دانشگاه گنبدکاووس
نشریه "حفاظت زیست‌بوم گیاهان"
دوره هشتم، شماره هفدهم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

پایش و پیش‌بینی چنددوره‌ای کاهش پوشش جنگلی با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در حوضه‌های آبخیز ارسباران

عقیل مددی[1*]، مرتضی قراچورلو[2]

[1]استاد گروه جغرافیای، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
[2]دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۶

چکیده

آگاهی و شناخت صحیح از تغییرات پوشش جنگلی در ارتباط با عوامل و عناصر محیطی به لحاظ رهنمودهای حفاظتی و حمایتی حائز اهمیت می‌باشد. پژوهش حاضر باهدف تشخیص، کمی‌سازی و پیش‌بینی چنددوره‌ای جنگل‌زدایی در ارتباط با متغیرهای توپوگرافی با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک انجام گرفت. حوضه‌های آبخیز ارسباران شامل سه حوضه ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای، واقع در شمال غرب ایران به دلیل داشتن اکوسیستم‌های جنگلی ارزشمند مورد هدف قرار گرفت. در این راستا کاهش پوشش جنگلی به‌عنوان متغیر وابسته، طی سه دوره زمانی مختلف شامل ۱۹۹۶-۱۹۸۴، ۲۰۰۶-۱۹۹۶، ۲۰۱۷-۲۰۰۶ و با استفاده از تصاویر ماهواره لندست به روش مقایسه پس از طبقه‌بندی آشکار گردید. از طرفی هشت متغیر مستقل توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاع (DEM) باقدرت تفکیک ۳۰ متر استخراج شد. این متغیرها شامل ارتفاع، شیب، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص رطوبت توپوگرافی، جهات شیب شمالی و شرقی، انحناء مسطح و انحناء پروفیل بود. نتایج آشکارسازی تغییرات طی سه دوره زمانی نشان داد که افزایش جنگل‌زدایی از دوره اول تا سوم در حوضه‌های ایلگینه و مردانقم مشهوده بوده و در مقابل، حوضه ناپشته با روند کاهشی جنگل‌زدایی مشخص شد. نتایج آزمون مدل رگرسیون لجستیک رضایت‌بخش بوده و از کارایی قابل‌قبول آن در تبیین و پیش‌بینی رخداد کاهش گستره جنگل در ارتباط با متغیرهای توپوگرافی حکایت داشت، به‌طوری‌که مقادیر مشخصه عملکرد نسبی (ROC) حاصل در سه دوره زمانی به ترتیب برابر با ۰/۷۶، ۰/۷۲ و ۰/۶۴ بود. نتایج مدل‌سازی نشان داد که بالاترین احتمال وقوع جنگل-زدایی به پهنه‌های محدب و برآمده، ارتفاعات بالا، دره‌ها و پیرامون رودها، شیب‌های تند و جهات دامنه جنوبی و شرقی و نم‌زارها اختصاص دارد.

*نویسنده مسئول: a_madadi@uma.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

واژه‌های کلیدی: **ارسباران، تغییرات زمانی ـ مکانی، توپوگرافی، دینامیک، جنگل‌زدایی.**

مقدمه

در عصر حاضر، پایش تغییرات پوشش جنگلی به‌عنوان یک چالش تحقیقاتی و درعین‌حال موضوع کاربردی محسوب می‌شود که با مسائلی مهمی چون تنوع زیستی، مدیریت پایدار و تغییر اقلیم گره‌خورده است. این پایش به‌ویژه در نواحی کوهستانی با تنوع زیستی هنگفت از ارزش والایی برخوردار است. جنگل‌ها در اکوسیستم‌های کوهستانی، به‌عنوان تعدیل‌گر فرایندهای هیدروژئومورفیک و آشفتگی‌های زیست‌محیطی عمل نموده و اثر جنگل‌زدایی و تبدیل جنگل روی افزایش دبی جریان و سیلاب (Wei et al., 2008; Dias et al., 2015; Salazar et al., 2015; Alvarenga et al., 2016)، از اهم موضوعات نگران‌کننده زیست‌محیطی بوده است. در این راستا، نتایج تحلیل تغییرات بلندمدت پوشش جنگلی می‌تواند به جهت اتخاذ اقدامات حفاظتی تا برنامه‌ریزی برای حفاظت از مداخلات انسانی مفید باشد (Reddy & Saranya, 2017)؛ اما این پایش و ارزیابی زمانی مفید و کارا خواهد بود که در ارتباط با سایر عناصر محیطی و عوامل مؤثر بر تغییرات صورت گیرد. در بین عوامل فیزیکی و پایه دخیل در تغییرات پوشش زمین، نقش توپوگرافی برجسته می‌نماید، چراکه توپوگرافی، فرکانس و شدت بسیاری از آشفتگی‌های طبیعی شامل زمین‌لغزه‌ها، سیلاب‌ها و برچینی درختان توسط باد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی، کاربری زمین و آشفتگی آنتروپوژنیک نیز به‌طور نظام‌مند در هر منطقه معینی در ارتباط با توپوگرافی تغییر پیدا می‌کند (Detto et al., 2013). شناخت و تشخیص رخداد جنگل‌زدایی در رابطه با خصوصیات توپوگرافی حوضه‌ها به‌عنوان عواملی که به‌طور غیرمستقیم بر کاهش پوشش جنگلی تأثیرگذارند، می‌تواند به ترکیب درهم‌آمیخته عوامل طبیعی و انسانی اشاره داشته باشد که حائز اهمیت است.

در دهه‌های اخیر پایش و پیش‌بینی جنگل‌زدایی در ارتباط با عوامل محیطی به کمک دانش دورسنجی (RS) و پردازش تصاویر ماهواره‌ای و در سایه توسعه روش‌های آماری- فضایی پیش‌بین (رگرسیون فضایی) از اقبال و توجه بیشتری برخوردار گردیده است. شارما و باریک (Sarma and Barik, 2010) با استفاده از دانش دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، روابط میان پوشش گیاهی و ویژگی‌های ژئومورفیک را در ذخیره‌گاه زیست‌کره نوکرک واقع در هند موردبررسی قراردادند. ایشان دریافتند که جنگل‌زدایی در پهنه‌های کم‌شیب اتفاق افتاده است. فوکس و همکاران (Fox et al., 2012) با استفاده از عکس‌های هوایی به مطالعه تغییرات پوشش زمین در نواحی مدیترانه‌ای طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۳ پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که جنگل‌ها تمایل به اشغال دامنه‌های پرشیب داشته و بیشترین تغییرات جنگل مربوط به دشت آبرفتی بود. پیش‌بینی تغییرات پوشش

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

جنگلی در جنگل‌های استان چاتیشکار کشور هند توسط کومار و همکاران (Kumar et al., 2014) با استفاده از تصاویر بیست‌ساله ماهواره لندست و بر اساس مدل رگرسیون لجستیک انجام گرفت. نتایج آن‌ها حاکی از رخداد بیشترین تغییر پوشش جنگل در زمین‌های هموار و پایین‌دست دامنه‌ها بود. باکس و همکاران (Bax et al., 2016) در بررسی روابط میان کاهش جنگل و خصوصیات چشم‌انداز در ناحیه اوچایالی کشور پرو از تحلیل رگرسیون چندمتغیره استفاده کردند. طبق نتایج تحلیل رگرسیونی، تمامی متغیرهای مستقل شامل متغیرهای فاصله از جاده‌های روسازی شده و روسازی نشده، فاصله از رودخانه، بارش سالانه و ارتفاع از سطح دریا از همبستگی منفی با متغیر وابسته یعنی جنگل‌زدایی برخوردار بودند. با توجه به اهمیت والای جنگل‌های ایران در حفاظت و سالم نگه‌داشتن منابع آب‌وخاک، مطالعات در خصوص تغییرات پوشش جنگلی و وقوع جنگل‌زدایی از اهم مطالعات زیست‌محیطی در کشور بوده است. آرخی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از رگرسیون لجستیک و قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی به پیش‌بینی تخریب جنگل‌های شمال ایلام همت گماشتند. نتایج حاصل از برقراری روابط رگرسیونی لجستیک نشان داد که متغیرهای ارتفاع از سطح دریا و شیب با مقدار تخریب رابطه عکس داشت. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) با شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات پوشش جنگلی حوضه‌های آبخیز لاویج و واز واقع در استان مازندران و با بهره‌گیری از روش رگرسیون لجستیک، تغییرات گستره جنگل را در حوضه‌های مذکور مدل‌سازی نمودند. در این پژوهش که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در یک دوره ۱۹ ساله انجام گرفت، معلوم گردید که متغیرهای فاصله از آبراهه، فاصله از روستا، فاصله از جاده و شیب رابطه معکوسی با تخریب گستره جنگل دارند. مسروری و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از متغیرهای فیزیوگرافی (شیب، ارتفاع از سطح دریا و جهت شیب) و اقتصادی- اجتماعی (درصد باسوادی، میزان جمعیت و نوع معیشت) به مدل‌سازی تخریب جنگل طی سال‌های ۱۳۳۴- ۱۳۷۶ در حوضه کاکارضای خرم‌آباد پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که ارتفاع از سطح دریا از رابطه مثبت و شیب از رابطه منفی با تخریب جنگل برخوردار بود. همچنین بیشترین تخریب جنگل در جهات جنوبی و جنوب غربی رخداده بود. نتایج مدل‌سازی تغییرات کاربری جنگل در حوزه چالوس‌رود مازندران توسط قربان‌نیا خیبری و همکاران (۱۳۹۶) حاکی از وجود رابطه مستقیم بین متغیرهای ارتفاع از سطح دریا و شیب با تخریب جنگل بود.

