محیطی.

۱. سرآغاز

تنوع زیستی جنگل، منبع بسیار مهم و باارزشی است، زیرا گونه‌های موجود در جنگل و ذخایر ژنتیکی تشکیل‌دهندهٔ آن برای سلامتی و تأمین نیازهای بشر و دیگر موجودات دارای اهمیت بوده و به‌طور قطع نبود تنوع زیستی تهدید خطرناکی برای بقای انسان و دیگر موجودات محسوب می‌شود (Kery and Schmid, 2006). تنوع اکوسیستم‌ها توسط ترکیبی از عوامل مختلف طبیعی در مقیاس‌های متفاوت اعم از جهانی (آب و هوا)، منطقه‌ای (ارتفاع، بارش و فیزیوگرافی) و محلی (شیب، جهت، سنگ بستر و توالی) تعیین می‌شود (McKee et al., 2003). تنوع زیستی به حفظ تعادل گازهای اتمسفری، چرخهٔ مواد غذایی، تنظیم آب و هوا، حفظ چرخهٔ هیدرولوژیکی و تولید و حفظ خاک کمک می‌کند. همچنین پژوهش‌های جدید نشان می‌دهد که تنوع زیستی، ظرفیت باروری اکوسیستم‌ها را زیاد کرده و توانایی آن‌ها را برای سازگار شدن با تغییر وضعیت افزایش می‌دهد (Macneely, 2002). در دهه‌های اخیر، این مقوله توجه اغلب محققان را به خود جلب کرده است، به‌طوری‌که

* نویسنده مسئول: Email: Mbayat@rifr-ac.ir

محققان مختلف تحقیقات زیادی را درزمینهٔ تنوع و پایداری انجام داده‌اند (Amanda et al., 2005)؛ امروزه برقراری توسعهٔ پایدار یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیران در ترازهای مختلف ادارهٔ یک کشور، سازمان یا نهاد است، دستیابی به چنین توسعه‌ای مستلزم رشد همه‌جانبهٔ جامعه و بهره‌گیری متناسب و درخور از منابع است. بهبود شرایط اکولوژیک، از جنبه‌های مهم توسعهٔ پایدار است که یکی از مهم‌ترین منابع آن نیز مطرح است؛ چرا که توسعهٔ پایدار مفهومی اکولوژیک، اقتصادی و اجتماعی است (Bayat et al., 2013)، اما در محیط‌های طبیعی دو عامل وسعت زیاد (دشواری کنترل) و زمان (عدم مشاهده به‌موقع پیامدهای دخالت‌ها و راه‌اندازی چرخه‌های بازخورد)، ارزیابی پایداری را مشکل‌تر می‌کند. گونه‌ها و رویشگاه‌های آن‌ها به‌طور پیوسته در حال حذف شدن از سیمای سرزمین جهانی هستند، ازاین‌رو توصیف و شرح پراکنش گونه‌های گیاهی، غنای گونه‌ای و تنوع زیستی و تغییرات آن‌ها در ارتباط با پراکنش آن‌ها اساس مدیریت و برنامه‌ریزی‌های حفاظت را تشکیل می‌دهد (Nagendra, 2001; Redown, 2013). تغییرات مکانی و زمانی در متغیرهای غیرزیستی از قبیل تشعشات نور خورشید، دمای هوای نزدیک به سطح زمین، آب و حجم مواد غذایی در خاک، توزیع بلندمدت گونه‌های گیاهی و ارتباط آن‌ها را با حضور در جوامع گیاهی در سیمای سرزمین، تعریف می‌کند (Pausas & Austin, 2001; Papaik & Canham, 2006). ترکیب دقیق متغیرهای غیرزیستی تأثیرگذار بر تغییرات غنای گونه‌ای درختی در سطح محلی (تعداد هر گونه در واحد سطح) در اکوسیستم‌های مختلف، متفاوت است. در اکوسیستم‌های با تاج‌پوشش بسته، شبکه‌های هیدرولوژی و ارتفاع بالا از نزدیک‌ترین نقطهٔ زهکشی شده، عوامل اصلی در مدل‌های سازمان‌دهی مکانی این مناطق هستند (Detto et al., 2013; Schietti et al., 2014)، درحالی‌که در مناطق معتدله کوهستانی و در اکوسیستم‌های ساحلی (جذر و مدی) بادهای رایج و رژیم حرارتی، در ایجاد ساختار تنوع زیستی نقش مهم‌تری دارند (Pausas & Austin 2001; Papaik & Canham 2006; Sprugel and Bormann 1982). در نتیجه، برای فهم فرایندهای اکولوژیکی اثرگذار بر روندهای تغییر در مقیاس‌های رایج مدیریت زمین (برای مثال از ۳۰ متر تا ۲ کیلومتر) ارزیابی اهمیت نسبی فاکتورهای محیط زیستی مؤثر بر تغییرات غنای گونه‌ای، ضروری است. تعیین غنای گونه‌ای و فاکتورهای محیطی به‌تنهایی و فقط با اندازه‌گیری‌های زمینی در سطوح بزرگ، اغلب مشکل و در بعضی مواقع غیرممکن است (Kerr & Ostrovsky, 2003) . فراگیر شدن بسته‌های سنجش از دور و تولیدات آن، ابزاری قابل قبول برای مشاهده و پایش پیوستهٔ سطح زمین و تغییرات آن به شمار می‌رود که به‌وسیلهٔ سطوح انعکاسی و حرارتی با قدرت تفکیک زمانی و مکانی متوسط استفاده می‌شود (Kerr & Ostrovsky, 2003; Nagendra,2003). متغیرهای وابسته به تنوع و غنای گونه‌ای مانند شاخص پوشش گیاهی و ناهمگونی‌های طیفی و انعکاسی میان عکس‌ها در گذشته برای نقشه‌سازی تغییرات تنوع و غنای گونه‌ای با قدرت تفکیکی متوسط و دقت ۴۰ تا ۸۰ درصد استفاده می‌شد (Redown, 2013). به هر حال ارزیابی متغیرهای محیطی از قبیل بادهای محلی، با قدرت تفکیکی متوسط (کمتر از ۱۰۰ متر) با روش‌های سنجش از دور امکان‌پذیر نیست. برای کمک به تعریف مشخصه‌های فیزیکی زیستی سیمای سرزمین یا متغیرهای جایگزین (برای مثال شیب، جهت شیب، شاخص خیسی) از مدل‌های آنالیز زمین و مدل‌های فرایندی به‌طور گسترده برای تولید اطلاعات دور از دسترس روش‌های سنجش از دوری و داده‌برداری زمینی استفاده می‌شود (Moeslund et al., 2013; Murphy et al., 2011). ارتباط بین تنوع زیستی با تفسیر تاج پوشش در عکس‌های هوایی، رویش درخت، سطح قطعه نمونه، برای کمّی کردن متغیرهای غیرزنده یا فاکتورهای جایگزین در پژوهش‌های (Byun et al., 2013; Ashraf et al., 2012, 2013; Austin et al., 1996) دیده می‌شود (Byun et al., 2013; Austin et al., 1996). سطح

