



دانشگاه گنبد کاووس

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<sup>۱\*</sup>، مرتضی قراچورلو<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استاد گروه جغرافیای، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

<sup>۲</sup>آدکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۸

### 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) با قدرت 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 نهمزارها اختصاص دارد.

\*نویسنده مسئول: [a\\_madadi@uma.ac.ir](mailto:a_madadi@uma.ac.ir)

## 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 آشفستگی‌های 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 آشفستگی‌های طبیعی شامل زمین‌لغزه‌ها، سیلاب‌ها و برچینی درختان توسط باد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی، کاربری زمین و آشفستگی 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 قرار دادند. 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

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 لایوچ 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 رخ داده 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 واقع شده 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. از آنجایی که خصوصیات توپوگرافی عمدتاً در مقیاس زمانی چندین دهه، ایستا هستند،

بنابراین وجود پویایی در این ارتباط می‌تواند استنباطی از پویایی عوامل انسانی ارائه نماید که رویکردی جامع می‌تواند باشد. این پژوهش در این راستا و با توجه به ضرورت انجام چنین مطالعه‌ای در جنگل‌های ارسباران واقع در شمال غرب ایران انجام گرفت. اکوسیستم‌های کوهستانی و جنگلی منطقه ارسباران در بردارنده 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 به-ویژه دینامیک ارتباط متغیرهای مستقل با متغیر وابسته می‌تواند به‌عنوان نوآوری پژوهش باشد که انگیزه اصلی انجام پژوهش حاضر بود.

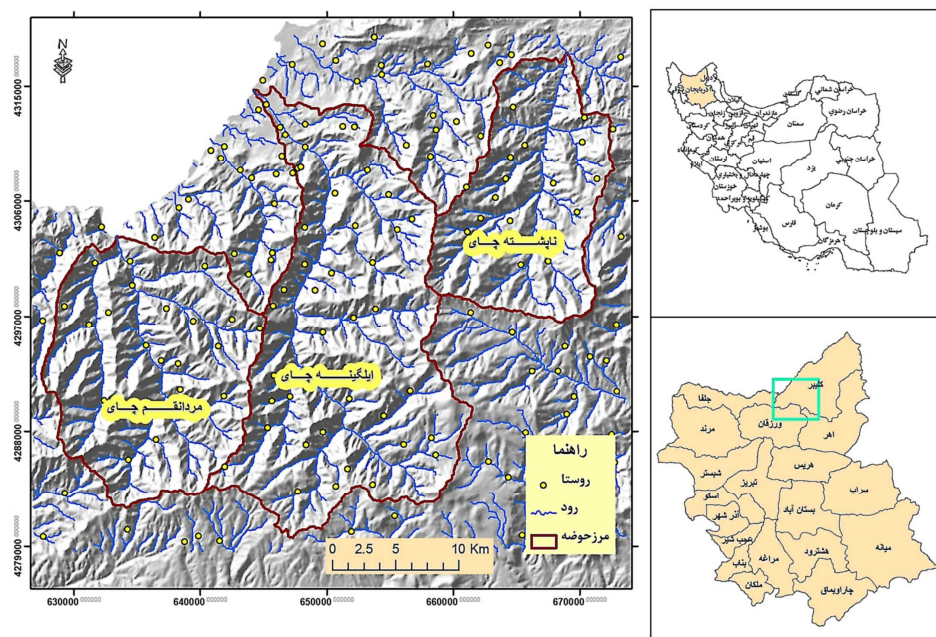
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه‌های آبخیز ارسباران شامل سه حوضه ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای، در شمال غرب کشور و منطقه ویژه اکولوژیکی واقع شده‌اند (شکل ۱). مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌ها در جدول یک آورده شده است. حوضه‌های مورد مطالعه در محدوده پنج شهرستان استان آذربایجان شرقی به نام‌های کلیبر، خدافرین، ورزقان، اهر و جلفا قرار گرفته‌اند. حوضه‌های جنگلی مذکور جزو حوضه آبریز بزرگ ارس محسوب شده و جریان‌های سطحی آن‌ها در نهایت وارد رود مرزی ارس می‌شود. با قرار گرفتن 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 سنگریزه‌های دامنه‌ای، دره‌های عمیق و تنگ و شبکه زهکشی نسبتاً پویا آشکار است، حکایت از مورفودینامیک فعال حوضه‌ها دارد (قراچورلو، ۱۳۹۶).