در یک جمع‌بندی می‌توان گفت که موضوع بسیار مهمی در باب مدل‌سازی فضایی جنگل‌زدایی مورد غفلت محققین واقع‌شده است که عبارت از خصوصیت «چنددوره‌ای» می‌باشد. پرداختن به این موضوع در ارتباط خصوصیات توپوگرافی با رخداد جنگل‌زدایی، می‌تواند علاوه بر تغییرات دینامیک جنگل‌زدایی (آهنگ و وسعت)، دینامیک ارتباط بین متغیرهای توپوگرافی و وقوع جنگل‌زدایی را نیز آشکار سازد. ازآنجایی‌که خصوصیات توپوگرافی عمدتاً در مقیاس زمانی چندین دهه، ایستا هستند،

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

بنابراین وجود پویایی دراین‌ارتباط می‌تواند استنباطی از پویایی عوامل انسانی ارائه نماید که رویکردی جامع می‌تواند باشد. این پژوهش در این راستا و با توجه به‌ضرورت انجام چنین مطالعه‌ای در جنگل‌های ارسباران واقع در شمال غرب ایران انجام گرفت. اکوسیستم‌های کوهستانی و جنگلی منطقه ارسباران دربردارنده ذخایر هنگفت تنوع زیستی و گونه‌های منحصربه‌فرد بوده و به لحاظ گردشگری از جذابیت ویژه‌ای برخوردارند (حمزه‌ای و همکاران، ۱۳۸۹؛ محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۳).

اهداف پژوهش بدین قرارند: ۱- شناسایی و تعیین موقعیت و وسعت جنگل‌زدایی در دوره‌های زمانی مختلف ۲- تشخیص و تعیین چگونگی ارتباط متغیرهای توپوگرافی با کاهش پوشش جنگلی ۳- ارائه مدل‌های رگرسیون لجستیک جهت پیش‌بینی کاهش پوشش جنگلی ۴- تشخیص وجود دینامیک ارتباط بین متغیرهای توپوگرافی و رخداد جنگل‌زدایی. آزمودن دینامیک تغییرات پوشش جنگلی و به‌ویژه دینامیک ارتباط متغیرهای مستقل با متغیر وابسته می‌تواند به‌عنوان نوآوری پژوهش باشد که انگیزه اصلی انجام پژوهش حاضر بود.

مواد و روش‌ها

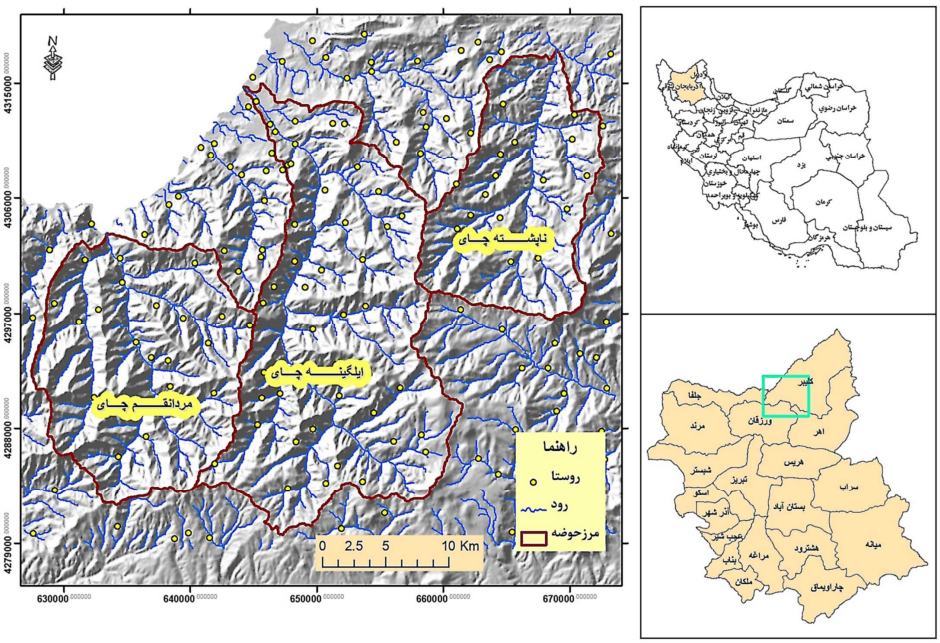
منطقه مورد مطالعه

حوضه‌های آبخیز ارسباران شامل سه حوضه ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای، در شمال غرب کشور و منطقه ویژه اکولوژیکی واقع‌شده‌اند (شکل ۱). مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌ها در جدول یک آورده شده است. حوضه‌های موردمطالعه در محدوده پنج شهرستان استان آذربایجان شرقی به نام‌های کلیبر، خدافرین، ورزقان، اهر و جلفا قرارگرفته‌اند. حوضه‌های جنگلی مذکور جزو حوضه آبریز بزرگ ارس محسوب شده و جریان‌های سطحی آن‌ها درنهایت وارد رود مرزی ارس می‌شود. با قرارگرفتن تمامی حوضه ناپشته‌چای و قسمت عمده شرق حوضه ایلگینه‌چای در داخل «منطقه حفاظت‌شده ارسباران» که یکی از مهم‌ترین ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره کشور می‌باشد، اهمیت زیست‌محیطی این حوضه‌ها آشکار می‌گردد. منطقه ارسباران با داشتن اقلیم نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب از بارندگی‌های ۳۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متری منتفع می‌شود. توپوگرافی خشن و ناهموار حوضه‌های آبخیز که نمود آن در دامنه‌های تند و پرتگاهی و سنگریزهای دامنه‌ای، دره‌های عمیق و تنگ و شبکه زهکشی نسبتاً پویا آشکار است، حکایت از مورفودینامیک فعال حوضه‌ها دارد (قراچورلو، ۱۳۹۶).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌های آبخیز ارسباران

نام حوضه	مساحت (کیلومترمربع)	محیط (کیلومتر)	شیب (درجه)			ارتفاع (متر)			تراکم زهکشی (کیلومتر بر کیلومترمربع)
			متوسط	حداکثر	حداقل	متوسط	حداکثر	حداقل	
ناپشته‌چای	۲۰۰	۶۶/۹	۲۰	۶۹	۰	۱۵۸۰	۲۷۲۵	۵۹۶	۲/۲۱
ایلگینه‌چای	۴۰۸	۱۱۵/۶	۲۲/۵	۷۴/۲	۰	۱۷۸۸	۲۹۲۹	۳۳۰	۲/۱۲
مردانقم‌چای	۲۷۳	۶۹/۶	۲۶/۴۹	۷۸/۲۴	۰	۱۵۳۶	۲۷۲۶	۳۸۱	۲/۱۱



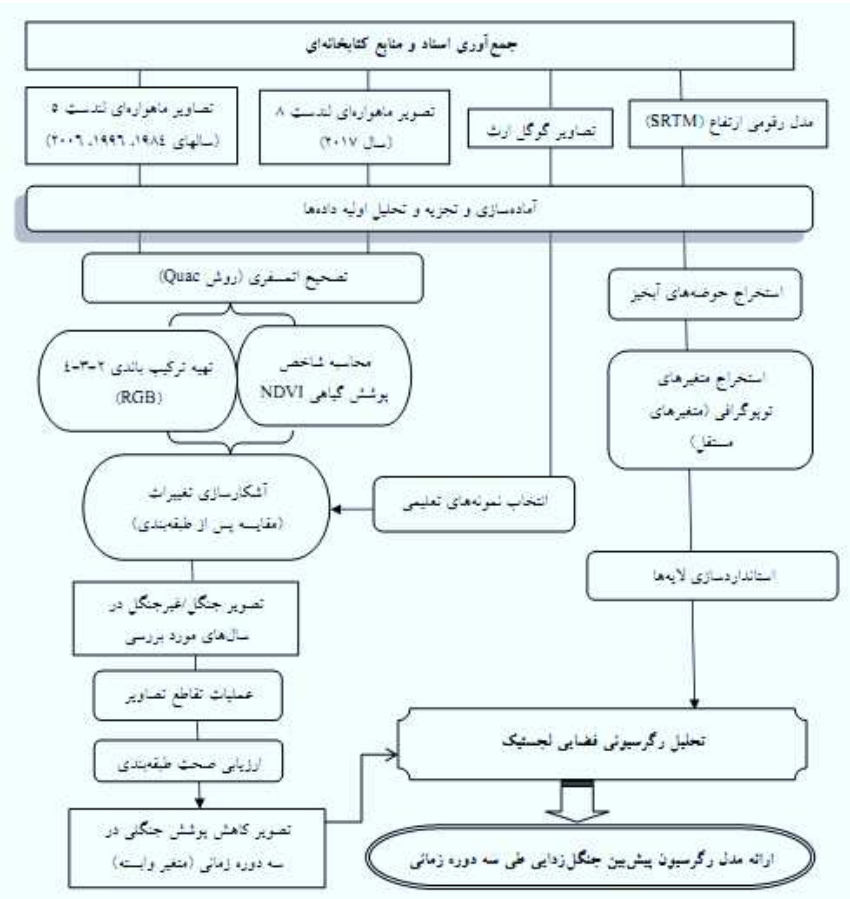
شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه‌های آبخیز ارسباران

