

تحلیل رگرسیونی روابط بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی با تأکید بر مقیاس فضایی (مطالعه موردی، حوضه‌های آبخیز ارسباران: ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای)

مرتضی قراچورلو - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی.
فریبا اسفندیاری* - دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه محقق اردبیلی.
علی دلال‌اوغلی - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۱۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۵/۲۸

چکیده

این پژوهش با هدف آگاهی از کم و کیف روابط فضایی بین پارامترهای ژئومورفولوژی و فراوانی پوشش گیاهی در حوضه‌های آبخیز ارسباران (سه حوضه ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای) انجام گرفت. در این راستا با توجه به اهمیت زیاد مقیاس در مطالعات فیتوژئومورفولوژی، پی‌گیری این روابط در دو مقیاس حوضه و زیرحوضه‌ها مورد تأکید قرار گرفت. داده‌های مورد استفاده شامل تصویر ماهواره‌ای لندست و مدل رقمی ارتفاع SRTM بود که به ترتیب شاخص گیاهی NDVI به عنوان متغیر وابسته و ۲۸ پارامتر ژئومورفومتری به عنوان متغیرهای مستقل از آن‌ها استخراج گردید. پس از نرمال‌سازی لایه‌های رستری متغیرها در دامنه صفر تا یک، آزمون روابط رگرسیونی چندمتغیره فضایی به روش گام به گام بین متغیرهای ژئومورفیک و فراوانی پوشش گیاهی در محیط نرم‌افزاری SAGA انجام شد. نتایج گام‌های رگرسیونی نشان داد که ۸ پارامتر عمق دره، شاخص موقعیت توپوگرافی، ارتفاع، شیب، موقعیت دامنه، شاخص جهت شیب، تحدب سطح زمین و انحناء عمومی، مهم‌ترین متغیرها در تبیین تغییرات فضایی پوشش گیاهی می‌باشند. نتایج نهایی تحلیلی‌های رگرسیونی حاکی از وجود بهترین مدل رگرسیونی در حوضه آبخیز مردانقم‌چای با ضریب تعیین ۰/۳۲ و ضعیف‌ترین مدل رگرسیونی در حوضه آبخیز ناپشته‌چای با ضریب تعیین ۰/۱۱ بود. حوضه ایلگینه‌چای با داشتن شرایط بینابین از مدل رگرسیونی با ضریب تعیین ۰/۲۱ برخوردار بود. اما در مقیاس زیرحوضه نتایج حاصل دلالت بر وجود تفاوت قابل توجه بین زیرحوضه‌ها و بین زیرحوضه‌ها و حوضه‌ها به لحاظ شدت و ضعف روابط فضایی داشت. بیشینه ضرایب تعیین برابر با ۰/۴۲، ۰/۵۱ و ۰/۶۲ و کمینه آن‌ها برابر با ۰/۰۸، ۰/۱۵ و ۰/۱۳ به ترتیب در زیرحوضه‌های شاخص ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم-چای گویای این تفاوت‌ها بود. این تفاوت و تمایز علاوه بر این که به بهبود فهم روابط فضایی ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی در مقیاس زیرحوضه نسبت به مقیاس حوضه اشاره داشت، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها را به لحاظ حساسیت فیتوژئومورفیک میسر ساخت.

واژگان کلیدی: رگرسیون فضایی، پارامتر ژئومورفیک، پوشش گیاهی، مقیاس، ارسباران.

مقدمه

پوشش گیاهی هر رویشگاه به مثابه آینه تمام‌نمای ویژگی‌های اکولوژیک و نیروی رویشی آن محسوب می‌شود (اسماعیل-زاده و حسینی، ۱۳۸۶: ۲۱). از طرفی پوشش گیاهی مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر پایداری و تعادل اکوسیستم‌های طبیعی است (گویلی کیلانه و وهابی، ۱۳۹۱: ۲۴۵). اهمیت این عنصر در اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی واقع در حوضه‌های آبخیز کوهستانی که از شکنندگی و حساسیت خاصی برخوردارند، بیشتر آشکار می‌گردد. پوشش گیاهی این مناطق که عاملی موثر در جلوگیری و تعدیل پدیده‌های مخاطره‌باری چون فرسایش، سیل و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی است، نقش مهمی در توسعه پایدار سرزمینی دارد. کشور ما به دلیل قرار گرفتن روی کمربند خشک جهان، در زمینه پوشش جنگلی فقیر بوده و از این رو حفظ و حراست از پوشش گیاهی و جنگلی برای حفاظت از خاک و کاهش خطرات زیست‌محیطی وظیفه ملی است که همه بخش‌های جامعه باید به آن توجه کنند (ولایتی و کدیور، ۱۳۸۵: ۶۷). حفاظت از این منابع ارزشمند مستلزم رویکرد نظام‌مند و آگاهی از برهمکنش میان پوشش گیاهی و سایر عناصر محیطی است که زمینه مناسبی را برای رشد و توسعه آن فراهم می‌سازند. این موضوع در واحد اساسی حوضه آبخیز با توجه به ماهیت نظام‌وار و درهم‌بافته آن کاملاً روشن بوده و هر گونه برخورد و نگرش غیرسیستمی در این زمینه را غیرمعقول و نارسا می‌نماید. از آن جایی که سیستم‌های ژئومورفیک و اکولوژیک در چشم‌اندازهای کوهستانی پیوند نزدیکی با یکدیگر می‌یابند (باند^۱ و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۵۹) و متغیرهای ژئومورفولوژی بسیاری از متغیرهای محیطی دیگر و حتی کاربری زمین را در نواحی کوهستانی تحت کنترل خود دارند، آگاهی از روابط پیچیده و درهم‌بافته اشکال و فرایندهای ژئومورفیک با پوشش گیاهی (فیتوژئومورفولوژی) می‌تواند ما را در زمینه مدیریت بهتر و استرداد حوضه‌های آبخیز کوهستانی یاری رساند. این آگاهی نیازمند تحلیل روابط فضایی و مدل‌سازی مکانی صحیح و علمی است. با ارتقاء قدرت تفکیک، قابلیت اطمینان و دسترس-پذیری مدل‌های رقومی ارتفاع (DEM)، تکنیک‌های «تحلیل سطح زمین»^۲ در جهت بهبود کارایی برآورد و مدل‌سازی الگوی گیاهی عمومیت یافته است (وانگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۲: ۶۲۶). از طرفی مطالعه گسترده وضعیت پوشش گیاهی با استفاده از دورسنجی (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۵: ۸۴؛ سلیمانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۷۲؛ امیدوار و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۱۳) از طریق دسترسی آسان، ارزان و سریع به سری داده‌های ماهواره‌ای چون لندست و اعمال شاخص‌های گیاهی متمایزکننده پوشش گیاهی از سایر پدیده‌ها میسر گردیده است. در بین شاخص‌های گیاهی، شاخص تفاضلی نرمال گیاهی^۴ (NDVI) رایج‌ترین شاخص گیاهی است (پورودرج^۵، ۱۹۹۸: ۳۵۲۵؛ کر^۶ و استرووسکی^۷، ۲۰۰۳: ۳۰۲؛ جعفری^۸، ۲۰۰۷: ۶؛ ولیزاده کامران و مرادزاده، ۱۳۸۳: ۱۲۲. حسینی و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۳۶) که با وجود سایر شاخص‌های گیاهی، هنوز هم در حال کسب توجه و اطمینان روزافزون در ارزیابی الگوی گیاهی است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۲: ۶۲۶). اما یکی از موضوعات مهم بحث‌برانگیز در روابط ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی مقیاس فضایی است که به عنوان چالش مهم و بزرگ در بیشتر