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌های آبخیز ارسباران

نام حوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	شیب (درجه)		ارتفاع (متر)		کیلومتر مربع (کیلومتر بر تراکم زهکشی)
			حداکثر	متوسط	حداکثر	متوسط	
نابشته چای	۲۰۰	۶۶/۹	۶۹	۲۰	۲۷۲۵	۱۵۸۰	۲/۲۱
ایلگینه چای	۴۰۸	۱۱۵/۶	۷۴/۲	۲۲/۵	۲۹۲۹	۱۷۸۸	۲/۱۲
مردانقم چای	۲۷۳	۶۹/۶	۷۸/۲۴	۲۶/۴۹	۲۷۲۶	۱۵۳۶	۲/۱۱

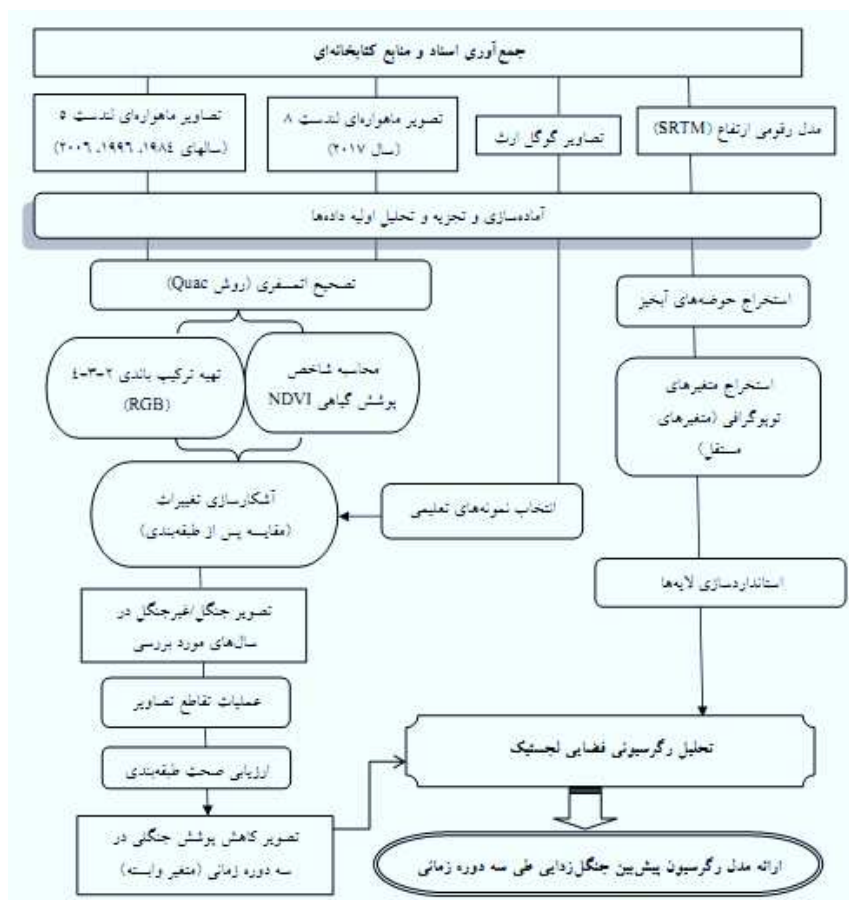


شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه‌های آبخیز ارسباران

### داده‌های گردآوری شده 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

(DEM) و ابزارهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل فضایی شامل ENVI، IDRISI و GIS استفاده شد. روند انجام تحقیق در شکل (۲) نمایش داده شده است. فرایند تحقیق شامل دو مرحله: الف- آشکارسازی تغییرات پوشش جنگلی و ب- مدل‌سازی کاهش پوشش جنگلی (جنگل‌زدایی) بود.



شکل ۲- نمودار مراحل انجام تحقیق

### آشکارسازی تغییرات پوشش جنگلی

از آنجایی که این پژوهش در پی مدل‌سازی چنددوره‌ای کاهش پوشش جنگلی بود، از چهار تصویر ماهواره‌ای لندست مربوط به گذر ۱۶۸ و ردیف ۳۳ طی سه دوره زمانی جهت کشف تغییرات استفاده شد. قبل از هر چیز در انتخاب تصاویر ماهواره‌ای مناسب سعی شد تا تصاویر مزبور عاری از محدودیت‌های پوشش ابری، فنولوژیکی و خطوط جاافتاده باشد. بنابراین تصاویر مربوط به سال‌های