داده‌های گردآوری‌شده و روش تحقیق

تحقیق حاضر بر پایه تحلیل‌های آماری فضایی انجام گرفت. در انجام این تحقیق از منابع مختلف کتابخانه‌ای شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست (سری ۵ و ۸)، تصاویر گوگل ارث، مدل رقومی ارتفاع

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

(DEM) و ابزارهـای پـردازش تصـاویر مـاهوارهای و تحلیـل فضـایی شـامل ENVI، IDRISI و GIS استفاده شد. روند انجام تحقیق در شکل (۲) نمایش دادهشده است. فراینـد تحقیـق شـامل دو مرحلـه: الف- آشکارسازی تغییرات پوشش جنگلی و ب- مدلسازی کاهش پوشش جنگلی (جنگلزدایی) بود.



شکل ۲- نمودار مراحل انجام تحقیق

آشکارسازی تغییرات پوشش جنگلی

ازآنجایی‌که این پژوهش در پی مدلسازی چنددوره‌ای کاهش پوشش جنگلی بـود، از چهـار تصـویر ماهواره‌ای لندست مربوط به گذر ۱۶۸ و ردیف ۳۳ طی سه دوره زمانی جهت کشـف تغییـرات اسـتفاده شد. قبـل از هـر چیـز در انتخـاب تصـاویر مـاهواره‌ای مناسـب سـعی شـد تـا تصـاویر مزبـور عـاری از محدودیت‌های پوشش ابری، فنولوژیکی و خطوط جاافتاده باشد. بنابراین تصاویر مربـوط بـه سـال‌هـای

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

۱۹۸۴، ۱۹۹۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۷ میلادی (برابر با سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۵، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ هجری شمسی) انتخاب گردید. تصاویر سه سال اول مربوط به لندست ۵ و سنجنده TM و سال ۲۰۱۷ مربوط به لندست ۸ و سنجنده OLI بود. دراین‌بین، به‌غیراز تصویر سال ۲۰۰۶ که در ماه ژوئن (خردادماه) اخذشده بود، سایر تصاویر مربوط به ماه ژوئیه (تیرماه) بود. با توجه به این‌که همگی این تصاویر از نوع داده‌های سطح یک لندست (Level-1) بوده و از کیفیت و دقت مناسبی جهت پردازش سری زمانی برخوردار بودند، نیازی به تصحیح هندسی و رادیومتریک تصاویر نبود. از طرفی بادرنظر گرفتن کوهستانی بودن منطقه جهت آشکارسازی و تشخیص دقیق‌تر پوشش جنگلی از شاخص پوشش گیاهی NDVI نیز بهره گرفته شد. بنابراین انجام تصحیحات اتمسفری ضرورت یافت. این کار در محیط نرم‌افزاری Envi و با استفاده از دستور Quac[2] میسر گردید. پس از انجام این تصحیح نسبت به محاسبه شاخص NDVI در چهارچوب محدوده مطالعاتی اقدام شد. ترکیب تصویر سه‌باندی (۲-۳-۴) با تصویر NDVI که مجموعاً چهار باند را شامل شد، وارد الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال[3] در محیط Envi گردید.

جهت انجام طبقه‌بندی نیاز به نمونه‌های تعلیمی بود که به کمک تصاویر Google Earth و با پراکنش مناسب تهیه شد. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از ۴۰۰ نقطه تعلیمی (۲۰۰ نقطه برای طبقه جنگل و ۲۰۰ نقطه برای طبقه غیرجنگل) انجام گرفت. پس از انجام طبقه‌بندی و اطمینان از صحت آن‌ها، تصاویر حاصل جهت مقایسه وارد محیط نرم‌افزاری IDRISI شده و از طریق عملیات تقاطع[4] نسبت به کشف تغییرات منفی رخداده در گستره جنگل (جنگل‌زدایی) اقدام گردید. لایه حاصل به‌عنوان متغیر وابسته (کاهش پوشش جنگلی) وارد تحلیل رگرسیونی لجستیک شد.

مدل‌سازی کاهش پوشش جنگلی (رگرسیون لجستیک)

رگرسیون لجستیک، روش آماری متعلق به گروه مدل‌های آماری خطی تعمیم‌یافته است که با استفاده از متغیرهای مستقل، احتمال وقوع یک حادثه را مورد پیش‌بینی قرار می‌دهد. نکته اصلی در رگرسیون لجستیک این است که متغیر وابسته یک متغیر دوحالته است، یعنی این‌که می‌تواند فقط عدد صفر به معنی عدم وقوع و یک به معنی وقوع رویداد باشد. در مورد تهیه نقشه حساسیت یا احتمال تخریب جنگل، هدف رگرسیون لجستیک یافتن بهترین مدل برای تشریح روابط میان حضور و یا عدم حضور متغیر وابسته (تخریب جنگل) و مجموعه گروه‌هایی از متغیرهای مستقل است. رگرسیون

[2] Quick atmospheric correction
[3] Maximum likelihood classification
[4] Crosstab

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

لجستیک از روش برآورد حداکثر احتمال (MLE) برای پیدا کردن بهترین مجموعه پارامترهایی که مدل را بهتر برازش می‌کنند، استفاده می‌کند. درنهایت مدل حاصل با استفاده از درصدی از نقاط برگرفته از نقشه اولیه تخریب به روش‌های نمونه‌برداری سیستماتیک یا تصادفی طبقه‌بندی‌شده به‌صورت ارائه آماره‌های ROC (مشخصه عملکرد نسبی) و $Pseudo\ R^2$ (شبه ضریب تعیین) ارزیابی می‌شود (آرخی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۶ و ۳۷).

در پژوهش حاضر از قابلیت محیط نرم‌افزاری IDRISI جهت آزمون روابط رگرسیونی لجستیک استفاده شد. متغیر وابسته، لایه رستری حاوی کاهش پوشش جنگلی (ارزش یک) و عدم کاهش پوشش جنگلی (ارزش صفر) بود. متغیرهای مستقل عبارت از هشت متغیر توپوگرافی شامل ارتفاع، شیب، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص رطوبت توپوگرافی، جهات شیب شمالی و شرقی، انحناء مسطح و انحناء پروفیل بود. شرح این پارامترها در جدول ۲ آمده است. استخراج این پارامترها با استفاده مدل رقومی ارتفاع (DEM) ۳۰ متری و با تکیه بر قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گرفت. با توجه متفاوت بودن مقیاس و دامنه مقادیر متغیرها، لازم بود تا جهت ورود به آزمون‌های رگرسیونی فضایی، یک «همسان‌سازی مقیاس» بر روی لایه‌های رستری متغیرها مستقل صورت گیرد. این کار از طریق روش نرمال‌سازی داده‌ها در دامنه صفر تا یک و با استفاده از فرمول زیر عملی شد.