^۱ Band^۲ Terrain Analysis^۳ Wang^۴ Normalized Difference Vegetation Index^۵ Purevdorj^۶ Kerr^۷ Ostrovsky^۸ Jafari

مطالعات فیتوژئومورفولوژی مطرح بوده است (برای نمونه: هوئرش^۱ و همکاران، ۲۰۰۲؛ رسلر^۲، ۲۰۰۶؛ دنگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۷؛ ووگان^۴ و همکاران، ۲۰۰۹). این زمینه بیشتر محققین رویکرد چندمقیاسه را راه حل مفیدی در پرده برداری و کاستن از پیچیدگی روابط بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی دانسته و از آن سود جستند. بایستی افزود که در مطالعات حوضه‌ای انتخاب مقیاس فضایی مناسب از دو جنبه قابل بررسی است. یکی به لحاظ دورسنجی و از طریق انتخاب قدرت تفکیک تصاویر رقومی و دیگر از لحاظ زمینی و تقسیمات حوضه‌ای و زیرحوضه‌ای.

با توجه به گسترش روزافزون مطالعات بین‌رشته‌ای در علوم زمین و علوم زیست‌محیطی، تحقیقات ارزنده‌ای در خصوص روابط مکانی خصوصیات ژئومورفیک با پوشش گیاهی انجام گرفته است. هوئرش و همکاران (۲۰۰۲) جهت تهیه نقشه تیپ‌های گیاهی مناطق آلی والیس^۵ واقع در کشور سوئیس از پارامترهای متعدد ژئومورفیک بهره جستند. دنگ و همکاران (۲۰۰۷) طی پژوهشی، پیوندی چندمقیاسه مابین خصوصیات توپوگرافی و شاخص‌های پوشش گیاهی در چشم‌اندازهای کوهستانی سانتامونیکای کالیفرنیا برقرار ساختند. نتایج حاکی از همبستگی خوب شاخص گیاهی NDVI با متغیرهای ارتفاع، شیب و جهت جنوب بود. به علاوه ضرایب همبستگی با درشت شدن مقیاس و کاهش قدرت تفکیک فضایی داده‌ها، گرایش به تغییر (نوعاً به صورت مثبت) داشت. اسپاداوچیا^۶ و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر توپوگرافی روی شاخص گیاهی سطح برگ^۷ (LAI) در اکوسیستم توندرای شمال سوئد پی بردند که در مقیاس ماکرو (قدرت تفکیک ۱۰ متر) نسبت به مقیاس میکرو (قدرت تفکیک ۰/۲ متر)، شاخص سطح برگ همبستگی بهتری با پارامترهای توپوگرافی داشت. همچنین مقادیر بالای LAI با محل‌های پناهگاهی، ارتفاعات پایین یا مناطق پرشیب مطابقت داشت. وانگ و همکاران (۲۰۱۲) اثر عوامل توپوگرافی را بر تغییرات فضایی شاخص گیاهی NDVI در جزیره جیائودونگ^۸ واقع در شرق چین مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که ۳۸/۳ درصد واریانس NDVI توسط متغیرهای ژئومورفومتری قابل تبیین است. کپاد^۹ و تیخیل^{۱۰} (۲۰۱۳) در بررسی رابطه متغیرهای ارتفاع، شیب و جهت دامنه با شاخص گیاهی NDVI در ناحیه اوتارکانادا^{۱۱} هندوستان به این نتیجه رسیدند که مقادیر NDVI با افزایش ارتفاع تا ۶۲۵ متری افزایش یافته ولی از آن به بعد تا ۸۷۵ متری که بیشترین میزان ارتفاع منطقه بود، کاهش نشان داد. به علاوه متراکم‌ترین پوشش گیاهی در دامنه‌های جنوب شرقی مشاهده شد. مکرم^{۱۲} و ساتیامورتی^{۱۳} (۲۰۱۶) جهت مدل‌سازی روابط میان لندفرم‌ها و پوشش گیاهی در جنوب غرب استان فارس