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. در این بین، به‌غیر از تصویر سال ۲۰۰۶ که در ماه ژوئن (خردادماه) اخذ شده بود، سایر تصاویر مربوط به ماه ژوئیه (تیرماه) بود. با توجه به این که 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 بادر نظر 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<sup>۲</sup> 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<sup>۳</sup> 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 غیر جنگل) 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<sup>۴</sup> نسبت به کشف تغییرات منفی رخ داده 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 دو‌حالتی است، یعنی این که 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

<sup>۲</sup> Quick atmospheric correction

<sup>۳</sup> Maximum likelihood classification

<sup>۴</sup> Crosstab

لجستیک از روش برآورد حداکثر احتمال (MLE) برای پیدا کردن بهترین مجموعه پارامترهایی که مدل را بهتر برازش می‌کنند، استفاده می‌کند. در نهایت مدل حاصل با استفاده از درصدی از نقاط برگرفته از نقشه اولیه تخریب به روش‌های نمونه‌برداری سیستماتیک یا تصادفی طبقه‌بندی شده به صورت 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.

$$X_{normalized} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad \text{رابطه ۱}$$

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

جدول ۲- پارامترهای توپوگرافی دخیل در پیش‌بینی جنگل‌زدایی

شماره	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، در حالی که مناطق مسطح از مقادیری نزدیک به صفر برخوردارند.	Agren et al. (2014)
۳	شیب	S	آهنگ تغییر ارتفاع در جهت پرشیب‌ترین سرازیری این شاخص بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود: $TWI = \ln(A_s / \tan(\beta))$	Wilson and Gallant (2000)
۴	شاخص رطوبت توپوگرافی	TWI	که در آن $A_s$ عبارت از مساحت تجمعی بالادست دامنه است (مساحت ویژه حوضه) و $\beta$ 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)

## نتایج و بحث

### الف- آشکارسازی تغییرات (منفی) گستره جنگل

با توجه به این که 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

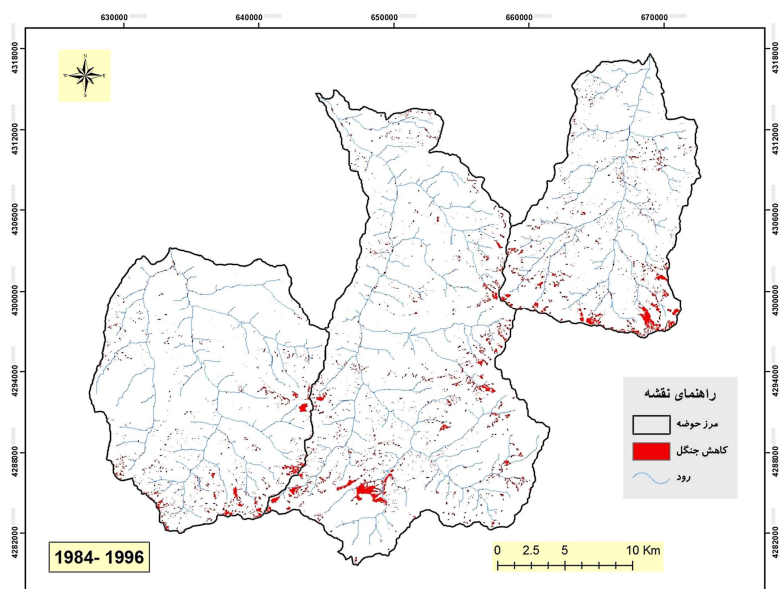
نقشه‌های کاهش گستره جنگل طی سه دوره متوالی از طریق تقاطع نقشه‌های متوالی طبقه‌بندی شده در دو کلاس جنگل و غیرجنگل (مجموعاً ۴ نقشه) حاصل شد. این نقشه‌ها طبق شکل ۳، موقعیت و پراکنش فضایی کاهش گستره جنگل (رخداد جنگل‌زدایی) را در حوضه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

دوره اول. در دوره اول (۱۹۸۴-۱۹۹۶)، جنگل‌زدایی عمدتاً در بالادست حوضه‌ها و سرشاخه‌ها (بالادست دامنه) رخ داده 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.