رابطه ۱

$$X_{normalized} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

در رابطه فوق x، مقدار اولیه متغیر موردنظر؛ min (x)، کمینه متغیر مزبور؛ و max (x)، بیشینه متغیر مزبور می‌باشد.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

جدول ۲- پارامترهای توپوگرافی دخیل در پیش‌بینی جنگل‌زدایی

ردیف	پارامتر	نماد	شرح	منبع
۱	ارتفاع از سطح دریا	H	-	-
۲	شاخص موقعیت توپوگرافی	TPI	این شاخص ارتفاع هر سلول را نسبت به ارتفاع میانگین سلول‌های مجاور مقایسه می‌نماید. مقادیر مثبت نشانگر ستیغ‌ها و مقادیر منفی نشانگر دره‌هاست، درحالی‌که مناطق مسطح از مقادیری نزدیک به صفر برخوردارند.	Agren et al. (2014)
۳	شیب	S	آهنگ تغییر ارتفاع در جهت پرشیب‌ترین سرازیری	Wilson and Gallant (2000)
۴	شاخص رطوبت توپوگرافی	TWI	این شاخص بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود: $TWI = \ln(A_s / \tan(\beta))$ که در آن A_s عبارت از مساحت تجمعی بالادست دامنه است (مساحت ویژه حوضه) و β زاویه شیب محلی است. سلول‌های با مقادیر TWI بالا معرف نم‌زارها و سلول‌های با مقادیر TWI پایین جزو پهنه‌های خشک محسوب می‌شوند.	Ma et al. (2010)
۵	شمالی بودن	N	تبدیل خطی جهت شیب به دو بخش: شمالی (مقدار ۱+) و جنوبی (مقدار ۱-) $northness = \cos(\text{aspect})$	Rodriguez-Moreno and Bullock (2014)
۶	شرقی بودن	E	تبدیل خطی جهت شیب به دو بخش: شرقی (مقدار ۱+) و غربی (مقدار ۱-) $eastness = \sin(\text{aspect})$	Rodriguez-Moreno and Bullock (2014)
۷	انحناء مسطح	PL-C	انحناء در طول خط تقاطع بین سطح مزبور و صفحه XY. مقادیر مثبت اشاره به تحدب سطح و مقادیر منفی اشاره به تقعر سطح دارد.	Jenness (2012)
۸	انحناء نیمرخ	PR-C	انحناء در طول خط ماکزیمم شیب. مقادیر منفی مربوط به تحدب سطح (تسریع جریان) و مقادیر مثبت مربوط به تقعر سطح (کندی جریان) می‌باشد.	Jenness (2012)

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

نتایج و بحث

الف- آشکارسازی تغییرات (منفی) گستره جنگل

با توجه به این‌که طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در دو کلاس مشخص جنگل و غیرجنگل انجام شد و در انتخاب نمونه‌های تعلیمی نیز دقت لازم صورت گرفت، انتظار می‌رفت که نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از صحت بالایی برخوردار باشد. نتایج حاصل نیز نشان از صحت بالای طبقه‌بندی در سال‌های موردبررسی داشت (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

سال اخذ تصویر	۱۹۸۴	۱۹۹۶	۲۰۰۶	۲۰۱۷
صحت کلی	۹۹/۳۷	۹۸/۹۵	۹۸/۵۴	۹۷/۹۱
ضریب کاپا	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶

نقشه‌های کاهش گستره جنگل طی سه دوره متوالی از طریق تقاطع نقشه‌های متوالی طبقه‌بندی شده در دو کلاس جنگل و غیرجنگل (مجموعاً ۴ نقشه) حاصل شد. این نقشه‌ها طبق شکل ۳، موقعیت و پراکنش فضایی کاهش گستره جنگل (رخداد جنگل‌زدایی) را در حوضه‌های موردمطالعه نشان می‌دهد.

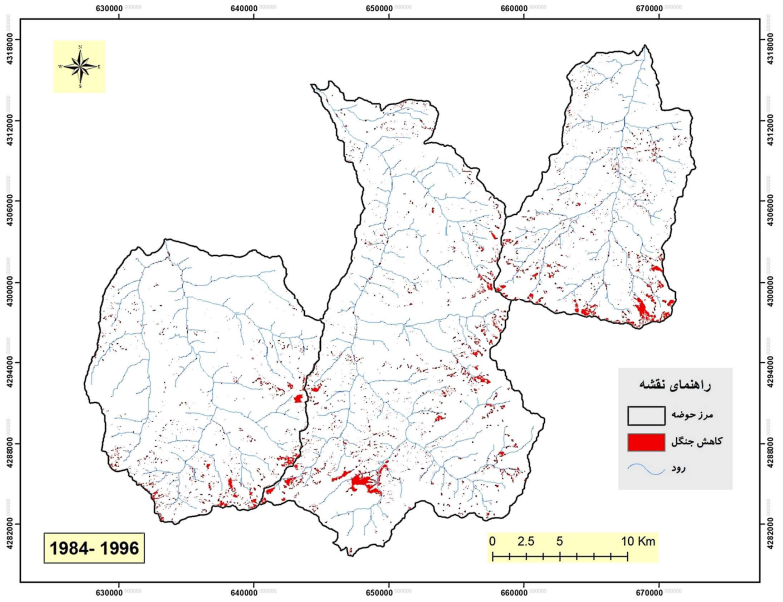
دوره اول. در دوره اول (۱۹۹۶-۱۹۸۴)، جنگل‌زدایی عمدتاً در بالادست حوضه‌ها و سرشاخه‌ها (بالادست دامنه) رخ‌داده است. آسیب‌پذیری طبیعی این قسمت‌ها با توجه به شکنندگی حوضه‌های کوهستانی و شرایط نسبتاً دشوار برای تثبیت و تجدید رویش به دلیل مورفودینامیک فعال باعث می‌شود که هرگونه دخل و تصرف غیرطبیعی و ناسازگار با شرایط اکولوژیکی به زوال جنگل بینجامد. یکی از نمونه‌های بارز این دست‌اندازی نابخردانه که باعث پاک‌تراشی پهنه بزرگی از جنگل شده است، فعالیت معدن‌کاری در بالادست حوضه ایلگینه بوده است.

دوره دوم. روند فضایی جنگل‌زدایی در دوره دوم (۲۰۰۶-۱۹۹۶) شکل کاملاً متفاوتی به خود گرفته و به سمت مرکز حوضه‌ها پیش رفته است. تمرکز تخریب جنگل در قسمت‌های میانی دو حوضه ایلگینه‌چای و ناپشته‌چای نسبت به حوضه مردانقم‌چای مشهودتر است. در حوضه آبخیز مردانقم‌چای پهنه‌های بزرگ جنگل‌زدایی در موقعیت‌های مختلف جغرافیایی دیده می‌شود که مسلماً مدیریت این موضوع را با مشکل مواجه می‌سازد. از طرفی آرایش فضایی جنگل‌زدایی طی دوره دوم به‌گونه‌ای بوده است که پایین‌دست حوضه‌ها نیز از این پدیده متأثر شده‌اند. به نظر می‌رسد که در این دوره نسبت به

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

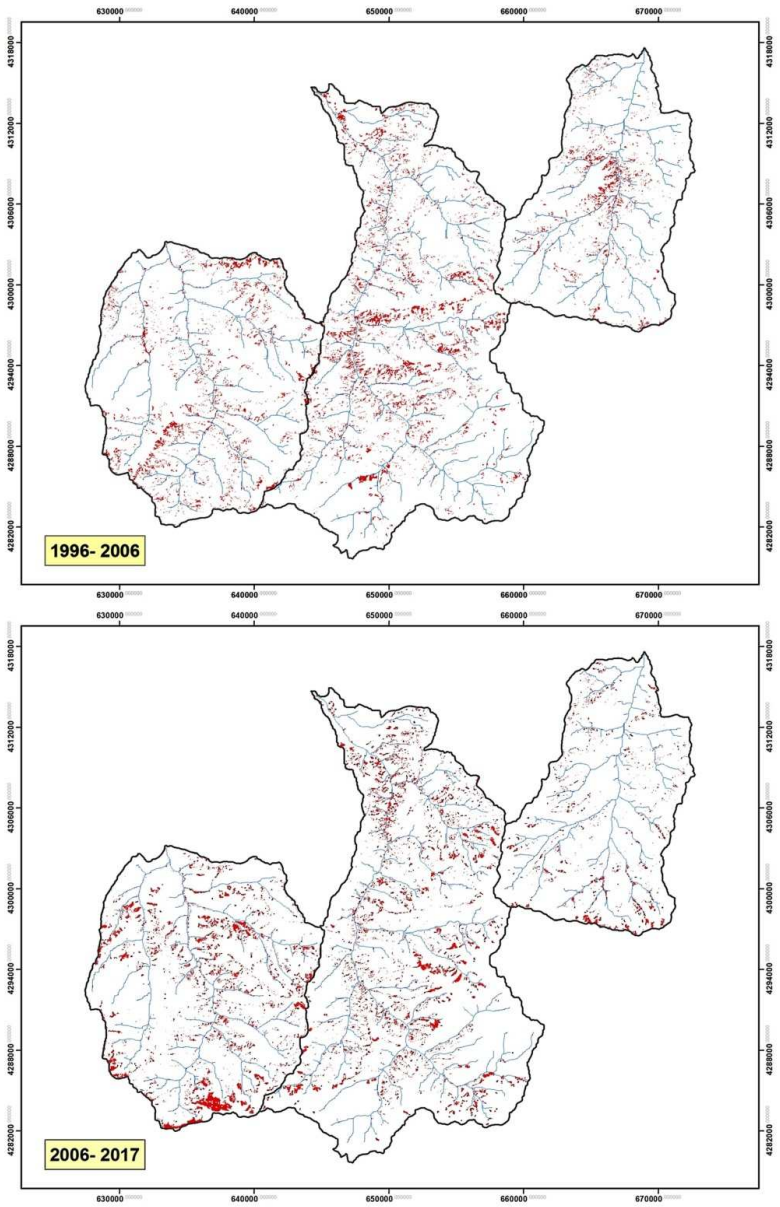
دوره قبلی فعالیت‌های کشاورزی در پایین‌دست حوضه که از شرایط طبیعی مساعدتری بـرای کشـت و زرع برخوردارند، افزایش‌یافته است.