توافق بین مدل‌ها و داده‌های مشاهده شده عموماً متغیر بوده و وابسته به وضوح و قدرت تفکیک نمونه‌برداری در اکوسیستم و مدل رقومی زمین است که آنالیز می‌شود (Ashraf et al., 2013). در کشورهای پیشرفته در زمینهٔ علوم منابع طبیعی و محیط‌زیست به تنوع زیستی و کمی کردن فاکتورهای اثرگذار اهمیت بسیاری می‌دهند و از مدت‌ها قبل این مهم را بررسی کرده‌اند؛ ولی در ایران کمتر به این موضوع پرداخته شده است. از نمونهٔ پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان به پژوهش رضوی و همکاران در سال ۱۳۸۸ اشاره کرد که عوامل مؤثر بر تنوع زیستی را با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه در جنگل تحقیقاتی واز بررسی کردند. تنوع زیستی گونه‌های درختی با استفاده از دو شاخص غنا گونه‌ای (سیمپسون، شانون - وینر) و دو شاخص یکنواختی (سیمپسون، اسمیت - ویلسون) در تمامی تیپ‌های جنگلی محاسبه شد. بررسی رابطهٔ بین شاخص‌های تنوع زیستی با بعضی از عوامل فیزیوگرافیک منطقه و تعدادی از خصوصیات توده در تیپ‌های جنگلی به‌واسطهٔ رگرسیون خطی چندگانه نشان داد که ارتفاع از سطح دریا روی تمامی شاخص‌های تنوع زیستی در نظر گرفته‌شده دارای اثر منفی است، ضمن این‌که این اثر همیشه به‌صورت خطی نیست. درصد شیب دامنهٔ شاخص‌های یادشده را افزایش داد، که علت این امر تخریب بیش‌ازحد توده‌های جنگلی در شیب‌های پایین و حذف این عوامل مخرب در شیب‌های بالاتر است. بهمنی و همکاران (۱۳۹۲) مقایسهٔ شاخص‌های تنوع زیستی گونه‌های درختی در جنگل دارابکلا را انجام دادند. آن‌ها مقادیر تنوع گونه‌ای را با استفاده از شاخص‌های سیمپسون، شانون وینر و غنای گونه‌ای با استفاده از شاخص‌های مارگالف، من‌هنیک و یکنواختی به‌وسیلهٔ شاخص‌های پیت و هیل برای هر یک از قطعات نمونه محاسبه کردند. نتایج نشان داد که شاخص‌های تنوع گونه‌ای در جهت شمالی بیشتر از جهت جنوبی به‌دست‌آمده ولی دربارهٔ شاخص غنای گونه‌ای این دو جهت تقریباً برابر بوده است و دربارهٔ شاخص یکنواختی شاخص پیت در جهت شمالی و شاخص هیل در جهت جنوبی بیشتر شده است. همچنین نتایج نشان داد که شاخص‌های تنوع گونه‌ای و یکنواختی با یکدیگر همبستگی معناداری دارند ولی بین شاخص‌های غنای گونه‌ای و یکنواختی اکثراً همبستگی وجود نداشت، در نتیجه تأثیر شاخص‌های یکنواختی در مقایسه با غنا در افزایش تنوع زیستی بیشتر است (بهمنی و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به‌مرور منابع انجام شده در این پژوهش، مدل‌های تنوع زیستی و مکانی درختان و سطوح عددی تصویری عوامل فیزیکی محیطی اکوسیستم‌های خزان‌کننده شمال ایران تهیه شد. الگوی مکانی از یک دورهٔ آماربرداری غنای گونه‌ای در قطعات نمونه در سال ۱۳۹۵ و ارتباطش با ۱۶ متغیر مختلف رویشگاهی آزموده شد که شامل نوردهی فصلی، میانگین درجه حرارت هوا، ارتفاع بالا از نزدیک‌ترین نقطهٔ زهکشی‌شده (HNDP)، شاخص خیسی توپوگرافی (TWI)، رطوبت نسبی (RH)، سرعت باد و سطوح انعکاسی و تشعشعی هستند. بسیاری از متغیرهای محیطی، یا به‌صورت مستقیم یا به‌واسطه، رابطه‌ای منطقی و مناسب با غنای گونه‌ای و تنوع زیستی دارند (Pausas et al., 2001).

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ آبخیز خیرود تحت مدیریت دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران است که در هفت کیلومتری شرق نوشهر قرار دارد. از لحاظ زمین‌شناسی دارای سنگ مادر آهکی و طبق نقشهٔ وزارت نفت متعلق به دوران ژوراسیک علیا بوده و در بعضی نقاط از طبقات سخت شکافدار و طبقات نرم و به‌طور متناوب روی هم قرار گرفته‌اند تشکیل شده است. خاک این ناحیه در تقسیم‌بندی کلی جزء خاک‌های قهوه‌ای جنگلی است. قسمت شرقی و جنوب شرقی این حوضه اکثراً پرشیب است. برای تشریح وضعیت اقلیم منطقه از ضریب آمبرژه (Q_2) استفاده شد که این ضریب برای منطقهٔ مورد بررسی برابر ۲۰۳ است و با مراجعه به میانگین درجهٔ

حـرارت حـداقل در سـردترین مـاه سـال (۳/۵- =m) و اقلیم‌نگار آمبرژه اقلیم منطقه مـورد بررسـی مرطـوب سـرد تعیین شد. در سیستم اقلیمی دومارتون، بخـش گـرازبن بـا داشتن ضریب خشکی معـادل ۸۲/۶ دارای اقلـیم مرطـوب نوع ب سرد است (Bourque & Bayat, 2015).

۲.۲. نحوهٔ اندازه‌گیری در قطعه نمونه

پس از مشخص شدن مرکز قطعه‌نمونـه (در طبیعـت ابعـاد شبکه به‌طور افقی پیـاده شـدند)، در جهـت حـداکثر خـط شیب در دو جهت کلی قطعـه نمونـه، شـیب اصـلی قطعـه نمونه مشخص و به کمک جـدول تصـحیح شـیب، شـعاع مناسب تعیین شد. در داخل قطعه نمونه، قطـر برابـر سـینه تمام درختان زنده که در ارتفاع برابر سینه، قطری بزرگ‌تـر از ۷/۵ سـانتی‌متـر داشـتند بـه کمـک خـط‌کـش دو بـازو اندازه‌گیری و مقادیر آن‌ها در طبقات یـک سـانتی‌متـری در برگه‌های آماربرداری به تفکیک گونه یادداشت شـد. محـل اندازه‌گیری قطـر برابـر سـینه درختـان توسـط رنـگ قرمـز مشخص و زاویـه هـر یـک از درختـان از طبقـهٔ قطـری ۵ سانتیمتری به بالا نسبت به مرکز قطعه نمونه برداشت شـد. در مرکز و چهار جهت خارجی هـر قطعـه نمونـه قطعـات نمونهٔ دیگری به مساحت چهار مترمربع تعیین و نسـبت بـه برداشت اطلاعات زادآوری آن‌ها اقدام شد.

۳.۲. داده‌های اقلیمی

از داده‌های اقلیمی سه ایستگاه هواشناسی نزدیک بـه شـهر نوشهر، شامل بابلسر، رامسر و سیاه‌بیشه به همـراه داده‌هـای اقلیمی شهر نوشهر به نحوی استفاده شده است که تغییرات ارتفاع از سطح دریا مد نظر قرار گیرد. برای مثال ارتفـاع از سـطح دریـا سـیاه‌بیشـه۱۸۵۵/۴ متـر اسـت، کـه ناحیـه‌ای کوهستانی در نظر گرفته‌شده است و درنهایت از درون‌یابی داده‌های اقلیمی این ۴ ایستگاه هواشناسی وضـیعت اقلیمـی جنگل خیرود به‌طور دقیق مشخص شده است.