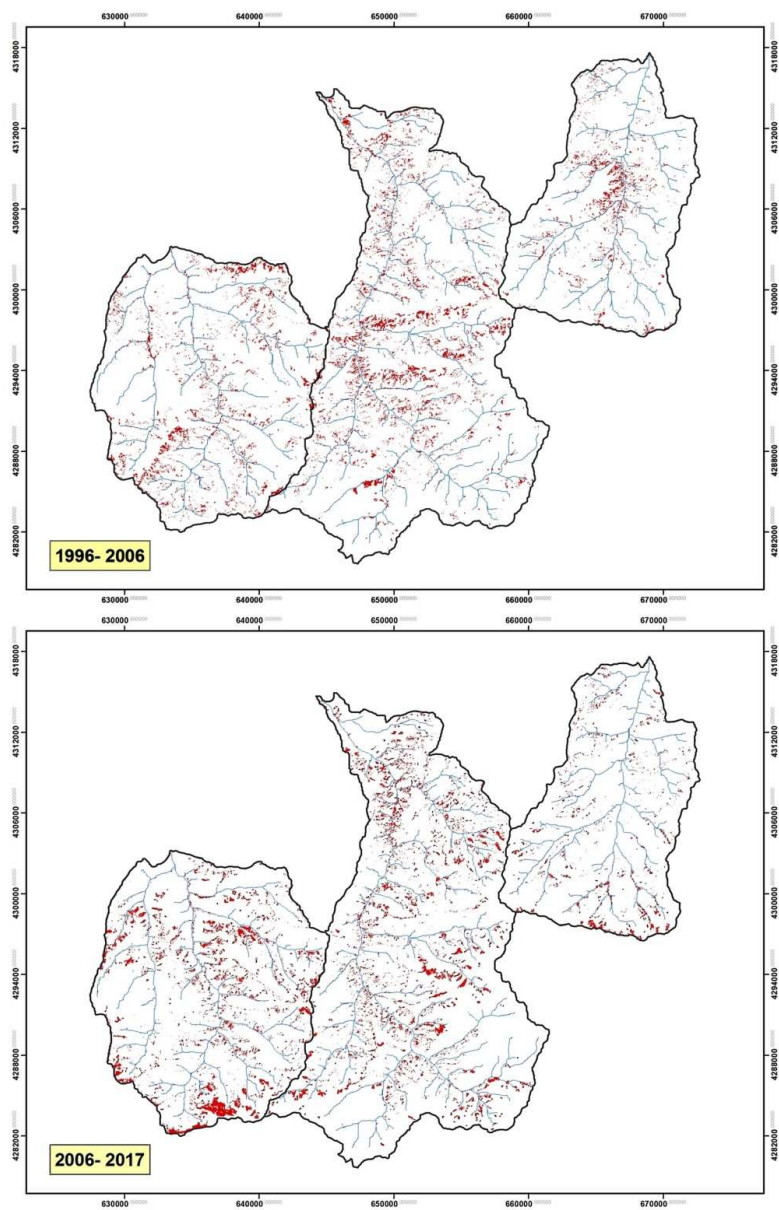
دوره دوم. روند فضایی جنگل‌زدایی در دوره دوم (۱۹۹۶-۲۰۰۶) شکل کاملاً متفاوتی به خود گرفته و به سمت مرکز حوضه‌ها پیش رفته است. تمرکز تخریب جنگل در قسمت‌های میانی دو حوضه ایلگینه‌چای و ناپشته‌چای نسبت به حوضه مردانقم‌چای مشهودتر است. در حوضه آبخیز مردانقم‌چای پهنه‌های بزرگ جنگل‌زدایی در موقعیت‌های مختلف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

دوره قبلی فعالیت‌های کشاورزی در پایین‌دست حوضه که از شرایط طبیعی مساعدتری برای کشت و زرع برخوردارند، افزایش یافته است.

دوره سوم. در دوره سوم زمانی (۲۰۱۷-۲۰۰۶) که نشانگر تغییرات جدید جنگل‌زدایی در منطقه مورد مطالعه است، بار دیگر شاهد وقوع جنگل‌زدایی در بالادست حوضه‌ها هستیم. به‌علاوه، قسمت‌های پایین‌دست حوضه‌های ایلگینه و مردانقم با افزایش قابل توجه جنگل‌زدایی نسبت به دوره قبلی مشخص می‌باشد.