دوره سوم. در دوره سوم زمانی (۲۰۱۷-۲۰۰۶) که نشانگر تغییرات جدید جنگـل‌زدایـی در منطقـه موردمطالعه است، بار دیگر شاهد وقوع جنگل‌زدایی در بالادست حوضه‌ها هستیم. به‌علاوه، قسـمت‌هـای پایین‌دست حوضه‌های ایلگینه و مردانقم با افزایش قابل‌توجه جنگل‌زدایی نسبت به دوره قبلی مشـخص می‌باشد.



شکل ۳- کاهش گستره جنگل در حوضه‌های آبخیز ارسباران طی سه دوره زمانی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]



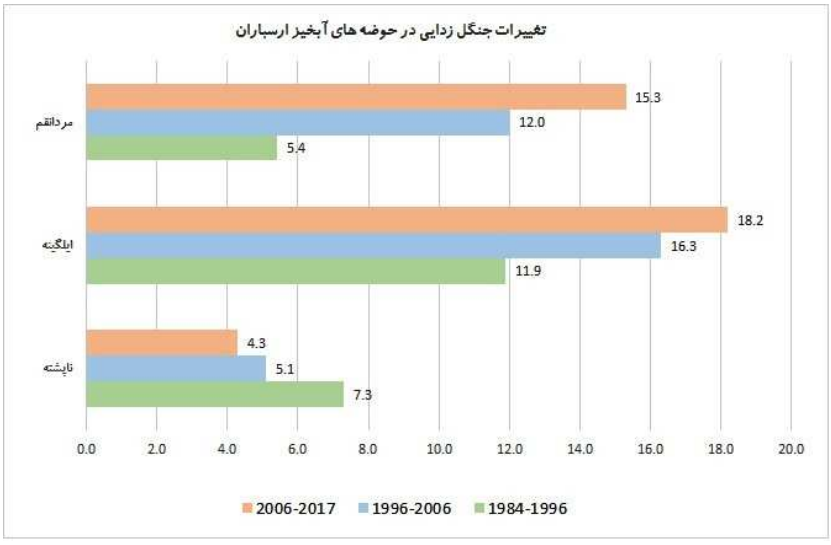
ادامه شکل ۳

موضوع بسیار نگران‌کننده همانا افزایش مساحت لکه‌های جنگل‌زدایی به‌ویژه در دو حوضه ایلگینـه و مردانقم است. نکته مهم دیگر که به لحاظ تغییرات بیوکلیمایی نیـز حـائز اهمیـت اسـت، مربـوط بـه

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

تمرکز جنگل‌زدایی در شرق حوضه‌های ایلگینه و مردانقم می‌باشد. بـه لحـاظ جهـت جغرافیـایی، نیمـه شرقی حوضه‌های موردمطالعه با حاکمیت دامنه‌های غربی نسبت به دامنه‌های شرقی مشخص می‌باشـد. برعکس، حاکمیت دامنه‌های رو به شرق در نیمه غربی حوضه‌های مذکور بارز می‌باشـد. بنـابراین وقـوع جنگل‌زدایی بیشتر در نیمه شرقی این حوضه‌ها که از شرایط بیوکلیمـایی نامسـاعدتر نسـبت بـه نیمـه غربی برخوردارند، می‌تواند هشداری جدی هم در باب تغییرات اقلیمی و هم در بـاب تغییـرات کـاربری زمین و اثرات منفی آنتروپوژنیک باشد.

اما نمودار تغییرات میزان جنگل‌زدایی در حوضه‌های موردمطالعه طـی سـه دوره زمـانی (شـکل ۵) نشان می‌دهد که افزایش جنگل‌زدایی از دوره اول تا سوم در حوضه‌های ایلگینه و مردانقم مشهوده بوده است. در مقابل، روند کاهشی وقوع جنگل‌زدایی در حوضه ناپشته مشاهده می‌شود که به لحاظ حفاظتی و استرداد جنگل، امیدبخش می‌باشد. بیشینه جنگل‌زدایی برابر با ۱۸ کیلومترمربـع بـه حوضـه ایلگینـه تعلق دارد که در دوره اخیر رخداده است. در مقابل، کمینه جنگل‌زدایی برابـر بـا ۴/۳ کیلومترمربـع بـه حوضه ناپشته اختصاص دارد که در دوره سوم رخداده است. نکته برجسته در خصوص روند جنگل‌زدایی در منطقه موردمطالعه این است که نرخ کاهش جنگل در حوضه ایلگینه طی هر سه دوره زمانی بیشـتر از دو حوضه دیگر بوده است.



شکل ۴- نمودار تغییرات میزان کاهش جنگل در حوضه‌های آبخیز ارسباران طی سه دوره زمانی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

ب- تحلیل کم و کیف روابط متغیرهای توپوگرافی با رخداد جنگل‌زدایی

کمی‌سازی رخداد جنگل‌زدایی در ارتباط با خصوصیات توپوگرافی از طریق مدل‌های رگرسیونی حاصل امکان‌پذیر می‌باشد. این فرمول‌های رگرسیونی طی سه دوره زمانی به ترتیب زیر حاصل شد.

الف- دوره زمانی ۱۹۹۶-۱۹۸۴

logit (1984-1996 deforest) = -12.8794 + 3.894986*h - 0.537107*s + 0.013534*n + 0.002067*e - 3.773845*tpi + 18.736515*pl-c - 1.101531*pr-c + 0.000004*twi

ب- دوره زمانی ۲۰۰۶-۱۹۹۶

logit (1996-2006 deforest) = -2.3794 - 0.344116*h + 1.438260*s - 0.048845*n + 0.037481*e - 0.866163*tpi + 8.245669*pl-c - 0.996602*pr-c - 0.000021*twi

ج- دوره زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۶

logit (2006-2017 deforest) = -13.2476 + 0.245218*h + 0.616353*s + 0.060201*n + 0.005028*e - 2.468671*tpi + 22.619811*pl-c - 1.791593*pr-c + 0.000001*twi

ضرایب b متغیرهای توپوگرافی که نشانگر میزان و نوع تأثیرگذاری آن‌هاست، در دوره‌های مختلف متفاوت از هم بوده است. این تفاوت اشاره به دینامیک ارتباط و پیچیدگی برهمنکش‌ها دارد. در وهله نخست چگونگی این ارتباط (مستقیم یا معکوس) موردبررسی قرار گرفت. البته بایستی متذکر شد که هرچند برخی متغیرها به لحاظ رابطه مثبت یا منفی با کاهش گستره جنگل در سه دوره زمانی باهم متفاوت بودند، اما درنهایت تبیین چگونگی تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته با درنظر گرفتن اشتراک دو دوره زمانی در نوع همبستگی (مثبت یا منفی) مدنظر قرار گرفت.

اولین و مهم‌ترین متغیر توپوگرافی مؤثر بر پراکنش مکانی- زمانی پوشش گیاهی، عبارت از عامل ارتفاع از سطح دریا (H) است. این متغیر در دوره‌های زمانی اول و سوم از رابطه مستقیمی با وقوع جنگل‌زدایی برخوردار بوده است. در دوره دوم این رابطه به‌صورت معکوس تغییر نموده است. رابطه مستقیم ارتفاع از سطح دریا با کاهش پوشش جنگلی نشان می‌دهد که هر چه به ارتفاعات بالاتر می‌رویم، احتمال تخریب جنگل بیشتر می‌شود. هرچند که عدم دسترسی آسان و شرایط نامساعد توپوکلیمایی جهت فعالیت‌های انسانی در ارتفاعات بالا می‌تواند باعث حفظ بیشتر پوشش جنگلی شود که در دوره دوم (سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۶) مشاهده می‌شود، بااین‌حال چند نکته را بایستی درنظر گرفت. خاک‌های ارتفاعات بالا به دلیل نارس بودن و مواد آلی کمتر از قابلیت کمتری به لحاظ تثبیت و تقویت پوشش گیاهی برخوردارند. درعین‌حال شکنندگی جنگل‌های این نواحی در برابر مداخلات بی‌رویه و غیراصولی انسانی از قبیل کشت و زرع، چرا، احداث جاده و غیره بیشتر بوده و تغییرات اقلیمی نیز در ارتفاعات بالا محسوس‌تر است. توار و همکاران (Tovar et al., 2013) به پیش‌روی عرصه‌های کشاورزی به سمت نقاط مرتفع و جایگزینی جنگل‌های واقع در این نقاط با زمین‌های