۴.۲. تعریـف و روش محاسـبه و بـرآورد متغیرهـای مورد بررسی

در آنالیز تنوع زیستی و مکانی گونه‌هـای درختـی نخسـت تعریف هر یک از متغیرهای مورد بررسی ارائه و درنهایـت نحوهٔ محاسبه و برآورد هر یک از آن‌ها در جـدول ۱ آمـده است. ترکیب متغیر ارتفاع از نزدیـک‌تـرین نقطـه زهکشـی شده زمین (HNDP[1]) و متغیر شاخص خیسـی توپـوگرافی (TWI[2])، نماینده‌ای از مقـدار آب خـاک (SWC[3]) معرفـی شدند. گونه‌های گیاهی و درختـی از نظـر نیـاز بـه آب در خاک و بردباری بـه آن متفـاوت‌انـد (Bang et al., 2010). زمانی که مقـدار آب در داخـل خـاک (SWC) محـدود یـا سطح آب اشـباع بـرای دوره‌هـای متمـادی از زمـان طـول می‌کشد، فتوسنتز و رویش گیـاه کـاهش پیـدا مـی‌کنـد تـا سطحی از تحمل‌پذیری که گیاه بتوانـد بـر شـرایط موجـود پیروز شود. آب بهینهٔ خاک باعث کارایی بهتـر و بیشـتر در جـذب مـواد غـذایی خـاک مـی‌شـود اجـازه افـزایش عکس‌العمل‌های زیستی شـیمیایی و تولیـد زیسـت‌تـوده را می‌دهـد و در پـراکنش گونـه‌ای نقـش بسـیار مهمـی دارد (Chavez, 1988). پراکنش آب در دسترس خاک، تـابعی از ارتفاع نزدیک‌ترین نقطهٔ زهکشی‌شده (HNDP) و شـاخص خیسی توپوگرافی (TWI) انتخاب شـده اسـت. ترکیـب دو متغیر، معرف مقدار آب در خاک منطقی و معقول بوده؛ چرا که حجم آب خاک با زهکشی (بـه‌خصـوص در مجـاورت کانـال‌هـای زهکشـی) ارتبـاط زیـادی دارد؛ همچنـان کـه شـاخص خیسـی توپـوگرافی (TWI) ارتبـاط نزدیکـی بـا خصوصیات جریـان آب در خـاک دارد. در مجمـوع بـرای تشریح و توضیح جریان آب سطحی مـرتبط بـا فراینـدها و طرح‌های سیمای سرزمین، شـاخص ارتفـاع نزدیـک‌تـرین نقطهٔ زهکشی شده و شاخص خیسـی توپـوگرافی ارزیـابی می‌شوند. (Murphy et al., 2011)

۵.۲. انرژی تابشی خورشید

تشعشات خورشیدی در دسترس (مستقیم و پخش) پـراکنش

و رویش گیاهان و درختان را برای گونه‌های مختلف تغییر می‌دهد (Pausas & Austin, 2001) . گونه‌های غیر بردبار به سایه از قبیل توس و افرا دارای کارایی کمتری نسبت به گونه‌های سایه‌پسند از قبیل راش هستند. در نتیجه گونه‌های غیر بردبار به سایه، در مناطقی که به‌طور ذاتی نور کمتری در دسترس دارند، رویش کمتری دارند. حساسیت به نور در بعضی از نهال‌ها و بذر پهن برگان از نهالی تا مرحله بلوغ متفاوت است (Tabari et al., 2007).

۶.۲. درجهٔ حرارت

سوخت‌وساز گیاهی، رویش و غنای گونه‌ای تحت تأثیر درجهٔ حرارت هستند. به همین دلیل، پراکنش گیاهی می‌تواند رابطهٔ منطقی و مناسبی با شاخص ورودی حرارت سالیانه داشته باشد. در این مطالعه از میانگین درجهٔ حرارت در فصل رویش، به‌عنوان شاخصی از حرارت ورودی در فصل رویش در بلندمدت استفاده شد.

۷.۲. رطوبت نسبی

رطوبت نسبی به‌صورت مستقیم بر روابط آبی گیاه (Campbell & Norman, 1998) و به‌طور غیرمستقیم بر رویش جوانه‌ها، فتوسنتز، گرده افشانی، و تولیدات زیست‌توده اثر می‌گذارد (Bassow & Bazzaz, 1998) با در نظر گرفتن این واقعیت که فقط تعداد محدودی از ایستگاه‌های اقلیمی رطوبت نسبی را ثبت کردند که اغلب در ارتفاعات پایین بوده است. نقشه‌های رطوبت نسبی بر اساس اصول مشهور هواشناسی مرتبط با جابه‌جایی‌های هوای مرطوب وابسته به کوه توسعه و ارائه شدند (Bourque & Matin, 2012). محاسبات بلندمدت رطوبت نسبی بر پایهٔ مدل رقومی زمین و تحت تأثیر تغییرات توپوگرافی، جهت و بادهای رایج و درجهٔ حرارت فصل رویش، در ارتفاعات پایین انجام شد.

۸.۲. باد

یکی از متغیرهای مهم محیطی که اهمیتی برابر با دیگر عوامل، بر تولیدات گیاهی و پتانسیل حضور گیاهان دارد، سرعت باد است. باد معمولاً در مطالعات غنای گونه‌ای به علت سختی تخمین و برآورد سرعت و جهت مکانی آن، بررسی نمی‌شود. در این مطالعه با استفاده از مدل رقومی زمین منطقهٔ مورد مطالعه، از شبیه‌سازهای محاسباتی کامپیوتری پویایی جریان برای مدل کردن جریان باد در سطح پیچیده زمین استفاده شد. در جدول ۱ نحوهٔ محاسبه و برآورد متغیرهای مورد بررسی در آنالیز رویش قطری شرح و توضیح داده شده است.

جدول ۱. متغیرهای مورد بررسی در آنالیز تنوع مکانی گونه‌های درختی

ردیف	متغیر	منبع	توضیحات
۱	شیب	شیب می‌تواند مستقیماً از ارزیابی‌های اختلاف محدود داده‌های مدل رقومی ارتفاع تخمین زده شود. نقشهٔ شیب با قدرت تفکیک ۱۰ متر در سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی از طریق نقشه مدل رقومی ارتفاع محاسبه و در مدل‌سازی استفاده شد.	از شیب به‌عنوان یک شاخص پتانسیل اتلاف توده و ماده (در زمین‌های شیب‌دار اتلاف توده و ماده اتفاق می‌افتد) استفاده می‌شود. شیب‌های خیلی تند ممکن است به جریان پیدا کردن نخاله‌های قابل‌ملاحظه و بزرگ و یک‌طرفه شدن زمین منجر شود. این امر سبب تشدید ناهمگنی‌ها در درون رویشگاه و همچنین سرعت بخشیدن به ازدیاد و تکثیر گونه‌ها در طول بازیابی رویشگاه می‌شود.

ادامه جدول۱. متغیرهای مورد بررسی در آنالیز تنوع مکانی گونه‌های درختی

ردیف	متغیر	منبع	توضیحات
۲	ارتفاع بالای نزدیک‌ترین نقطهٔ زه‌کشی شده	بر اساس الگوریتم‌های توضیح داده شده به‌وسیله Murphy et al., (2011)	HNDP اندازه‌گیری آسانی از پتانسیل زه‌کشی فراهم می‌کند و جداکنندهٔ عمودی بین سطح خشک و خیس بالای نقطه زه‌کشی شده و همچنین تخمین سطح آب توضیح داده می‌شود. برای سلول به‌خصوص خشک، سلول خیسی با تابع جستجو تکراری مشخص می‌شود و فاصلهٔ افقی بین سلول خشک و خیس را حداقل می‌کند. جایی که رابطهٔ منطقی بین جهات جریان مدل رقومی زمین و مسیرهای آب وجود دارد. HNDP=0 نشان‌دهندهٔ سطح و مقدار زیاد آب و جایی که HNDP بزرگ نشان‌دهنده خشک بودن و کم بودن سطح آب دارد.
۳	شاخص خیسی توپوگرافی (فاقد بعد)	$TWI= \ln(As /\tan(\beta))$, بر اساس رابطهٔ بالا در اینجا As مساحت ویژهٔ مشارکت داده شده و $\tan(\beta)$ ، شیب در امتداد جهت جریان است (Bourque & Bayat, 2015).	توپوگرافی آب، خاک و بارندگی را پخش و پراکنده کرده و در نتیجه سطوحی از شاخص خیسی توپوگرافی می‌تواند به‌تنهایی از مدل رقومی زمین توسعه یابد. روش‌های محاسبه شاخص خیسی توپوگرافی متغیر هستند که در اینجا روش جریان مادهٔ پخمان استفاده شد.
۴	مجموع تشعشعات خورشیدی در طول فصل رویش	مجموع تشعشعات خورشیدی در طول فصل رویش با استفاده از مدل LanDSET استخراج‌شده است. این پارامتر با استفاده از تصاویر لندست ۸ که در زمان برداشت قطعات نمونه تصویربرداری شده بود، و در محیط ARCGIS استخراج‌شده است به‌دست‌آمده است.	تشعشعات خورشیدی این پتانسیل را دارد که رویش و پراکنش درختان را برای گونه‌های مختلف تغییر دهد. اینجا تشعشعات خورشیدی تابعی از ۱- محاسبات مدل رقومی زمین شیب، جهت، فاکتور دید، زاویه افق و فاکتورهای تشکیل زمین ۲- هندسه خورشید – زمین و زاویه نوردهی و ۳- محاسبات جریان نور در بالای اتمسفر است.
۵	درجهٔ حرارت هوا به سانتی‌گراد	تغییرات عمودی در درجهٔ حرارت بر پایهٔ این نظریه است که درجه حرارت محیط هر یک کیلومتر ۶/۵ درجه تغییر می‌کند و درجهٔ حرارت اولیه سطح زمین ۲۱/۲ در نوشهر است.	متغیرهای فیزیولوژیکی مرتبط با فتوسنتز گیاهی و رویش، گونه‌های گیاهی جواب متفاوت به درجهٔ حرارت اتمسفر و گرمای فصلی جمع شده مرتبط می‌دهد.
۶	رطوبت نسبی به درصد	رطوبت نسبی از روشی مشابه که به‌وسیلهٔ Bourque & Matin (2012) توضیح داده شده است، محاسبه شد.	متغیرهای فیزیولوژیکی با تبخیر تعرق و رویش گیاه در ارتباط هستند. محاسبهٔ رطوبت نسبی بر اساس نرخ تغییر درجهٔ حرارت با تغیر ارتفاع و ثبات رطوبت نسبی در ۱۰۰ در هوای اشباع انجام می‌شود. رطوبت نسبی در هوای اشباع‌شده کاهش می‌یابد.
۷	سرعت باد (متر بر ثانیه) و جهت (نسبت به شمال واقعی)	سرعت باد بر اساس معادله‌های سه‌بعدی نویر- استوکس۴ برآورد شد. محاسبات مدل بر پایهٔ یکی شدن آثار آشفتگی جوی و فرایندهای حرارتی، صورت می‌گیرد. شرایط ابتدایی به‌وسیله درجه حرارت سطحی در فصل رویش، سرعت و جهت باد که از داده‌های ایستگاه‌های اقلیمی شهر نوشهر و ایستگاه‌های نزدیک به آن محاسبه شده است به دست می‌آید و فرض اینکه سرعت بالای باد در ارتفاع ۵۰۰ متری شش متر بر ثانیه است در نظر گرفته‌شده است. (Bourque & Bayat, 2015).	سرعت‌های باد می‌تواند عواقب مثبت و منفی بر روی رویش هم از دیدگاه فیزیولوژیکی و هم از نظر آشفتگی‌های مکانیکی داشته باشد.