^۱ Hoersch

^۲ Ressler

^۳ Deng

^۴ Vaughan

^۵ Wallis

^۶ Spadavecchia

^۷ Leaf Area Index

^۸ Jiaodong

^۹ Koppad

^{۱۰} Tikhile

^{۱۱} Uttara Kannada

^{۱۲} Mokarram

^{۱۳} Sathyamoorthy

به تحلیل روابط میان شاخص موقعیت توپوگرافی^۱ (TPI) و شاخص گیاهی NDVI پرداخته و به این نتیجه رسیدند که در کل همبستگی مثبت و معنی‌داری بین NDVI و لندفرم‌ها ($r = 0/64$) وجود داشت. احمدی و همکاران (۱۳۸۱) در بررسی ارتباط پراکنش جوامع گیاهی با واحدهای ژئومورفولوژی در منطقه چنار راهدار استان فارس دریافتند که انبوهی پوشش گیاهی تابع شیب و جهت می‌باشد. زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۸۶) طی پژوهشی به وجود همبستگی مستقیم مثبت بین درصد پوشش گیاهی، ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب دست یافتند. تقی‌پور و رستگار (۱۳۸۹) رابطه عوامل فیزیوگرافی با درصد تاج پوشش گیاهی در مراتع هزار جریب بهشهر را مورد بررسی قرار دادند. وجود رابطه مستقیم ارتفاع با درصد پوشش گیاهی و در مقابل رابطه معکوس شیب با تراکم گیاهی از نتایج اصلی این پژوهش بود. بهرامی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی نقش ژئومورفولوژی در تراکم پوشش گیاهی طاق‌دیس نواکوه واقع در جنوب شرق سرپل ذهاب پرداختند. نتایج هم‌پوشانی لایه‌ها نشان داد که رده جنگل کم‌تراکم بیشتر منطبق بر دامنه جنوب غربی و رده جنگلی نسبتاً متراکم منطبق بر دامنه شمال شرقی است. قربانی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی تاثیر عوامل توپوگرافی و اداپیک بر تغییرات پوشش گیاهی منطقه حفاظت‌شده جهان‌نما واقع در جنوب شهرستان گرگان به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع و درصد شیب، درصد تاج پوشش گیاهی کاهش می‌یابد. نقی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) شرایط محیطی موثر بر پراکنش گیاهی زیستگاه پلنگان واقع در استان اردبیل را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که متغیرهای ارتفاع و شیب به عنوان مهم‌ترین عوامل موثر بر پوشش گیاهی منطقه مطرح می‌باشند. صحتی (۱۳۹۵) طی پژوهشی در خصوص بیوژئومورفولوژی مناطق خشک چاهور و علامرودشت شهرستان لامرد به دریافت که میکروتوپوگرافی، تراکم سنگریزه‌های سطحی، خصوصیات خاک‌شناختی و خصوصیات مورفومتری در منطقه مورد مطالعه بر درصد تاج پوشش گیاهی و یا حضور و عدم حضور گونه‌های گیاهی تأثیرگذار بوده و این در دشت‌های مختلف متفاوت از هم می‌باشد.

در یک جمع‌بندی از پیشینه مطالعاتی می‌توان گفت که به لحاظ روش‌شناختی دو کمبود اساسی در این زمینه وجود دارد. اولی به عدم در پیش گرفتن رویکرد فضایی پیوسته در تحلیل رگرسیونی روابط بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی مربوط است. دومی به استفاده محدود از متغیرهای ژئومورفومتری گسترده موثر در پراکنش پوشش گیاهی برمی‌گردد. از طرفی موضوع مهم مقیاس پیش می‌آید، چرا که معدود مطالعاتی هم که از تحلیل رگرسیونی فضایی بر مبنای داده‌های پیوسته پیکسل مبنای سود جسته‌اند، از تقسیمات حوضه‌ای و زیرحوضه‌ای و تفاوت‌های آن‌ها غافل بوده و تنها به اثر قدرت تفکیک داده‌های رقومی در تفاوت روابط فضایی توجه نموده‌اند. پژوهش حاضر با در نظر گرفتن این ضرورت‌های روش‌شناختی قصد دارد تا با بهره‌گیری از متغیرهای متعدد ژئومورفومتری و رویکرد رگرسیونی فضایی به شناسایی و تبیین روابط فضایی پارامترهای ژئومورفیک با پوشش گیاهی پرداخته و متغیرهای مهم پیش‌بین را در این زمینه مشخص سازد. به علاوه و مهم‌تر این که پی‌گیری تفاوت این روابط فضایی به لحاظ توان و کارایی مدل‌های پیش‌بین در دو مقیاس کل حوضه و زیرحوضه‌ها موضوعی است که مورد تأکید اصلی این پژوهش واقع شده و انتظار می‌رود به بهبود فهم روابط فضایی بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی کمک نماید.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل محدوده حوضه‌های آبخیز ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانم‌چای می‌باشد که در شمال غرب کشور و منطقه ویژه‌ای به نام ارسباران واقع شده‌اند (شکل ۱). حدود جغرافیایی حوضه‌ها به ترتیب از راست به چپ به شرح زیر می‌باشد:

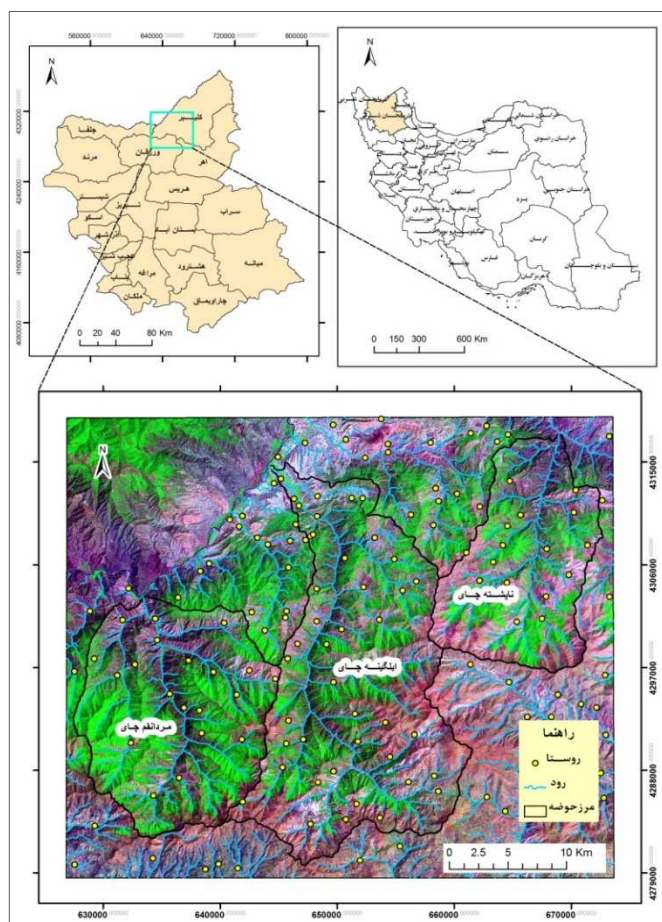
^۱ Topographic Position Index

۱- حوضه آبخیز ناپشته‌چای (به مساحت ۲۰۰ کیلومترمربع): عرض جغرافیایی $38^{\circ} 48' 02''$ تا $38^{\circ} 59' 36''$ — طول جغرافیایی $46^{\circ} 49' 18''$ تا $46^{\circ} 59' 20''$.

۲- حوضه آبخیز ایلگینه‌چای (به مساحت ۴۰۸ کیومترمربع): عرض جغرافیایی $38^{\circ} 39' 02''$ تا $38^{\circ} 58' 20''$ — طول جغرافیایی $46^{\circ} 37' 15''$ تا $46^{\circ} 51' 22''$.

۳- حوضه آبخیز مردانقم‌چای (به مساحت ۲۷۳ کیومترمربع): عرض جغرافیایی $38^{\circ} 40' 29''$ تا $38^{\circ} 52' 07''$ — طول جغرافیایی $46^{\circ} 28' 09''$ تا $46^{\circ} 40' 09''$.

حوضه‌های سه‌گانه مذکور جزو حوضه آبریز بزرگ ارس محسوب شده و جریان‌های سطحی آن‌ها در نهایت وارد رود ارس می‌شود. منطقه ارسباران از اقلیم نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب برخوردار است. میانگین دمای سالانه در ایستگاه کلیبر (نزدیک‌ترین ایستگاه به حوضه‌های مورد مطالعه) برابر با $12/6$ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه حدود ۴۲۰ میلی‌متر می‌باشد. توپوگرافی خشن و ناهموار حوضه‌های آبخیز که نمود آن در دامنه‌های تند سنگی و سنگریزه‌ای، دره‌های عمیق و تنگ و شبکه زهکشی نسبتاً گسترده آشکار است، حکایت از جوان بودن حوضه‌ها و حساسیت شرایط ژئومورفیک داشته و بسیاری از وجوه محیطی را تحت تأثیر خود قرار داده است. حوضه‌های آبخیز منطقه ارسباران با داشتن اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی ارزش شمند، حافظ ذخایر هنگفت تنوع زیستی و گونه‌های منحصر به فرد و کمیاب می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه‌های آبخیز ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای

داده‌ها و روش تحقیق

پژوهش حاضر به لحاظ هدف از نوع کاربردی و از نظر روش از نوع همبستگی می‌باشد. رویکرد پژوهش حاضر بر تحلیل رگرسیونی فضایی بین پارامترهای ژئومورفومتری (متغیر مستقل) و فراوانی پوشش گیاهی (متغیر وابسته) برگرفته از شاخص تفاضلی نرمال گیاهی (NDVI) استوار می‌باشد. در این راستا از تصویر ماهواره‌ای لندست (مربوط به ماه ژوئن سال ۲۰۱۱) و مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک فضایی ۳۰ متر استفاده گردید. جهت انجام این پژوهش مراحل به شرح زیر طی گردید.

الف- انتخاب تصاویر رقومی و پیش‌پردازش آن‌ها. در مورد تصویر لندست سعی گردید تصویری برای استخراج شاخص گیاهی انتخاب شود که علاوه بر وضعیت خوب پوشش گیاهی، از اثرات اتمسفری و پوشش ابری اندکی برخوردار باشد. جهت تصحیح اتمسفری این تصویر از روش کاهش نویز در محیط نرم‌افزاری Erdas Imagine بهره گرفته شد. همچنین جهت تطبیق موقعیت جغرافیایی، تصویر ماهواره‌ای مزبور بر اساس تصویر ارتفاعی مورد تصحیح هندسی قرار گرفت. انجام این تصحیح هندسی بر تطبیق خطوط شبکه زهکشی مستخرج از DEM با همتای خود در تصویر سنجنده ETM استوار شد.

ب- تقسیمات حوضه‌ای و زیرحوضه‌ای. پس از انجام پیش‌پردازش بر روی DEM منطقه، نقاط خروجی حوضه‌های سه‌گانه برای الحاقیه ArcHydro نرم‌افزار GIS تعریف شده و بر اساس آن محدوده حوضه‌های آبخیز تعیین گردید. به دنبال آن جهت استخراج زیرحوضه‌ها، با انتخاب یک آستانه مشترک برای هر سه حوضه در بخش تعریف آبراهه‌ها، تقسیم‌بندی زیرحوضه‌ها برای حوضه‌های مورد مطالعه انجام شد (شکل ۲).