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

کشاورزی اشاره داشته‌اند. با توجه به شواهد موجود، فاکتورهای چرای بی‌رویه و برداشت چوب به‌عنوان هیزم توسط عشایر در تخریب جنگل‌های ارسباران حتی در ارتفاعات بالا مؤثر بوده است. گذشته از این‌ها آرایش مکانی درخت‌زارها در ارتباط با متغیرهای محیطی نیز مسلماً بر تخریب آن‌ها تأثیرگذار می‌باشد. این واقعیت در مورد حوضه‌های آبخیز ارسباران مهم می‌نماید. الهیان (۱۳۸۷) چنین اذعان نمود که "جنگل‌های نسبتاً خوب منطقه ارسباران غالباً در ارتفاعات ۱۷۰۰-۱۰۰۰ متر قرار داشته و در بالا و پایین این دامنه ارتفاعی، جنگل‌ها بیشتر مورد تعرض قرارگرفته‌اند". با توجه به کوهستانی بودن حوضه‌ها و این‌که حدود نیمی از مساحت حوضه‌ها در بالای این دامنه ارتفاعی واقع هستند، بنابراین نمی‌توان به‌طور قاطع در خصوص نوع ارتباط متغیر ارتفاع با رخداد جنگل‌زدایی قضاوت نمود. چنین می‌نماید که وقوع جنگل‌زدایی در حواشی مرز جنگل در شرف وقوع است که جای کنکاش بیشتری دارد. درهرحال، بااینکه بیشترین محققین خارجی به رابطه معکوس ارتفاع با وقوع جنگل‌زدایی اذعان نموده‌اند (Fox et al., 2012; Box et al., 2016; Bonilla-Bedoya et al., 2017)، اما محققین داخلی عمدتاً به رابطه مستقیمی بین ارتفاع و تخریب جنگل دست یافتند. از آن جمله می‌توان به نتایج مسروری و همکاران (۱۳۹۴) و قربان‌نیا خیبری و همکاران (۱۳۹۶) اشاره نمود.

متغیر دیگری که از ارتفاع مشتق می‌شود، شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) است که تقسیم‌بندی سطوح توپوگرافی را به نحوی گویاتر نشان داده و نوع تأثیر ارتفاع بر وقوع جنگل‌زدایی را قابل تفسیرتر می‌سازد. رابطه معکوس این متغیر با رخداد جنگل‌زدایی در هر سه دوره زمانی علاوه بر قطعیت نوع رابطه این متغیر با رخداد جنگل‌زدایی، نشان می‌دهد که وقوع جنگل‌زدایی در سطوح پایین توپوگرافی یعنی دره‌ها اتفاق افتاده است. در مقابل ستیغ‌ها و پیرامون خطوط آب‌پخشان از پدیده جنگل‌زدایی در امان مانده‌اند. همچنین سطوح هموار نیز بیشتر در معرض جنگل‌زدایی بوده‌اند. کومار و همکاران (Kumar et al., 2014) نیز اذعان نمودند که بیشترین تغییرات جنگل در زمین‌های هموار و پایین‌دست دامنه‌ها رخ‌داده است. حضور رودخانه‌های نزدیک، ذخیره آب دائمی را برای پرورش احشام تضمین نموده و به‌علاوه، این مناطق به دلیل دسترسی نسبتاً آسان، به‌عنوان جاده‌های دسترسی به جنگل متراکم عمل می‌نمایند.

دومین متغیر مهم توپوگرافی که بر تغییرات زمانی- مکانی پوشش گیاهی مؤثر است، شیب زمین (S) می‌باشد. نقش مهم این متغیر ازآنجایی ناشی می‌شود که فرایندهای فرسایش و رواناب و توسعه و تحول خاک را کنترل می‌نماید. تثبیت و پایداری رسوب، آب و مواد مغذی ممکن است درشیب‌های بالا با محدودیت روبرو شده و متعاقباً استقرار و تثبیت جوامع گیاهی دشوار گردد. نتایج حاصل مبنی بر رابطه مثبت شیب با کاهش پوشش جنگلی می‌تواند اشاره به این محدودیت‌ها و فرایندهای طبیعی مؤثر در تخریب جنگل داشته باشد. هرچند که در دوره اول زمانی این رابطه معکوس بوده و جنگل‌های

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

نواحی پرشیب از وقوع جنگل‌زدایی به دور بوده‌اند. البته بایستی خاطرنشان ساخت که حاکمیت دامنه‌های پرشیب در حوضه‌های کوهستانی ارسباران ممکن است نوع رابطه شیب با کاهش پوشش جنگلی را تحت‌الشعاع خود قرار دهد. به‌هرحال این نتیجه با نتایج بیشتر محققین (Kumar et al., 2014; Bonilla-Bedoya et al., 2017؛ آرخی و همکاران، ۱۳۹۱ و مسروری و همکاران، ۱۳۹۴) مبنی بر وقوع جنگل‌زدایی در شیب‌های کم، مغایرت نشان می‌دهد، در مقابل با نتیجه کار قربان‌نیا خیبری و همکاران (۱۳۹۶) همخوانی دارد.

جهت شیب یکی دیگر از متغیرهای توپوگرافی است که در کنار متغیرهای شیب زمین و ارتفاع از سطح دریا، پیکربندی ناهمواری‌ها و تحول آن‌ها را بر عهده داشته و تفاوت‌های توپوکلیمایی مؤثر بر شرایط زیستی را موجب می‌شوند. عموماً در دامنه‌های رو به شمال نسبت به دامنه‌های رو به جنوب، به دلیل دمای کمتر و رطوبت بیشتر، شرایط بهتری به لحاظ تشکیل و توسعه خاک و به تبع آن پوشش گیاهی فراهم است. رابطه معکوس شمالی بودن (N) با وقوع جنگل‌زدایی اشاره به این محدودیت و آسیب‌پذیری دامنه‌های جنوبی در قبال تثبیت و تجدید رویش جنگل دارد. آرخی و همکاران (۱۳۹۱) نیز به این نتیجه رسیدند که تخریب جنگل در دامنه‌های شمالی کمتر بوده است. همچنین مسروری و همکاران (۱۳۹۴) پی بردند که بیشترین تخریب جنگل متعلق به جهات جنوبی و جنوب غربی بود. هرچند که گویی رابطه مذکور در دهه اخیر معکوس شده و تخریب جنگل عمدتاً به دامنه‌های شمالی سرایت نموده است؛ اما رابطه مثبت متغیر شرقی‌بودن (E) با کاهش گستره جنگل دلالت بر وقوع جنگل‌زدایی در دامنه‌های رو به شرق دارد. این نتیجه با نتیجه کار آرخی و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت نشان می‌دهد. بااینکه دامنه‌های شرقی از رطوبت بیشتر نسبت به دامنه‌های غربی برخوردار بوده و شرایط رشد و توسعه پوشش گیاهی در این دامنه‌ها فراهم می‌باشد، از اثرات آنتروپوژنیک دور نمانده و در معرض جنگل‌زدایی بیشتر واقع‌شده است.

پس از بررسی پارامترهای اصلی توپوگرافی نوبت به پارامترهای انحناء می‌رسد که نشانگر تقعر یا تحدب سطوح توپوگرافی یا کوژی و کاوی دامنه‌ها در جهات مختلف طولی و عرضی است. رابطه مستقیم پارامتر انحناء مسطح (pl-c) با کاهش پوشش جنگلی نشانگر وقوع جنگل‌زدایی در سطوح برآمده و محدب در جهت عمود بر دامنه می‌باشد. این نتیجه را می‌توان به پخش و جابه‌جایی مواد رسوبی و آب و محدودیت تکوین و توسعه خوب خاک در سطوح محدب نسبت داد که ثبات و تجدید رویش درخت‌زارها را با تنگنا مواجه می‌سازد. از طرفی وجود سطوح محدود تپه‌مانند و نسبتاً هموار در رأس طاقدیس‌ها دسترسی به این پهنه‌ها را مخصوصاً برای عشایر منطقه آسان نموده و باعث پاک‌تراشی جنگل شده است. چگونگی رابطه دومین پارامتر انحناء یعنی انحناء نیمرخ (pr-c) با وقوع جنگل‌زدایی، بار دیگر نشانگر کاهش پوشش جنگلی در سطوح محدب منتها در جهت موافق دامنه یا

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

راستای طولی آن است. به عبارتی پهنه‌هایی که با تسریع جریان مواجه هستند، در معرض جنگل‌زدایی بوده‌اند. در مقابل، گودی‌ها و چاله‌های واقع در طول دامنه، کمتر از پدیده جنگل‌زدایی متأثر شده‌اند.

آخرین متغیر مستقل توپوگرافی در ارتباط با متغیر وابسته جنگل‌زدایی عبارت از شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) بود. رابطه مستقیمی بین این متغیر با وقوع جنگل‌زدایی در دو دوره اول و سوم وجود داشته و در دوره دوم این رابطه به‌صورت معکوس بوده است. این رابطه مستقیم نشان می‌دهد که کاهش پوشش جنگلی در مناطق مرطوب و سایه گیر خصوصاً پیرامون آبراهه‌ها و پایین‌دست دامنه‌ها رخ‌داده است. به نظر می‌رسد که وجود منابع آب بهتر در نواحی نم‌گیر باعث جذب بیشتر فعالیت‌های انسانی و توقف بیشتر در آن‌ها شده و پدیده جنگل‌زدایی را به همراه داشته است. هرچند که نبایستی از وقوع حرکات دامنه‌ای در ارتباط با نم‌زارها که بعضاً موجب برچینی پوشش گیاهی می‌شود، نیز غافل ماند.