۹.۲. محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی و مکانی گونه‌های درختی

تنوع مکانی گونه‌های درختی در قطعات نمونه و در عرصه مشخص شد، که از فرمول‌های زیر برای برآورد و محاسبه، استفاده شد. تنوع مکانی گونه‌های درختی مبین حضور انواع گونه‌هاست و از شمارش تعداد گونه‌های گیاهی در یک رولوه، یا یک منطقه به دست می‌آید. تعداد زیادی شاخص غنای گونه‌ای ابداع‌شده است که هر کدام به طریقی با ارائهٔ یک عدد، میزان تنوع مکانی گونه‌های درختی را در یک قطعه‌نمونه یا یک رویشگاه نشان می‌دهد؛ ولی از بین شاخص‌های متفاوت ارائه‌شده، شمارش تعداد کل گونه‌ها یا عنوان غنای گونه‌ای از همه مشهورتر است که در این تحقیق استفاده شد.

R=S

شاخص یکنواختی نحوهٔ پراکنش و توزیع جمعیت افراد گونه‌ها را نشان می‌دهد. هرچه توزیع گونه‌ها یکنواخت‌تر باشد (S)، میزان پایداری و ثبات بیشتر بوده، در نتیجه تنوع زیستی (R) بیشتر خواهد بود. در این تحقیق برای بررسی شاخص یکنواختی از توابع یکنواختی شانون- وینر (رابطه ۱) و سیمپسون (رابطه۲) استفاده شد (Alatalo, 1981).

$$E_H = \frac{H}{Hmax} = \frac{-\sum Pi\ Ln(Pi)}{Ln(s)} \quad (۱)$$

$$E_{D=\frac{1}{\sum (Pi)^2 \times s}} \quad (۲)$$

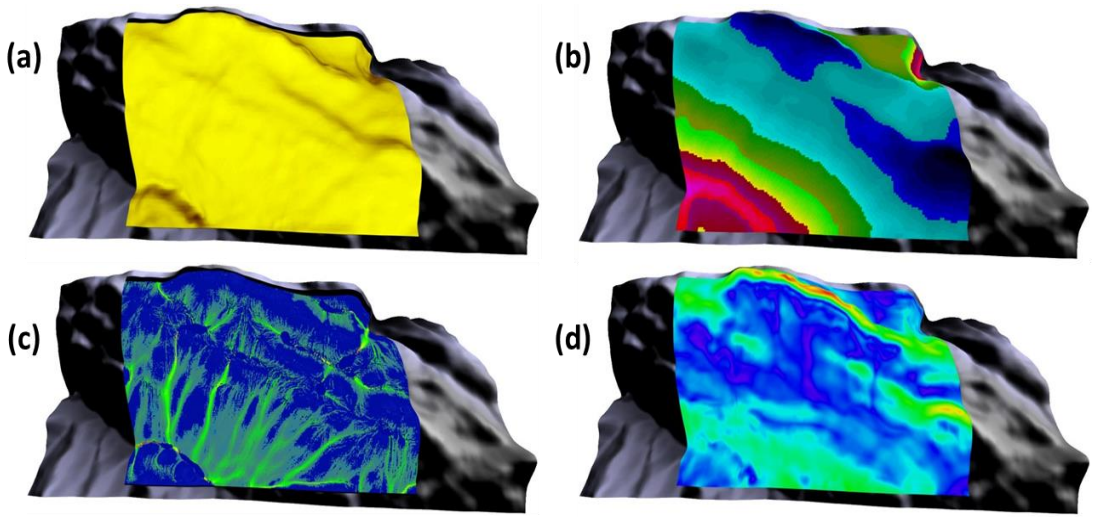
که تعداد گونه=S، ni = تعداد افراد، یا وفور گونه i ام، N= تعداد کل افراد یا وفور گونه‌ها، Pi = نسبت تعداد کل افراد یا نسبت وفور گونه i ام به مجموع وفور گونه‌ها، است.

۱۰.۲. ارتباط بین برآوردهای محیطی در قطعه نمونه با تنوع زیستی و مکانی

از رگرسیون سیمبولیک، یا تابع تشخیص سیمبولیک، برای تعیین پارامترهای مستقل تعیین‌شده، استفاده شد که متغیرهای رویشگاه به‌خصوص برای توضیح تغییرات مکانی تنوع زیستی ضروری هستند. رگرسیون سیمبولیک روشی است که در محاسبات تکاملی تحقیقی بر اساس معادلات جبری توسعه‌یافته و به کار گرفته می‌شود که باعث کاهش تفاوت ارزش‌های هدف و ارزش‌های محاسبه شده به‌وسیلهٔ معادلات شده و تفاوتش با تکنیک‌های رگرسیون‌های متداول که پارامترها را بر اساس معادلات شناخته‌شده تعیین می‌کند، در این است که نیازی به قوانین اولیهٔ ریاضی به‌عنوان نقطهٔ شروع ندارد. علاوه بر این روابط اولیه بر اساس تشکیل تصادفی تابع‌های اولیه پیشرو در داده‌های ورودی (خطی یا غیرو) با عملگرهای جبری شکل می‌گیرد. معادلات به‌دست‌آمده با روندی که در آن، داده‌های خروجی هدف تکرار شوند، از بقیهٔ روش‌ها بهتر بوده و راه‌حل‌های نامطلوب حذف می‌شوند. ادامهٔ کار تا زمانی که به‌دقت و صحت مطلوب در داده‌های تکرار می‌رسد، دنبال شد. به‌منظور تعادل در مشارکت نسبی ارزش برآوردی غنای گونه‌ای هر قطعه‌نمونه در ارائهٔ قوانین و فرمول‌های جامع غنای گونه‌ای، ارزش‌های غنای گونه‌ای با تابعی از معکوس تعداد وقوع آن‌ها در پایگاه داده‌ها، وزن‌دهی شد. این کار به این دلیل انجام می‌شود تا ارزش‌هایی که احتمال وقوعشان پایین است (برای مثال غنای گونه‌ای در هر قطعه نمونه ۰/۱هکتاری = ۷) سهم بیشتری نسبت به ارزش‌هایی که احتمال وقوعشان به‌مراتب بیشتر است (برای مثال غنای گونه‌ای در هر قطعه نمونه ۰/۱هکتاری = ۲-۴) در توضیح غنای گونه‌ای داشته باشند.