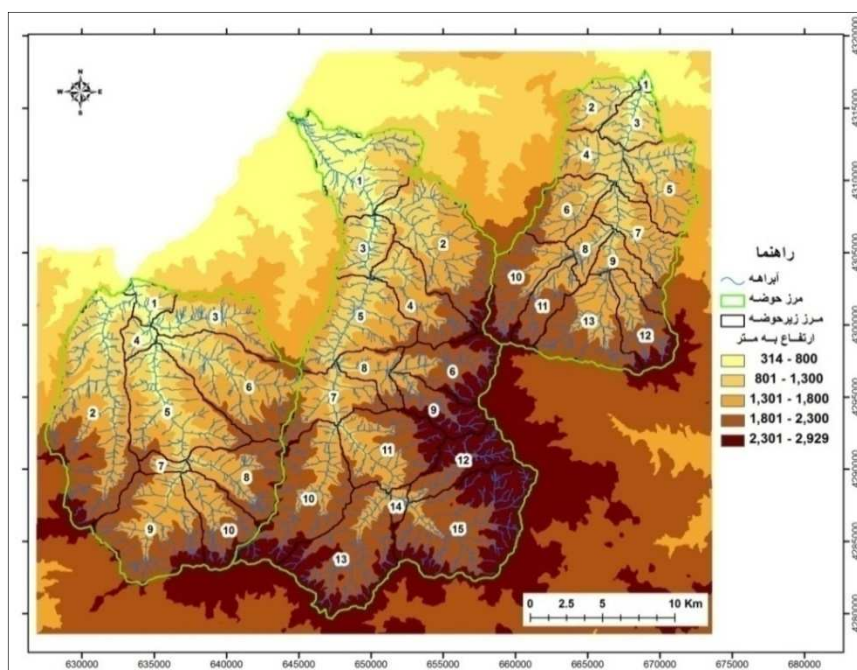
ج- استخراج و آماده‌سازی متغیرها جهت انجام تحلیل رگرسیونی. پس از انجام تصحیحات رادیومتریکی و هندسی لازم بر روی داده‌های دورسنجی، جهت استخراج پارامترهای ژئومورفومتری از محیط نرم‌افزاری GIS و SAGA و استخراج شاخص NDVI از محیط نرم‌افزاری IDRISI استفاده شد. بر اساس پیشینه موضوعی و احتمال ارتباط بیشتر با متغیر وابسته، ۲۷ پارامتر ژئومورفیک انتخاب و استخراج گردید که شرح آن‌ها در جدول ۱ آمده است. گام نهایی در آماده‌سازی داده‌ها جهت ورود به آزمون‌های رگرسیونی فضایی، همسان‌سازی مقیاس متغیرها بود که به دلیل مقیاس و دامنه متفاوت متغیرها ضرورت یافت. این کار از طریق روش نرمال‌سازی داده‌ها در دامنه صفر تا یک و با استفاده از فرمول زیر عملی شد.

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

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

د- تحلیل رگرسیونی چندمتغیره گام به گام

جهت دستیابی به مهم‌ترین متغیرهای ژئومورفیک پیش‌بین در برآورد فراوانی پوشش گیاهی از رگرسیون گام به گام بهره گرفته شد. در این روش متغیرها به ترتیب وارد معادله می‌شوند، ولی با ورود هر متغیر جدید، کلیه متغیرهای موجود در معادله مورد بررسی قرار می‌گیرند، اگر هر کدام از آن‌ها سطح معنی‌داری خود را از دست داده باشند، قبل از ورود متغیر جدید، این متغیر از معادله خارج می‌شود، به طوری که در پایان عملیات، هر متغیری که سطح معنی‌داری کمتری از سطح تعیین شده داشته باشد، در معادله حضور نخواهد داشت (فرج‌زاده، ۱۳۸۶: ۸۸). کاربست رگرسیون چندمتغیره گام به گام در فضای شبکه‌مبنای لایه‌های رستری به کمک نرم‌افزار تحلیل فضایی SAGA صورت گرفت.



شکل ۲: تقسیمات زیرحوضه‌ای حوضه‌های آبخیز ارسباران

جدول ۱: پارامترهای ژئومورفومتری دخیل در روابط فضایی بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی همراه با شرح آن‌ها

منبع	شرح	نماد	پارامتر	ردیف
ویلوک ^۱ و همکاران (۲۰۱۲)	تبدیل خطی جهت شیب با دامنه صفر (جنوب غرب) تا ۲ (شمال شرق) بر اساس فرمول زیر: $TA = \cos(45 - Aspect) + 1$	ta	جهت شیب برگردان شده	۱
رودریگوئز-مورنو ^۲ و بولاک ^۳ (۲۰۱۴)	تبدیل خطی جهت شیب به دو قسمت شرقی (مقدار +۱) و غربی (مقدار -۱) $eastness = \sin(aspect)$	E	شرقی بودن	۲
رودریگوئز-مورنو ^۲ و بولاک ^۳ (۲۰۱۴)	تبدیل خطی جهت شیب به دو قسمت شمالی (مقدار +۱) و جنوبی (مقدار -۱) $northness = \cos(aspect)$	N	شمالی بودن	۳
ویلسون ^۴ و گالانت ^۵ (۲۰۰۰)	آهنگ تغییر ارتفاع در جهت پرشیب‌ترین سرازیری	S	شیب	۴
-	-	H	ارتفاع از سطح دریا	۵
-	فاصله اقلیدسی از نزدیکترین آبراهه	d-st	فاصله از آبراهه	۶