پس از تعیین چگونگی روابط متغیرهای توپوگرافی با رخداد جنگل‌زدایی نوبت به تعیین اهمیت آن‌ها در رخداد این پدیده رسید. با درنظر گرفتن ضرایب b حاصل در سه دوره زمانی برای هر متغیر مستقل می‌توان میزان تأثیر متغیر موردنظر و سهم آن در تبیین متغیر وابسته را مشخص نمود. ترتیب اهمیت متغیرهای توپوگرافی در تبیین کاهش پوشش جنگل از مهم‌ترین تا کم‌اهمیت‌ترین آن‌ها بدین گونه است: ۱- انحناء مسطح ۲- شاخص موقعیت توپوگرافی ۳- ارتفاع از سطح دریا ۴- انحناء نیمرخ ۵- شیب ۶- شمالی بودن ۷- شرقی بودن ۸- شاخص رطوبت توپوگرافی. اولین نکته مهم بنا به پیشینه موضوعی همانا ترتیب اهمیت متغیرهای سه‌گانه توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت شیب) در تبیین تغییرات زمانی پوشش جنگل است. هرچند که در بسیاری از تحقیقات در باب این موضوع، جای خالی پارامترهای انحناء و سایر مشتقات ثانویه توپوگرافی خالی بوده و در مدل‌های رگرسیونی دخالت داده نشده‌اند. ورود این متغیرها به آزمون‌های رگرسیون لجستیک نشان داد که اهمیتی کمتر از این سه متغیر نداشته و حتی متغیر انحناء مسطح به‌عنوان مؤثرترین متغیر مستقل در تبیین متغیر وابسته شناخته شد. گذشته از این‌ها، متغیرهای جهت شیب و شاخص رطوبت توپوگرافی در زمره ضعیف‌ترین متغیرهای مستقل در تبیین رخداد جنگل‌زدایی محسوب می‌شوند. دراین‌بین ضریب تأثیر متغیر شاخص رطوبت توپوگرافی به‌قدری ناچیز است که می‌توان آن را از مدل‌های رگرسیونی حاصل حذف نمود.

ج- مقایسه کارایی مدل‌های پیش‌بین رخداد جنگل‌زدایی در سه دوره زمانی

تغییرات چگونگی برازش و کارایی مدل‌های رگرسیونی حاصل بر اساس آماره‌های شبه ضریب تعیین ($Pseudo\ R^2$) و مشخصه عملکرد نسبی (ROC) در جدول (۴) آورده شد. مقادیر $Pseudo\ R^2$ حکایت از برازش نسبتاً خوب مدل رگرسیونی دارد. از طرفی مقادیر ROC نشان می‌دهد هرچند

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

مدل‌های پیش‌بین از کارایی بالایی برخوردار نیستند، اما در سطح قابل قبولی قرار دارند. درهرحال در استفاده از مدل حاصل در دوره سوم بایستی کمی احتیاط نمود. با توجه به آماره‌های حاصل به نظر می‌رسد که رفته‌رفته بر پیچیدگی روابط بین متغیرهای توپوگرافی و رخداد جنگل‌زدایی طی سه دوره زمانی افزوده‌شده است. این پیچیدگی پویا به‌نوعی به مکان‌گزینی فعالیت‌های انسانی در ارتباط با خصوصیات توپوگرافی منطقه برمی‌گردد. تغییرات در شرایط اجتماعی، سیاسی و اقتصادی در طول زمان باعث بروز اشکال متفاوتی از برهمکنش‌ها بین انسان و طبیعت می‌شود که حاصل آن در چهره زمین نمود پیدا می‌کند. به جرات می‌توان گفت که بهترین نمودار چهره زمین نیز همین پوشش گیاهی بوده و بنابراین تغییرات در برهمکنش‌ها طی دوره‌های زمانی مختلف را می‌توان از طریق تغییرات میزان و وسعت و آرایش مکانی پوشش گیاهی دنبال نمود.

جدول ۴- آماره‌های ارزیابی مدل‌های رگرسیون لجستیک جهت پیش‌بینی جنگل‌زدایی در حوضه‌های آبخیز ارسباران

دوره زمانی	Pseudo R^2	ROC
۱۹۸۴ -۱۹۹۶	۰/۱۷	۰/۷۶
۱۹۹۶ -۲۰۰۶	۰/۱۴	۰/۷۲
۲۰۰۶ -۲۰۱۷	۰/۱۱	۰/۶۴

اما مقادیر نسبتاً پایین سنجه‌های ارزیابی مدل‌های رگرسیونی حاصل ممکن است به دلیل پراکنش سطوح تخریب در منطقه و نیز عدم ارتباط کامل بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته باشد. وجود سطوح تخریب به‌صورت لکه‌های پراکنده و نقطه‌ای در حوضه‌های آبخیز موردمطالعه، تبیین موقعیت رخداد جنگل‌زدایی را کمی با مشکل مواجه می‌سازد. از طرف دیگر بایستی توجه داشت که در این پژوهش، تنها متغیرهای توپوگرافی در خصوص پهنه‌های جنگل‌زدایی موردبررسی قرار گرفت. بالطبع دخیل کردن متغیرهای هیدروکلیمایی، ژئومورفیک و زمین‌شناختی در مدل‌های رگرسیونی لجستیک می‌تواند بر کارایی و اعتبار مدل‌های پیش‌بین بیفزاید که البته نیازمند تحقیقات بعدی است.

نتیجه‌گیری

حمایت، حفاظت و استرداد عرصه‌های جنگلی نیازمند آگاهی از برهمکنش پیچیده و پویا بین عوامل محیطی و تغییرات زمانی- مکانی جنگل‌هاست. این پژوهش به دنبال آشکارسازی ارتباط بین خصوصیات توپوگرافی با رخداد جنگل‌زدایی طی سه دوره زمانی جداگانه (۱۹۹۶-۱۹۸۴، ۲۰۰۶-۱۹۹۶، ۲۰۱۷-۲۰۰۶) در حوضه‌های جنگلی ارسباران بود تا ضمن تشخیص دینامیک جنگل‌زدایی در

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

ارتباط با خصوصیات توپوگرافی و متأثر از تغییرات پویای اثرات آنتروپوژنیک، مهم‌ترین متغیرهای توپوگرافی مؤثر در کاهش گستره جنگل نیز معلوم گردد. نتایج اولیه تحقیق نشانگر افزایش میزان جنگل‌زدایی از دوره اول تا سوم در حوضه‌های ایلگینه و مردانقم بود. در مقابل، روند کاهشی وقوع جنگل‌زدایی در حوضه ناپشته آشکار بود. در کل، وضعیت نگران‌کننده کاهش عرصه‌های جنگلی در حوضه ایلگینه با توجه به این‌که نرخ کاهش جنگل در حوضه نامبرده طی هر سه دوره زمانی (به ترتیب برابر با ۱۱/۹، ۱۶/۳ و ۱۸/۲ کیلومترمربع) بیشتر از دو حوضه دیگر بوده است، مشخص می‌شود. در مقابل، در حوضه ناپشته با توجه به روندهای مثبت دو دهه اخیر و کاهش جنگل‌زدایی طی دوره‌های زمانی موردبررسی، وضعیت اکولوژیکی بهتری حاکم است. نتایج آزمون روابط رگرسیونی لجستیک نشان می‌دهد که چندوچون برهمکنش بین متغیرهای توپوگرافی و وقوع جنگل‌زدایی در دوره‌های مختلف، متفاوت از هم بوده است. به عبارتی، وقوع جنگل‌زدایی در بستر توپوگرافی دچار پیچیدگی و پویایی بوده است. این دینامیک ارتباط اشاره به تغییرپذیری اثرات آنتروپوژنیک بر وقوع جنگل‌زدایی دارد. این اثرات به‌گونه‌ای بوده است که احتمال تخریب جنگل‌های ارسباران به ارتفاعات بالا (مرز جنگل)، دره‌ها، نواحی پرشیب، جهات دامنه جنوبی و شرقی، سطوح محدب و پخشی و نزدیک منابع رطوبت، منوط بوده است؛ اما درجه‌بندی اهمیت متغیرهای توپوگرافی در تبیین کاهش گستره جنگل به‌گونه‌ای بود که انحناء سطح زمین را در کنار متغیرهای مهم ارتفاع و شیب، قرار داده و حتی این متغیر به لحاظ اثرگذاری بر رخداد جنگل‌زدایی مقدم بر آن‌ها می‌باشد.