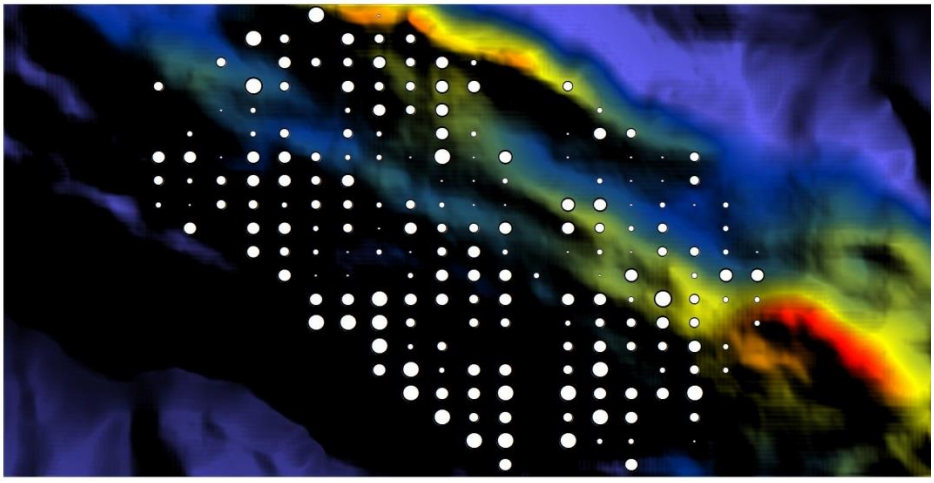
۳. نتایج

این تحقیق، کنترل عوامل زیست‌محیطی مؤثر بر تنوع زیستی و مکانی را در منطقه‌ای مدیریت‌شده از جنگل‌های هیرکانی بررسی می‌کند. ارائهٔ سطوح غیرزیستی که با کامپیوتر تولیدشده و با برآوردهای قطعات نمونه ثابت از i) مجموع تابش خورشیدی بدون وجود ابر؛ ii) دمای هوای فصلی؛ iii) شاخص خیسی توپوگرافیکی که نمایش‌دهندهٔ توزیع آب خاک است و iv) سرعت باد شبیه‌سازی شدهٔ دینامیک جریان-سیالات در عارضهٔ پیچیده مرتبط شده‌اند، کلید اصلی این مطالعه، است (شکل ۱).



شکل ۱. سطوح غیرزیستی مدل‌سازی شده

a) مجموع تابش خورشیدی بدون وجود ابر b) میانگین دمای هوای فصلی (^{o}C) و c) شاخص خیسی توپوگرافی (بدون واحد؛ TWI) و d) سرعت باد درون منطقه مورد مطالعه ($m\ s^{-1}$).



شکل ۲. برآوردهای سطح قطعه نمونه از تنوع مکانی گونه‌های درختی

اندازهٔ دوایر متناسب با سطح تنوع گونه‌ها بر اساس فرمول شاخص شانون وینر هستند؛ دوایر بزرگ متناسب با مقادیر زیاد شاخص (تنوع گونه‌ای بالا با مقادیر بالای ۱/۶) درحالی‌که دوایر کوچک متناسب با مقادیر کمتر (تنوع گونه‌ای پایین با یک مقادیر کمتر از ۰/۱)

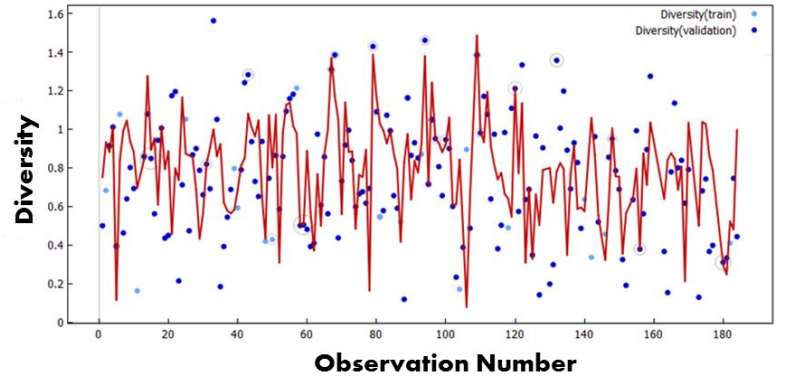
مدل پیشنهادشده که با رگرسیون سیمبولیک به‌دست‌آمده به شکل زیر است. برآوردها در سطح قطعه‌نمونه (شکل ۲) برای ایجاد یک رابطه سه-متغیره (رابطه ۳) تنوع زیستی و مکانی به‌وسیلهٔ رگرسیون سیمبلیک استفاده شدند:

$$Diversity = \left(\frac{1.073 \max\left\langle \sin\left(W^{-9.404} - 5.792W\right), \min\left\{\cos^{-1}\left[\sin\left(0.196 + 27.95W\right)\right], \sin\left(0.001605S\right)\right\}\right\rangle}{\sin\left(0.5122T\right)} \right), \quad (۳)$$

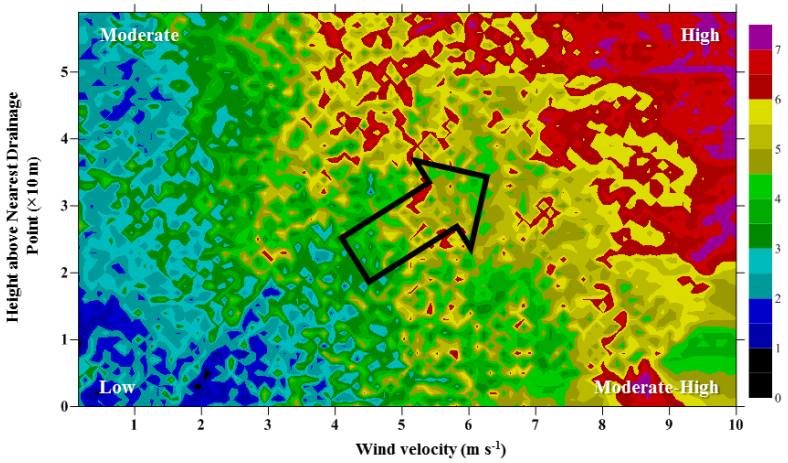
که W، سرعت باد ($m\ s^{-1}$)؛ S، مجموع تابش سالیانه تجمع یافتهٔ خورشیدی بدونِ ابر ($MJ\ m^{-2}$) و T، میانگین دمای سالیانه هوا نزدیک سطح زمین (^oC). در فرایند رگرسیون مقادیر تنوع برطبق TWI وزن‌دهی شده است. همان‌گونه که در این رابطه مشاهده می‌شود، سرعت باد و مجموع تابش سالیانهٔ خورشیدی رابطهٔ مستقیم و با میانگین دمای هوای سالیانه نزدیک سطح زمین رابطهٔ عکس دارد.

شاخص خیسی توپوگرافیک (TWI) در تفسیر الگوهای فضایی تنوع زیستی با اهمیت کمتر نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که برآوردهای W,S و T سطح قطعهٔ نمونه در ترکیب با هم، می‌تواند تقریباً ۷۰ درصد تغییرپذیری تنوع زیستی و مکانی درختان را در داده‌های تأیید شده توصیف کند (شکل ۳).

شاخص خیسی توپوگرافی به‌عنوان تصحیح کننده عمل کرده و تنها زمانی مؤثر است که بزرگ‌تر از ۰/۵۷۸ (حالت چهارم در معادله اصلی زمانی که a1 یک شود) باشد.