^۱ Vilwock

^۲ Rodriguez-Moreno

^۳ Bullock

^۴ Wilson

^۵ Gallant

جنس ^۶ (۲۰۰۶)	شاخص موقعیت توپوگرافی که دامنه را به ترتیب به شش طبقه تقسیم می‌نماید: ۱- دره (valley) ۲- پنجه دامنه (toeslope) ۳- سکو (flat) ۴- میانه دامنه (midslope) ۵- بالادست دامنه (upperslope) و ۶- ستیغ (آب‌پخشان) (ridge)	s-p	موقعیت دامنه	۷
-	میزان همگرایی یا واگرایی سطح توپوگرافیک بر اساس فرمول زیر: $I = \ln(\text{flowaccumulation} + 1) / (\tan(((\text{slope})3.141593) / 180)))$ که در آن flowaccumulation عبارت از تجمع جریان بوده و slope عبارت از شیب به درجه است.	tci	شاخص همگرایی توپوگرافی	۸
آگرن ^۷ و همکاران (۲۰۱۴)	این شاخص ارتفاع هر سلول را نسبت به ارتفاع میانگین سلول‌های مجاور در یک پهنه مشخص مقایسه می‌نماید. مقادیر مثبت نشانگر ستیغ‌ها و مقادیر منفی نشانگر دره‌هاست، در حالی که مناطق مسطح از مقادیری نزدیک به صفر برخوردارند.	tpi	شاخص موقعیت توپوگرافی	۹
ایورسون ^۸ و همکاران (۱۹۹۷)	میزان عددی انباشت جریان برای بالادست هر سلول رستری. دستور انباشت جریان در Arcinfo تعداد سلول‌هایی که آب را در جهت پایین دامنه به سمت سلول مورد ارزیابی روانه می‌سازند، را شمارش می‌نماید.	f-ac	تجمع جریان	۱۰
جنس (۲۰۱۲)	انحناء در طول خط تقاطع بین سطح مزبور و صفحه XY. مقادیر مثبت اشاره به تحدب سطح (واگرایی جریان) و مقادیر منفی اشاره به تفرع سطح (همگرایی جریان) دارد.	pl-c	انحناء مسطح	۱۱
جنس (۲۰۱۲)	انحناء در طول خط ماکزیمم شیب. مقادیر منفی مربوط به تحدب سطح (تسریع جریان) و مقادیر مثبت مربوط به تفرع سطح (کندی جریان) می‌باشد.	pt-c	انحناء پروفیل	۱۲
جنس (۲۰۱۲)	این انحناء همانند انحناء مسطح تفسیر شده و اشاره به همگرایی یا واگرایی جریان دارد. مقادیر مثبت دلالت بر تحدب سطح (واگرایی جریان) و مقادیر منفی دلالت بر تفرع سطح (همگرایی جریان) دارد.	ct-c	انحناء مقطع عرضی	۱۳
جنس (۲۰۱۲)	این انحناء همانند انحناء پروفیل تعبیر شده و اشاره به افزایش یا کاهش سرعت جریان بر روی دامنه دارد. مقادیر مثبت اشاره به سطوح مقعر (کندی جریان) و مقادیر منفی اشاره به سطوح محدب (تسریع جریان) دارد.	lo-c	انحناء طولی	۱۴
جنس (۲۰۱۲)	انحناء در طول خط متعامد بر خط پرشیب‌ترین گرادیان. مقادیر مثبت دلالت بر تحدب سطح (واگرایی جریان) و مقادیر منفی دلالت بر تفرع سطح (همگرایی جریان) دارد.	ta-c	انحناء تانژانت	۱۵
جنس (۲۰۱۲)	این انحناء مقیاسی از تحدب چشم‌انداز است. سطوح محدب مقادیر مثبت داشته و سطوح مقعر دارای مقادیر منفی هستند. مقدار صفر به سطوح هموار اختصاص دارد.	ge-c	انحناء عمومی	۱۶
اولایا ^۹ (۲۰۰۴)	این شاخص سنجه‌ای از چگونگی همگرایی یا واگرایی جریان در داخل یک سلول رستری است. مقادیر منفی دلالت بر همگرایی و مقادیر مثبت دلالت بر واگرایی جریان دارد.	ci	شاخص همگرایی	۱۷
مور ^{۱۰} و همکاران (۱۹۹۱)	این پارامتر از دو جزء مساحت ویژه حوضه (مساحت به مترمربع در هر عرض واحد عمود بر جهت جریان) (A_s) و زاویه شیب (β) مستخرج از مدل رقمی ارتفاع (DEM) بهره می‌برد. معادله آن به صورت زیر است:	ls	فاکتور طول دامنه	۱۸

^۶ Jeness^۷ Agren^۸ Iverson^۹ Olaya^{۱۰} Moor

	$L_s = (n + 1) \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^n \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^m$ <p>که در آن $n=0.4$ و $m=1.3$</p>			
ما ^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۰): آگرن و همکاران (۲۰۱۴)	این شاخص بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود: $TWI = \ln(A_s / \tan(\beta))$ <p>که در آن A_s عبارت از مساحت تجمعی بالادست دامنه است (مساحت ویژه حوضه) و β زاویه شیب محلی است. سلول‌های با مقادیر بالای TWI معرف نزارها و سلول‌های با مقادیر پایین TWI معرف پهنه‌های خشک هستند.</p>	twi	شاخص رطوبت توپوگرافی	۱۹
-	فاصله عمودی تا سطح اساس یک شبکه کانال به متر	vd	عمق دره	۲۰
تمیمی ^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۰)	به مساحت شیب بالادست (Upslope area) نیز معروف است. ماتریسی است که در آن هر سلول، ارزشی برابر با تعداد سلول‌هایی که به داخل آن جریان دارد، می‌گیرد.	ca	مساحت سهیم	۲۱
اولا یا (۲۰۰۹)	متوسط طول مسیر جریان که از ستیغ‌ها و قله‌های بدون مساحت سهیم بالادست محاسبه می‌شود.	fpl	طول مسیر جریان	۲۲
گروبر ^{۱۳} و پکمن ^{۱۴} (۲۰۰۹)	پارامتر جریان‌مبنایی است که بر اساس الگوریتم‌های مختلف الگوی جریان و با استفاده از پیکسل‌های همسایه پیکسل مورد نظر محاسبه می‌شود. $w = \sin(\theta) \cdot \Delta x + \cos(\theta) \cdot \Delta y$ <p>که در آن θ، زاویه جهت دامنه و Δx و Δy، اندازه سلول شبکه در طول محورهای مختصات است</p>	fw	عرض جریان	۲۳
اولا یا و همکاران (۲۰۰۹)	میزان ناهمواری سطح که از طریق تفاضل ارتفاع ماکزیمم و مینیمم (متر) در پهنه آبخیز تقسیم بر جذر مساحت حوضه آبخیز (مترمربع) محاسبه می‌شود. $MRN = (Z_{max} - Z_{min}) / \text{Sqrt}(A)$	mrn	عدد ناهمواری ملتون	۲۴
هیکی ^{۱۵} (۲۰۰۰)	طول دامنه از نقاط مرتفع (ستیغ‌ها یا قله‌ها) در امتداد ماکزیمم شیب به سمت پایین‌دست دامنه (جهت جریان)	sl	طول دامنه	۲۵
مور و همکاران (۱۹۹۱)	این شاخص سنج‌های از قدرت رود بوده و از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود: $SPI = A_s \cdot \tan \beta$ <p>A_s عبارت از مساحت ویژه حوضه (مساحت به مترمربع در هر عرض واحد عمود بر جهت جریان) و β عبارت از زاویه شیب می‌باشد.</p>	spi	شاخص قدرت رود	۲۶
-	میزان تحدب سطح زمین که معمولاً مقادیری از صفر تا یک را شامل می‌شود و هر چه به عدد یک نزدیک‌تر می‌شویم بر تحدب یا کوژی زمین افزوده می‌شود.	tsc	تحدب سطحی زمین	۲۷