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

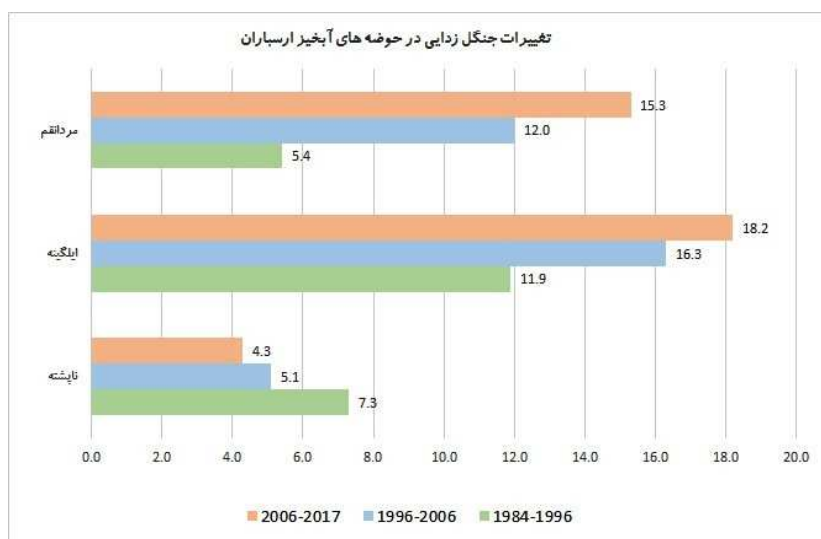


ادامه شکل ۳

موضوع بسیار نگران کننده همانا افزایش مساحت لکه‌های جنگل‌زدایی به‌ویژه در دو حوضه ایلگینه و مردانقم است. نکته مهم دیگر که به لحاظ تغییرات بیوکلیمایی نیز حائز اهمیت است، مربوط به

تمرکز جنگل‌زدایی در شرق حوضه‌های ایلگینه و مردانقم می‌باشد. به لحاظ جهت جغرافیایی، نیمه شرقی حوضه‌های مورد مطالعه با حاکمیت دامنه‌های غربی نسبت به دامنه‌های شرقی مشخص می‌باشد. برعکس، حاکمیت دامنه‌های رو به شرق در نیمه غربی حوضه‌های مذکور بارز می‌باشد. بنابراین وقوع جنگل‌زدایی بیشتر در نیمه شرقی این حوضه‌ها که از شرایط بیوکلیمایی نامساعدتر نسبت به نیمه غربی برخوردارند، می‌تواند هشدار جدی هم در باب تغییرات اقلیمی و هم در باب تغییرات کاربری زمین و اثرات منفی آن‌تروپوژنیک باشد.

اما نمودار تغییرات میزان جنگل‌زدایی در حوضه‌های مورد مطالعه طی سه دوره زمانی (شکل ۵) نشان می‌دهد که افزایش جنگل‌زدایی از دوره اول تا سوم در حوضه‌های ایلگینه و مردانقم مشهود 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 کیلومتر مربع به حوضه ایلگینه تعلق دارد که در دوره اخیر رخ داده است. در مقابل، کمینه جنگل‌زدایی برابر با ۴/۳ کیلومتر مربع به حوضه ناپشته اختصاص دارد که در دوره سوم رخ داده است. نکته برجسته در خصوص روند جنگل‌زدایی در منطقه مورد مطالعه این است که نرخ کاهش جنگل در حوضه ایلگینه طی هر سه دوره زمانی بیشتر از دو حوضه دیگر بوده است.



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

### ب- تحلیل کم و کیف روابط متغیرهای توپوگرافی با رخداد جنگل زدایی

کمی سازی رخداد جنگل زدایی در ارتباط با خصوصیات توپوگرافی از طریق مدل های رگرسیونی حاصل امکان پذیر می باشد. این فرمول های رگرسیونی طی سه دوره زمانی به ترتیب زیر حاصل شد.

الف- دوره زمانی ۱۹۹۶-۱۹۸۴

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

ب- دوره زمانی ۲۰۰۶-۱۹۹۶

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

ج- دوره زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۶

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

ضرایب **b** متغیرهای توپوگرافی که نشانگر میزان و نوع تأثیرگذاری آن هاست، در دوره های مختلف متفاوت از هم بوده است. این تفاوت اشاره به دینامیک ارتباط و پیچیدگی برهمکنش ها دارد. در وهله نخست چگونگی این ارتباط (مستقیم یا معکوس) مورد بررسی قرار گرفت. البته بایستی متذکر شد که هر چند برخی متغیرها به لحاظ رابطه مثبت یا منفی با کاهش گستره جنگل در سه دوره زمانی باهم متفاوت بودند، اما در نهایت تبیین چگونگی تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته با در نظر گرفتن اشتراک دو دوره زمانی در نوع همبستگی (مثبت یا منفی) مدنظر قرار گرفت.