شکل ۳. برآوردهای سطح قطعهٔ نمونه از شاخص شانون وینر (دوایر آبی) مقایسه شده با مقادیر مدل‌سازی شده (خطوط قرمز)



شکل ۴. کنتور پلات غنای گونه‌ای درختی

تابعی از سرعت باد (متر بر ثانیه، محور **X**) و ارتفاع از نزدیک‌ترین نقطهٔ زهکشی شده (**HNDP**– به متر، محور **Y**) فلش در مرکز نشان می‌دهد که افزایش غنای گونه‌ای تابعی از افزایش سرعت باد و ارتفاع از نزدیک‌ترین نقطهٔ زهکشی شده به‌طور هم‌زمان است.

زمانی که این شرایط فراهم نبوده و شاخص خیسی توپوگرافی کمتر ۰/۵۷۸ باشد (زمانی که a1 صفر باشد)، تغییری در غنای گونه‌ای (نتیجه‌ای از شاخص خیسی توپوگرافی) که نمایندهٔ حجم آب در دسترس بر پایهٔ مقدار مشخص ارتفاع از نزدیک‌ترین نقطهٔ زه‌کشی شده HNDP باشد، ایجاد نمی‌شود. تصحیح دوم بر غنای گونه‌ای بر پایهٔ مقایسه ترکیب تابع خطی آثار سرعت باد و شاخص خیسی توپوگرافی با تانژانت تابع خطی از سرعت باد است. سه روش اثر متقابل غنای گونه‌ای، سرعت باد و ارتفاع از نزدیک‌ترین نقطهٔ زهکشی شده در شکل ۴ آمده است.

در جدول ۲ سهم نسبی مشارکت سرعت باد در نزدیکی سطح زمین (WND متر بر ثانیه)، سطوح انعکاس نور آبی (باند دو B2، بدون واحد)، ارتفاع از نزدیک‌ترین نقطهٔ زه‌کشی شده (HNDP، به متر)، شاخص خیسی توپوگرافی (TWI، فاقد واحد) در توصیف و تعیین تغییرات تنوع زیستی و مکانی (تعداد گونه درختی در قطعه نمونه ۰/۱ هکتاری) مشخص شده است.

جدول۲. تعیین سهم نسبی مشارکت عوامل محیطی تأثیرگذار از قبیل سرعت باد در نزدیکی سطح زمین (WND، متر بر ثانیه)، سطوح انعکاس نور آبی (باند دو B2، بدون واحد)، ارتفاع از نزدیک‌ترین نقطهٔ زه‌کشی شده (HNDP، به متر)، شاخص خیسی توپوگرافی (TWI، فاقد واحد) در توصیف تغییرات تنوع زیستی و مکانی غنای گونه‌ای (تعداد گونهٔ درختی در قطعه نمونهٔ ۰/۱ هکتاری)

راه‌حل	ضریب تعیین r^{2a}	متغیرهای مستقل				درصد مشارکت فردی هر متغیر	
		WND	B_2	HNDP	TWI		
۱	۰/۵۱۲	*				WND	۵۱/۲
۲	۰/۶۲۶	*	*			B_2	۱۱/۴
۳	۰/۷۰۸	*	*	*		HNDP	۸/۲
۴	۰/۷۷۵	*	*	*	*	TWI	۶/۷
۵	۰/۸۴۹	*	*	*	*	ترکیب خطی + آستانه	۷/۴

(*) ستاره، نشان‌دهندهٔ متغیرهایی است که برای ارائهٔ راه‌حل در رگرسیون سیمبولیک، وارد شده‌اند. راه‌حل‌های ۱ تا ۴ بر پایهٔ ترکیب خطی متغیرهای تعریف شده در جدول هستند.

همان‌گونه که در جدول بالا مشاهده می‌شود، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار به ترتیب، باد با ۵۱/۲ درصد، سطوح انعکاس نور آبی با ۱۱/۴ درصد، ارتفاع از نزدیک‌ترین نقطه زهکشی با ۸/۲ درصد و کمترین شاخص خیسی توپوگرافی با ۶/۷ درصد که در تعیین تنوع زیستی و مکانی گونه‌های درختی جنگلی نقش دارند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

اکوسیستم متنوع و شامل گونه‌های مختلف به اختلالات زیست‌محیطی مقاوم‌تر است و با وجود آشفتگی طبیعی یا اعمال‌شده در اکوسیستم باقی‌مانده و قادر به جبران و بازیابی تعدادی از اعضای ازدست‌رفته خود است. (Stapanian et al., 1997). بررسی الگوی مکانی و تنوع زیستی از مهم‌ترین پیش‌نیازها برای درک و مدیریت اکوسیستم‌های جنگلی است (Motz et al., 2010)؛ ارزیابی شاخص‌های تنوع برای وضعیت‌های مختلف جنگلی (طبیعی، نیمه‌طبیعی و دست کاشت)، ارجحیت تابع شانون –وینر را برای بررسی تنوع گونه‌های درختی نسبت به گونه‌های علفی تأیید می‌کند، هم‌چنین نتایج تحقیقات نشان داد که رگرسیون اجازه می‌دهد تا تجزیه‌وتحلیل، فراتر از مقایسهٔ ابزارهای کنترل چند عامل محدود کیفی، مانند نوع جنگل و منطقه باشد (Stapanian et al., 1997). با توجه به

اهمیت بالای شناخت و بررسی تنوع زیستی و مکانی گونه‌های گیاهی در مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، تاکنون پژوهش‌های مختلفی در این زمینه با استفاده از شاخص‌ها و روش‌های مختلف، انجام شده که از آن جمله می‌توان به پژوهش Polyakov و همکاران (۲۰۰۸) شاره کرد: آن‌ها با کمک رگرسیون، شاخص تنوع مارگالف و شاخص‌های غنای گونه‌ای، تأثیر فعالیت‌های انسانی را بر تنوع درختان جنگلی در Alabama در دورهٔ زمانی ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۰ بررسی کردند. متغیرهای رگرسیون شمال شیب، ارتفاع، DBH، نوع جنگل و غیره بودند که در تحقیق حاضر نیز از این متغیرها استفاده شده است، نتایج آن‌ها نشان داد که شهری شدن به دو صورت بر غنای گونه‌ای اثر می‌گذارد: اثر منفی مستقیمی که بر تنوع درختان در Alabama می‌گذارد. اثر غیرمستقیمی که بر شدت مدیریت جنگل می‌گذارد که به نوبهٔ خود اثر منفی بر تنوع درختان را سبب می‌شود. تفاوت این مطالعه با مطالعهٔ حاضر در این است که در این مطالعه اثر عوامل انسانی بر غنای گونه‌ای درختان بیشتر مشهود بوده حال آنکه در مطالعهٔ حاضر اثر عوامل محیطی و غیرزیستی تعیین‌کنندهٔ تغییرات تنوع زیستی در حوضهٔ آبخیز خیرود بوده است. همچنین Chawla و همکاران در سال ۲۰۰۸ در بررسی تنوع زیستی گونه‌های چوبی در طول گرادیان ارتفاعی در غرب هیمالیا نشان دادند که مقادیر شاخص‌های تنوع زیستی گیاهی با افزایش ارتفاع از سطح دریا نخست روند صعودی داشته (ارتفاعات میانی) سپس روند نزولی (ارتفاعات بالا) نشان می‌دهد (Chawla et al., 2008) که این ناشی از افزایش سرعت باد در ارتفاعات است که با نتایج این تحقیق که افزایش سرعت باد باعث کاهش تنوع درختی است همخوانی دارد. محمودی در سال ۱۳۸۶ در تحقیقی تنوع گونه‌ای گیاهان جنگل حفاظت‌شده کلارآباد در سطح گروه‌های اکولوژیک را در منطقه‌ای به مساحت ۵۹/۴ هکتار و با استفاده از نرم‌افزار TWINSPAN در چهار گروه اکولوژیک گیاهی تعیین و سپس شاخص‌های تنوع، غنای گونه‌ای و یکنواختی در سطح هر گروه اکولوژیک انجام داد و با استفاده از تجزیه‌وتحلیل یک‌طرفه آزمون‌های لازم گزارش داد. نتایج نشان داد در گروه‌های چهارگانه با افزایش یکنواختی، تنوع زیستی افزایش‌یافته است. در منطقهٔ مورد مطالعه تنوع گونه‌ای گیاهی در سطح گروه‌ها به دلیل عدم وجود شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریای آزاد متأثر از عامل حفاظت است (محمودی، ۱۳۸۶) حال آنکه در مطالعهٔ حاضر همان‌گونه که نتایج نشان داد در سطح منطقهٔ مورد مطالعه، عوامل محیطی به‌ویژه باد عامل اصلی ایجاد این تنوع بوده است. همچنین نتایج پژوهش اسماعیل‌زاده و حسینی در سال ۱۳۸۶ که به طبقه‌بندی گروه‌های اکولوژیک ذخیره‌گاه سرخدار افراتخته و بررسی ارتباط آن‌ها با شاخص‌های تنوع زیستی گیاهی بر اساس روش براون - بلانکه پرداختند نشان داد که گروه‌های اکولوژیک از نظر تحلیل پوشش گیاهی، شاخص‌های تنوع زیستی و متغیرهای فیزیوگرافی ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهات دامنه کاملاً از یکدیگر متمایزند. با افزایش ارتفاع و شیب و در نتیجه شرایط زیستی سخت‌تر، تنوع و غنا کاهش‌یافته است (اسماعیل‌زاده و حسینی، ۱۳۸۶) که با نتایج تحقیق حاضر که افزایش سرعت باد در ارتفاعات و ایجاد شرایط زیستی سخت، سبب کاهش تنوع گونه‌ای شده است همخوانی دارد. همچنین مطالعهٔ حاضر با تحقیق کوچ و همکاران (۱۳۹۰) که آثار باد و طوفان را بر تنوع زیستی اکوسیستم جنگلی طبیعی و در مقیاس محلی بررسی کردند همخوانی دارد. آن‌ها نتیجه گرفتند که وزش باد و تندباد در اکوسیستم‌های جنگلی به پیدایش میکروسایت‌های متعددی می‌انجامد که روی تنوع زیستی عناصر گیاهی اثرگذار است. بنابراین، با توجه به موارد گفته شده، در این تحقیق نیز مدل تنوع زیستی و مکانی درختان در اکوسیستم‌های خزان‌کننده و پهن‌برگ شمال ایران به کمک رگرسیون و شاخص‌های غنای گونه‌ای به دست آمد. برآوردهای سطح قطعه نمونه برای ایجاد رابطه‌ای سه-متغیره (رابطهٔ ۳) تنوع درخت به‌وسیلهٔ رگرسیون سیمبلیک استفاده شد. نتایج