نتایج و بحث

^{۱۱} Ma^{۱۲} Temimi^{۱۳} Gruber^{۱۴} Peckham^{۱۵} Hickey

نتایج حاصل از اجرای رگرسیون چندمتغیره گام به گام در دو بخش ارائه شد: گام‌های رگرسیونی و مدل رگرسیونی. به جهت اختصار و این که مقایسه روابط فضایی در دو مقیاس حوضه و زیرحوضه بیشتر در بخش مدل‌های رگرسیونی پیش‌بین مهم می‌باشد، نتایج بخش گام‌های رگرسیونی تنها در مورد مقیاس کل حوضه آورده شد.

الف- گام‌های رگرسیونی

نتایج اولیه آزمون روابط رگرسیونی نشان داد که با وجود معنی‌دار بودن روابط میان متغیرهای مستقل و وابسته، همبستگی بیشتر پارامترهای ژئومورفیک با انبوهی یا فراوانی پوشش گیاهی ضعیف بود. این واقعیت در ضرایب همبستگی موثرترین متغیرهای مستقل در پراکنش پوشش گیاهی (جدول ۲) مشهود است. مقدار پایین ضریب همبستگی با توجه به رویکرد پیکسل‌مبنای اعمال شده در روابط فضایی رگرسیونی دور از انتظار نبوده و عوامل مختلفی می‌تواند در این امر دخیل باشد. اما گام‌های رگرسیونی که اشاره به انتخاب متغیرها از مهم‌ترین تا کم‌اهمیت‌ترین آن‌ها دارد، موثرترین متغیرهای مستقل (پارامترهای ژئومورفولوژی) جهت برآورد متغیر وابسته (فراوانی پوشش گیاهی) را شناساند که آماره‌های آن‌ها در جداول ۳ تا ۵ گنجانده شده است. انتخاب مهم‌ترین متغیرها بر اساس آماره ضریب تعیین (R^2) بوده و این کار تا جایی ادامه یافت که مقدار ضریب تعیین ثابت بماند. در واقع بخش عمده ضریب تعیین مدل رگرسیونی نهایی نیز تا همان جا بوده و بیشترین تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل منتخب قابل توضیح می‌باشد. در حوضه آبخیز ناپشته‌چای ۵ متغیر منتخب حدود ۹ درصد از واریانس تغییرات فضایی فراوانی پوشش گیاهی را توضیح داد (جدول ۳). در حوضه آبخیز ایلگینه‌چای بیش از ۲۰ درصد تغییرات فضایی فراوانی پوشش گیاهی توسط ۷ متغیر منتخب قابل تبیین بود (جدول ۴) و در حوضه آبخیز مردانم‌چای حدود ۳۰ درصد واریانس متغیر وابسته توسط ۵ متغیر مستقل تبیین گردید (جدول ۵).

جدول ۲: ضرایب همبستگی موثرترین پارامترهای ژئومورفیک در پراکنش پوشش گیاهی

حوضه آبخیز ناپشته‌چای		حوضه آبخیز ایلگینه‌چای		حوضه آبخیز مردانم‌چای	
متغیر مستقل	ضریب همبستگی	متغیر مستقل	ضریب همبستگی	متغیر مستقل	ضریب همبستگی
vd	-۰/۱۸	S	۰/۲	vd	-۰/۲۶
H	-۰/۱۷	tpi	-۰/۲۴	tpi	-۰/۱۶
tpi	-۰/۱۵	s-p	۰/۱۱	H	-۰/۲۱
s-p	۰/۱	tsc	۰/۱۱	ta	۰/۰۹
S	۰/۰۵	H	-۰/۲۱	ge-c	۰/۰۳
-	-	vd	-۰/۱۹	-	-
-	-	ta	۰/۰۸	-	-

جدول ۳: گام‌های رگرسیونی و انتخاب موثرترین متغیرهای پیش‌بین در حوضه آبخیز ناپشته‌چای

متغیر مستقل	آماره F	مجموع مربعات باقیمانده (SSE)	مجموع مربعات رگرسیون (SSR)	ضریب تعیین (R^2)	مدل
vd	۶۲۸۴/۸۴	۱۰۶۱۰/۶۸	۲۸۹/۵۳	۰/۰۳	۱
H	۵۷۵۴/۲۷	۱۰۳۸۱/۴۹	۵۱۸/۷۲	۰/۰۵	۲
tpi	۵۳۱۸/۷۵	۱۰۱۹۴	۷۰۶/۲۱	۰/۰۶	۳
s-p	۴۴۰۱/۰۷	۱۰۱۲۶/۲۴	۷۷۲/۹۷	۰/۰۷	۴
S	۴۵۱۹/۰۵	۹۹۲۶/۴۱	۹۷۳/۸	۰/۰۹	۵

* مقادیر آماره‌ها به صورت تجمعی می‌باشد.