نتایج آزمون روابط رگرسیونی لجستیک، نشانگر تغییرات کارایی و توان مدل‌های پیش‌بین طی دوره‌های مختلف زمانی بود. عدم کارایی بالای مدل‌های پیش‌بین می‌تواند به دلیل پراکنش سطوح تخریب در منطقه و نیز عدم ارتباط کامل بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته مربوط باشد. از طرفی به توجه به کاهش کارایی مدل‌های پیش‌بین طی دوره‌های زمانی موردمطالعه به نظر می‌رسد که در منطقه موردمطالعه، تغییرات در شرایط اجتماعی، سیاسی و اقتصادی در طول زمان باعث بروز اشکال متفاوتی از برهمکنش‌ها بین انسان و طبیعت شده که نمود آن در تغییرات توان و کارایی مدل‌های پیش‌بین نیز قابل‌مشاهده است. بنابراین معلوم می‌شود که نه‌تنها تغییرات گستره جنگل در طول زمان متغیر و پویاست، بلکه روابط متغیرهای محیطی با این تغییرات نیز ممکن است دچار تغییر و دگرگونی شود. برقراری روابط رگرسیونی طی دوره‌های مختلف زمانی این مزیت را دارد که می‌توان تا حدود زیادی بر این تغییرات اشراف داشته و به دینامیک روابط پی برد. بالطبع وجود قطعیت در روابط چندزمانه بهتر می‌تواند به درکمان از تحول آتی چشم‌انداز و نوع تغییرات قابل رخداد در آینده کمک نماید. گذشته از این، کاربست سری‌های زمانی از مدل‌های متوالی این نکته را معلوم می‌سازد که

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

همان‌قدر که هر متغیر بیشتر انتخاب شود، احتمال بالاتری وجود دارد که آن متغیر واقعاً دینامیک چشم‌انداز را کنترل نماید.

در پایان پیشنهاد می‌شود که در سایر مناطق جنگلی کشور، از پارامترهای گسترده و متفاوت توپوگرافی که امروزه تحت عنوان «تحلیل رقومی سطح زمین» کاربرد ویژه‌ای در پیش‌بینی وقایع و پدیده‌های زیست‌محیطی پیداکرده است، بهره گرفته شود. کاربست این پارامترها در مناطق اقلیمی مختلف کشور و مقایسه تحلیلی آن‌ها می‌تواند به روشن‌شدن ویژگی‌های توپوکلیمایی مؤثر بر پوشش جنگلی کمک نماید. به‌علاوه، توجه به موضوع دینامیک تغییرات گستره جنگل در ارتباط با دینامیک عوامل و پدیده‌های انسانی می‌تواند به تبیین بهتر مسائل مرتبط با جنگل‌زدایی کمک نماید. در خصوص حوضه‌های موردمطالعه، بهتر است توجه حفاظتی و حمایتی معطوف پهنه‌هایی شود که به لحاظ خصوصیات مختلف توپوگرافی بیشتر در معرض جنگل‌زدایی هستند.

منابع

آرخی، ص.، جعفرزاده، ع.ا.، یوسفی، ص. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی تخریب جنگل با استفاده از رگرسیون لجستیک، GIS و سنجش از دور (مورد: جنگل‌های شمال ایلام)، جغرافیا و توسعه، ۱۶: ۳۱-۴۲.

الهیان، م.ر. ۱۳۸۷. طبقه‌بندی اکوسیستم جنگلی ارسباران با روش بایوژئوکلیماتیک (BEC)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد واحد چالوس، ۱۲۰ص.

حسین‌زاده، م.م.، درفشی، خ.، میرباقری، ب. ۱۳۹۲. مدل‌سازی تغییرات گستره جنگل و بررسی عوامل مؤثر بر آن با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محیط GIS (بررسی موردی: حوضه‌های آبخیز واز و لاویج)، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۱(۱): ۸۶-۹۸.

حمزه‌ای، ب.، صفوی، س.ر.، عصری، ی.، جلیل، عادل. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل فلوریستیکی و توصیف مقدماتی پوشش گیاهی ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران، شمال غرب ایران، رستنیها، ۱۱(۱): ۱-۱۶.

قراچورلو، م. ۱۳۹۶. بررسی نقش پارامترهای ژئومورفولوژی در پراکنش پوشش گیاهی حوضه‌های آبخیز ارسباران (مطالعه موردی: ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم چای)، رساله دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۷۲ ص.

قربان‌نیا خیبری، و.، میرسنجری، م.م.، آرمین، م. ۱۳۹۶. پیش‌بینی تغییرات کاربری جنگل در حوزه آبخیز چالوس‌رود، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۸(۲): ۷۹-۹۱.

محمدزاده، ا.، بصیری، ر.، تراهی، ع.ا.، داداشیان، ر.، الهیان، م.ر. ۱۳۹۳. ارزیابی تنوع زیستی گونه‌های گیاهی منطقهٔ ارسباران با استفاده از شاخص‌های غیرپارامتریک در ارتباط با عامل توپوگرافی شیب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ایلگینه‌چای و کلیبرچای)، پژوهش‌های گیاهی، ۲۷(۴): ۷۲۸-۷۴۱.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

مسروری، ا.، شتایی، ش.، معیری، م.ه.، سوسنی، ج.، باقری، ر. ۱۳۹۴. مدل‌سازی تخریب گستره جنگل با استفاده از متغیرهای فیزیوگرافی و اقتصادی اجتماعی (مطالعه موردی: بخشی از حوضه جنگلی کاکارضای خرم‌آباد)، بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، ۳(۵): ۲۰-۳۰.

Agren, A.M., Lidberg, W., Stromgren, M., Oglive, J., Arp, P.A. 2014. Evaluating digital terrain indices for soil wetness mapping – a Swedish case study. Hydrology and Earth System Sciences, 11: 4103-4129.

Alvarenga, L. A., De Mello, C. R., Colombo, A., Cuartas, L. A., Bowling, L. C. 2016. Assessment of land cover change on the hydrology of a Brazilian headwater watershed using the Distributed Hydrology-Soil-Vegetation Model. Catena, 143: 7-17.

Bax, V., Francesconi, W., Quintero, M. 2016. Spatial modeling of deforestation processes in the Central Peruvian Amazon. Journal for Nature Conservation, 29: 79-88.

Bonilla-Bedoya, S., Estrella-Bastidas, A., Molina, J. R., Herrera, M. Á. 2017. Socio-ecological system and potential deforestation in Western Amazon forest landscapes. Science of the total environment, 644: 1044-1055.

Detto, M., Muller-Landau, H. C., Mascaro, J., Asner, G. P. 2013. Hydrological networks and associated topographic variation as templates for the spatial organization of tropical forest vegetation. PLoS One, 8(10), e76296.

Dias, L. C. P., Macedo, M. N., Costa, M. H., Coe, M. T., Neill, C. 2015. Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River Basin, Central Brazil. Journal of Hydrology: Regional Studies, 4: 108-122.

Fox, D. M., Witz, E., Blanc, V., Soulié, C., Penalver-Navarro, M., Dervieux, A. 2012. A case study of land cover change (1950–2003) and runoff in a Mediterranean catchment. Applied Geography, 32(2): 810-821.

Jenness, J. 2012. Dem Surface Tools. Jenness Enterprises, Available at: http://www.jennessnet.com/arcgis/surface_area.htm.

Kumar, R., Nandy, S., Agarwal, R., Kushwaha, S.P.S. 2014. Forest cover dynamics analysis and prediction modeling using logistic regression model. Ecological Indicators, 45: 444-455.

Ma, J., Lin, G., Chen, J., Yang, L. 2010. An improved topographic wetness index considering topographic position. 18th International Conference on Geoinformatics, 18-20 June 2010, Beijing, pp. 1-4. DOI: 10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567607.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]

Reddy C.S., Saranya, K.R.L. 2017. Earth observation data for assessment of nationwide land cover and long-term deforestation in Afghanistan. Global and Planetary Change, 155:155-164.

Rodriguez-moreno, V.M., Bullock, S.H. 2014. Vegetation response to hydrologic and geomorphic factors in an arid region of the Baja California Peninsula. Environ Monit Assess, 186: 1009–1021.

Salazar, A., Baldi, G., Hirota, M., Syktus, J., McAlpine, C. 2015. Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review. Global and Planetary Change, 128: 103-119.

Sarma, K., Barik, S.K. 2010. Geomorphological risk and conservation imperatives in nokrek biosphere reserve, meghalaya using geoinformatics. NeBIO, 1(2): 14-24.

Tovar, C., Seijmonsbergen, A. C., Duivenvoorden, J. F. 2013. Monitoring land use and land cover change in mountain regions: An example in the Jalca grasslands of the Peruvian Andes. Landscape and Urban Planning, 112: 40-49.

Wei, X., Sun, G., Liu, S., Jiang, H., Zhou, G., Dai, L. 2008. The forest-streamflow relationship in China: a 40-year retrospect 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 44(5): 1076-1085

Wilson, J.P., Gallant, J.C. 2000. Terrain Analysis: Principles and Applications. New York, John Wiley and Sons. 479p.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-04]