مؤید این است که برآوردهای عددی از شرایط غیرزیستی و شاخص‌های آن‌ها (برای مثال سرعت باد، ارتفاع از نزدیک‌ترین نقطه زهکشی‌شده و شاخص خیسی توپوگرافی) در سطح قطعه نمونه، در امتداد سطوح انعکاسی نور آبی به‌دست‌آمده از ماهواره‌ها، بخش مهمی از تغییرات تنوع زیستی و مکانی در سطح قطعات نمونه (تقریباً ۸۵ درصد) را در اکوسیستم‌های ارتفاعات شمال ایران تفسیر می‌کند. نکتهٔ جالب توجه اینکه سطوح عددی زیستی فیزیکی تعداد کمی از متغیرها یا شاخص‌های آن‌ها در قدرت تفکیک ده متر، برای توضیح تنوع زیستی در سطح قطعه نمونه (۰/۱ هکتاری) در سطحی دقیق (دقت r^2=۸۵ نتایج جدول ۲) به اندازهٔ کافی منطقی است؛ با اینکه این سطوح از مدل رقومی زمین با قدرت تفکیک ۳۰ متر به دست آمده‌اند. هم‌چنین سرعت باد می‌تواند هم از جنبهٔ فیزیولوژیکی و هم از جنبهٔ مکانیکی نتایج مثبت و منفی برای گیاه داشته باشد، باد در سرعت‌های پایین مرزهای لایه‌ای مقاوم بزرگی بین هوا و سطوح برگ‌ها ایجاد کرده که مانع از انتقال دی‌اکسیدکربن و بخارآب از گیاه به هوا و برعکس شود، که به کاهش نرخ رشد گیاه می‌انجامد (Bang et al., 2010). بذرها و نهال‌ها وقتی در معرض باد قرار می‌گیرند ممکن است در اثر خشکی هوا از بین بروند؛ به‌خصوص در سرعت‌های متوسط رو به بالای باد این اتفاق تشدید می‌شود. به‌هرحال در این مورد رطوبت نسبی بالای (شکل b۲) منطقهٔ مورد مطالعه به کاهش خطرات ناشی از سرعت باد کمک می‌کند. شرایط مطلوب رویش با توجه به‌سرعت باد غالباً در حد واسط این دو حالت است. در این تحقیق سرعت باد ۲/۴ متر بر ثانیه است که شرایط بهینه رویش گیاهی است. آشفتگی‌های مزمن فیزیکی جنگل که در سرعت‌های زیاد باد در نزدیکی سطح زمین ایجاد می‌شود باعث ایجاد ناهمگونی‌های مکانی شده، بنابراین سبب تکثیر و ازدیاد گونه‌ای در مناطق تحت تأثیر، می‌شود. در منطقهٔ مورد مطالعه الگوهای غنای گونه‌ای با پراکنش رژیم‌های بادی غالب در ارتباط هستند. (شکل ۲ b) سرعت بادهای تاریخی به علت تغییر اقلیم در ارتفاعات بالا نسبت به ارتفاعات پایین سریع‌تر رو به کاهش است که پتانسیلی برای تأثیرگذاری بر فرایندهای زیستی فیزیکی (برای مثال پراکنش باد، تبخیر و تعرق، و رژیم پراکنش) و غنای گونه‌ای در ارتفاعات بالای جنگل‌های شمال ایران است. تأثیر رژیم‌های بادی و مقدار آب خاک (swc) که در اثر تأثیر متقابل شاخص ارتفاع از نزدیک‌ترین نقطهٔ زه‌کشی شده و شاخص خیسی توپوگرافی بر غنای گونه‌ای هستند، قبلاً مشخص شد. آثار کلی آن‌ها بر غنای گونه‌ای نسبت به اثر باد خیلی کمتر است (۱۵ درصد در برابر ۵۱ درصد، جدول ۲). زون‌هایی با HNDP کمتر از حالت بهینه (۰ تا ۲ متر)، مقدار آب خاک اشباع‌شده و سرعت پایین باد، غنای گونه‌ای پایینی دارند (شکل ۵). این حالت در قطعات نمونه‌ای که راش نسبت به گونه‌های دیگر چیره و حالت انحصاری است، مشخص‌تر است. راش، در مناطقی از سیمای سرزمین که قسمت زیادی از فصل رویش خیس و پرآب هستند، رویش بسیار پایینی داشته و در دوره‌ای ۹ ساله بر اساس اندازه‌گیری‌های سال ۲۰۰۳ و ۲۰۱۲ تقریباً ۱/۳ سانتیمتر رویش قطری داشته است. روند غنای گونه‌ای موجود بر قطعات نمونه که راش و ممرز گونه‌های غالب هستند، مشابه با قطعات نمونه‌ای است که دیگر گونه‌ها از قبیل افرا، شیردار و توسکا در آن‌ها غالب هستند. (شکل ۲ b) تغییرات در سطوح انعکاسی باند آبی لندست ۸ (باند۲) ۱۱/۴ درصد از غنای گونه‌ای را شرح می‌دهد (جدول ۲). شرایط جوی یکنواخت منطقهٔ مورد مطالعه که ناشی از کوچک بودن منطقه از نظر اندازه بوده، باعث بی‌اثر شدن آثار شرایط جوی بر انعکاس‌های محلی نور آبی شده و در نتیجه باعث بهبود تشخیص گونه‌های مختلف گیاهی در نور آبی شده است. گرچه مدل برای یک منطقه و شرایط مخصوص ارائه‌شده است، سیستم ارائه مدل می‌تواند پایه و اساسی برای مناطق جنگلی بزرگ‌تر و پیوسته در افق‌های زمانی در سیماهای سرزمین جنگلی، جایی که وضوح و رزولوشن مناسبی به دست آید، باشد. ازآنجاکه غنای

گون‌هایی کاملاً با شرایط غیرزیستی سیمای سرزمین در ارتباط است، آثار تغییر اقلیم بر غنای گونه‌ای درختی به‌صورت بالقوه قابل کمی‌سازی است. نرخ تغییرات در متغیرهای غیرزیستی می‌تواند از بازده مدل‌های اقلیم منطقه‌ای یا اقلیم موجود در مناطق کوچک، تخمین زده شود. این شیوه، به علت نیاز به فهم روابط اکوسیستم به‌خصوص از دیدگاه مدیریت حفاظتی و تغییرات اقلیمی، به دلیل متغیر بودن آن‌ها از دو بعد مکان و زمان، کاملاً حمایت و تأیید می‌شود.