اولین و مهم ترین متغیر توپوگرافی مؤثر بر پراکنش مکانی- زمانی پوشش گیاهی، عبارت از عامل ارتفاع از سطح دریا (H) است. این متغیر در دوره های زمانی اول و سوم از رابطه مستقیمی با وقوع جنگل زدایی برخوردار بوده است. در دوره دوم این رابطه به صورت معکوس تغییر نموده است. رابطه مستقیم ارتفاع از سطح دریا با کاهش پوشش جنگلی نشان می دهد که هر چه به ارتفاعات بالاتر می رویم، احتمال تخریب جنگل بیشتر می شود. هر چند که عدم دسترسی آسان و شرایط نامساعد توپوکلیمایی جهت فعالیتهای انسانی در ارتفاعات بالا می تواند باعث حفظ بیشتر پوشش جنگلی شود که در دوره دوم (سال های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۶) مشاهده می شود، باین حال چند نکته را بایستی در نظر گرفت. خاک های ارتفاعات بالا به دلیل نارس بودن و مواد آلی کمتر از قابلیت کمتری به لحاظ تثبیت و تقویت پوشش گیاهی برخوردارند. در عین حال شکنندگی جنگل های این نواحی در برابر مداخلات بی رویه و غیراصولی انسانی از قبیل کشت و زرع، چرا، احداث جاده و غیره بیشتر بوده و تغییرات اقلیمی نیز در ارتفاعات بالا محسوس تر است. توار و همکاران (Tovar et al., 2013) به پیش روی عرصه های کشاورزی به سمت نقاط مرتفع و جایگزینی جنگل های واقع در این نقاط با زمین های

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 قرار گرفته‌اند". 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. در حال، با اینکه 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 سستی‌ها 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 رخ داده 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 از آنجایی 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 در شیب‌های 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

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. به‌رحال این نتیجه با نتایج بیشتر محققین (Kumar et al., 2014; Bonilla-Bedoya et al., 2014; 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 شرقی بودن (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 واقع شده 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 (PI-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 (PI-C) با وقوع جنگل‌زدایی، بار دیگر نشانگر کاهش پوشش جنگلی در سطوح محدب منتهی در جهت موافق دامنه یا

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 به صورت معکوس بوده است. این رابطه مستقیم نشان می‌دهد که کاهش پوشش جنگلی در مناطق مرطوب و سایه گیر خصوصاً پیرامون آبراهه‌ها و پایین‌دست دامنه‌ها رخ داده 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 نایبستی از وقوع حرکات دامنه‌ای در ارتباط با نهم‌زارها 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 در نظر گرفتن ضرایب  $b$  حاصل در سه دوره زمانی برای هر متغیر مستقل می‌توان میزان تأثیر متغیر مورد نظر 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. در این بین ضریب تأثیر متغیر شاخص رطوبت توپوگرافی به قدری 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

مدل‌های پیش‌بین از کارایی بالایی برخوردار نیستند، اما در سطح قابل قبولی قرار دارند. در حال 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 افزوده شده 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 وسعت و آرایش مکانی پوشش گیاهی دنبال نمود.

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

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

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 مورد مطالعه، 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 مورد بررسی 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 (۱۹۸۴-۱۹۹۶، ۱۹۹۶-۲۰۰۶، ۲۰۰۶-۲۰۱۷) در حوضه‌های جنگلی ارسباران بود تا ضمن تشخیص دینامیک جنگل‌زدایی در

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 کاهش 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 انحاء 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 مورد مطالعه به نظر می‌رسد که در منطقه مورد مطالعه، 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 قابل مشاهده است. بنابراین معلوم می‌شود که نه تنها 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

همان قدر 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 پیدا کرده است، بهره گرفته شود. کاربست این پارامترها در مناطق اقلیمی مختلف کشور و مقایسه تحلیلی آن‌ها می‌تواند به روشن شدن 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 مورد مطالعه، 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، ۱۲۰ ص.
- 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 لایوچ)، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۱(۱): ۸۶-۹۸.
- حمزه‌ای، ب.، صفوی، س.ر.، عصری، ی.، جلیل، عادل. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل فلوربستیکی 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 مردانقم‌چای)، 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 منطقه 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.

مسروری، ا.، شتابی، 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., Mascaró, 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](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.

- 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.