یادداشت

1. Height above Nearest Drainage Point
2. Topographic Wet ness Index
3. Soil Water Content
4. 3D Navier-Stokes equations

منابع

اسماعیل‌زاده، ا. و حسینی، س.م. ۱۳۸۶. رابطهٔ بین گروه‌های اکولوژیک گیاهی با شاخص‌های تنوع زیستی گیاهی در ذخیره‌گاه سرخدار افراتخته. مجلهٔ محیط‌شناسی، ۴۳: ۲۱-۳۰.

بهمنی، ه.، عطایی، ایرج. و مرادمند جلالی، ع. ۱۳۹۲. مقایسهٔ شاخص‌های تنوع زیستی گونه‌های درختی در جنگل دارابکلا. مجلهٔ علوم و تکنولوژی محیط‌زیست ۱۵ (۴): ۵۵-۶۴.

رضوی، ع.، رحمانی، ر. و ستاریان، ع. ۱۳۸۸. بررسی عوامل مؤثر بر تنوع زیستی با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه در جنگل تحقیقاتی واز. پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل ۱۶(۱): ۳۳-۵۰.

کوچ، ی.، حسینی، م.، محمدی، ج. و حجتی، م. ۱۳۹۰. آثار باد و طوفان بر روی تنوع زیستی یک اکوسیستم جنگلی طبیعی در مقیاس محلی. انسان و محیط‌زیست ۳ (۱۸ و ۱۹): ۶۵-۷۲.

محمودی، ج. بررسی تنوع گونه‌ای گیاهان جنگل حفاظت‌شده کلارآباد در سطح گروه‌های اکولوژیک. مجلهٔ زیست‌شناسی ایران ۲۰ (۴): ۳۵۳-۳۶۲.

Alatalo, R.V. 1981. Problems in the measurement of evenness in ecology. Oikos, 37: 199-204.

Amanda, L., Binkley, D. and Carol, A.E .2005. Plant diversity in riparian forests in northwest Colordo: Effects of time and river regulation. Forest ecology and management, 20:110-121.

Ashraf, M.I., Zhao, Z., Bourque, CP-A. and Meng, F.R. 2012. GIS evaluation of two slope calculation methods regarding their suitability in slope analysis using high precision LiDAR digital elevation models, *Hydrological Processes*, 26(8): 1119-1133.

Ashraf, M.I., Bourque, CP-A., MacLean, D.A., Erdle, T. and Meng, F-R. 2013. Estimation of potential impacts of climate change on growth and yield of temperate tree species. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 20(1):85-99.

Austin, M.P., Pausas, J.G. and Nicholls, A.O. 1996. Patterns of tree species richness in relation to environment in southeastern New South Wales, Australia, Ecology, 21: 154-164.

Bang, C., Sabo, J.L. and Faeth, S.H. 2010. Reduced wind speed improves plant growth in a desert city, PLoS One, 5(6): 1-8

Bassow, S.L. and Bazzaz, F.A. 1998. How environmental conditions affect canopy leaf-level photosynthesis in four deciduous tree species, Ecology, 79(8): 2660-2675.

Bayat, M., Pukkala, T., Namiranian, M. and Zobeiri, M. 2013. Productivity and optimal management of the uneven-aged hardwood forests of Hyrcania, European journal of Forest Research, 132: 851-864.

Byun, J.G., Lee, W.K., Kim, M., Kwak, D.A. and Kwak, H. 2013. Radial growth response of Pinus densiflora and Quercus spp. to topographic and climatic factors in South Korea, Plant Ecology, 6(5): 380-392.

Bourque, CP-A. and Matin, M.A. 2012. Seasonal snow cover in the Qilian Mountains of Northwest China: Its dependence on oasis seasonal evolution and lowland production of water vapor, Hydrology, 454-455: 141-151.

Bourque, CP-A. and Bayat, M. 2015, Landscape Variation in Tree Species Richness in Northern Iran Forests Journal of PLOS ONE. DOI: 10.1371/journal.pone.0121172

Campbell, G.S. and Norman, J.M. 1998. An introduction to environmental biophysics (2nd ed.). Springer-Verlag, New York, 306 pp.

Chavez, P.S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data, Remote Sensing of Environment, 24: 459-479.

Chawla, A., Rajkumar, S., Singh, K. N., Brij Lal, R. D.S. and Thukral, A. K. 2008. Plant species diversity along an altitudinal gradient of Bhabha Valley in Western Himalaya. Journal of Mountain Science 5: 157-177.

Detto, M., Muller-Landau, H.C., Mascaro, J. and Asner, G.P. 2013. Hydrological networks and associated topographic variation as templates for the spatial organization of tropical forest vegetation, PLoS ONE, 8(10): 1-13.

Kerr, J.T. and Ostrovsky, M. 2003. From space to species: ecological applications for remote sensing, Trends in Ecology and Evolution, 18(6): 299-305.

Kery, M. and Schmid, H. 2006. Estimating species richness: calibrating a large avian monitoring program. J. Appl. Ecol, 43: 101-110.

Macneely, J. A. 2002. Forest biodiversity at the ecosystem level: Where do people fit in?. Unasylva Journal. 53:(209), 10-15.

McKee, J.K., Sciulli, P.W., Fooce, C.D. and Waite, T.A. 2003. Forecasting global biodiversity threats associated with human population growth. Biol. Conserv. 115, 161–164.

Moeslund, J.E., Arge, L., Bøcher, P.K., Dalgaard, T. and Ejrnæs, R. 2013. Topographically controlled soil moisture drives plant diversity patterns within grasslands, Biodiversity and Conservation, 22: 2151-2166.

Motz, K., Sterba, H. and Pommerening, A. 2010. Sampling measures of tree diversity. Forest Ecology and Management, 260: 1985-1996.

Murphy, P.N.C., Ogilvie, J., Meng, F-R., White, B. and Bhatti, J.S. 2011. Modelling and mapping topographic variations in forest soils at high resolution: A case study, Ecological Modelling, 222: 2314-2332.

Nagendra, H. 2001. Using remote sensing to assess biodiversity, Remote Sensing, 22(12): 2377-2400.

Pausas, J.G. and Austin, M.P. 2001. Patterns of plant species richness in relation to different environments: an appraisal, Vegetation Science, 12: 153-166.

Schietti, J., Emilio, T., Rennó, C.D., Drucker, D.P. and Costa, F.R.C.2014. Vertical distance from drainage drives floristic composition changes in an Amazonian rainforest, Plant Ecology and Diversity, 7(1-2): 241-253.

Sprugel, D.G. and Bormann, F.H. 1982. Natural disturbance and the steady state in high-altitude balsam fir forests, Science, 211(4480): 390-393.

Stapanian, M.A., Cassell, D.L., and Cline, S.P. 1997. Regional patterns of local diversity of trees: associations with anthropogenic disturbance. For. Ecol. Manage. 93 (1/2), 33–44.

Tabari, M., Espahbodi, K. and Poormadjidian, M.R. 2007. Composition and structure of a *Fagus orientalis*-dominated forest managed with shelterwood aim: a case study in the Caspian forests, northern Iran, Caspian Journal of Environmental Sciences, 5(1): 35-40.