جدول ۴: گام‌های رگرسیونی و انتخاب موثرترین متغیرهای پیش‌بین در حوضه آبخیز ایلگینه‌چای

متغیر مستقل	آماره F	مجموع مربعات باقیمانده (SSE)	مجموع مربعات رگرسیون (SSR)	ضریب تعیین (R^2)	مدل
S	۴۴۲۷۲/۹۸	۱۶۹۵۵/۷۸	۱۵۹۵/۸۸	۰/۰۹	۱
tpi	۲۷۹۲۱/۵۷	۱۶۵۸۲/۹۸	۱۹۶۸/۶۹	۰/۱۱	۲
s-p	۲۲۶۵۸/۶۴	۱۶۲۰۹/۲۵	۲۳۴۲/۴۱	۰/۱۳	۳
tsc	۱۹۸۶۶/۸۵	۱۵۸۷۰/۴۹	۲۶۸۱/۱۸	۰/۱۴	۴
H	۱۸۱۴۳/۳۲	۱۵۵۵۲/۳	۲۹۹۹/۳۶	۰/۱۶	۵
vd	۱۸۷۶۸/۹۳	۱۴۹۶۸/۱۶	۳۵۸۳/۵	۰/۱۹	۶
ta	۱۶۶۹۹/۳	۱۴۸۵۹/۰۳	۳۶۹۲/۶۳	۰/۲	۷

* مقادیر آماره‌ها به صورت تجمعی می‌باشد.

جدول ۵: گام‌های رگرسیونی و انتخاب موثرترین متغیرهای پیش‌بین در حوضه آبخیز مردانم‌چای

متغیر مستقل	آماره F	مجموع مربعات باقیمانده (SSE)	مجموع مربعات رگرسیون (SSR)	ضریب تعیین (R^2)	مدل
vd	۹۹۹۷۲/۴۸	۱۳۷۰۴/۲۶	۴۳۱۵/۹	۰/۲۴	۱
tpi	۵۶۴۸۴/۲۵	۱۳۲۹۰/۴۵	۴۷۲۹/۷۱	۰/۲۶	۲
H	۴۳۶۹۰/۲۸	۱۲۷۵۴/۰۳	۵۲۶۶/۱۳	۰/۲۹	۳
ta	۳۴۲۱۸/۲۷	۱۲۵۹۱/۱۳	۵۴۲۹/۰۳	۰/۳	۴
ge-c	۲۸۱۵۲/۴۱	۱۲۴۸۴/۲۵	۵۵۳۵/۹۱	۰/۳۱	۵

* مقادیر آماره‌ها به صورت تجمعی می‌باشد.

اثرات متغیرهای مهم ژنومورفیک بر توزیع فضایی فراوانی پوشش گیاهی را می‌توان در قالب دو گروه همبستگی مثبت و همبستگی منفی تبیین نمود. در واقع این متغیرها اشاره به گرادیان‌های ژنومورفیک اصلی کنترل‌گر توزیع فضایی پوشش گیاهی دارند که در قالب دو گروه گرادیان‌های مثبت و منفی، اثرات خود بر متغیر وابسته را اعمال می‌نمایند. متغیرهای مستقل دارای همبستگی مثبت با متغیر وابسته عبارت‌اند از: شیب، موقعیت دامنه، جهت شیب برگردان‌شده، تحدب سطحی زمین و انحنا عمومی. متغیر شیب (S) یکی از مهم‌ترین متغیرهایی است که بیشتر محققین به اثرگذاری قابل توجه آن بر پراکنش پوشش گیاهی اذعان نموده و در پیش‌بینی الگوی پراکنش گیاهی از آن سود جسته‌اند. وجود رابطه مثبت شیب با فراوانی پوشش گیاهی در هم‌خوانی با کارهای دنگ و همکاران (۲۰۰۷)؛ اسپاداوپچیا و همکاران (۲۰۰۸)؛ و زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۸۶) بوده و می‌تواند به تخریب کمتر و سالم‌ماندن پوشش گیاهی در دامنه‌های پرسیب اشاره داشته باشد. در مقابل محققینی چون تقی‌پور و رستگار (۱۳۸۹) و قربانلی و همکاران (۱۳۹۳) به رابطه معکوس میزان شیب با تراکم پوشش گیاهی دست یافتند. هر چند با افزایش شیب بر میزان زهکشی سطحی و زیرسطحی و فرسایش خاک افزوده می‌شود، اما وجود پوشش گیاهی خوب به‌ویژه در قالب فرماسیون جنگلی در حوضه‌های مورد مطالعه مانع از این امر شده و یا آن را تعدیل می‌نماید. موقعیت دامنه (s-p) شاخصی است که یک دامنه را از پایین‌دست تا بالادست آن به شش طبقه تقسیم نموده و به ترتیب نمرات ۱ تا ۶ برای این طبقات منظور می‌شود. عموماً با افزایش فاصله از ستیغ و نزدیک شدن به پای دامنه به دلیل تجمع آب و مواد مغذی، بر حاصلخیزی خاک افزوده شده و این عامل اثر مثبتی بر پوشش گیاهی می‌گذارد. رابطه مثبت حاصل بین پارامتر مزبور و فراوانی پوشش گیاهی بر خلاف این واقعیت بوده و نشان از پوشش گیاهی انبوه‌تر در پیرامون ستیغ‌ها دارد. ذکر این نکته ضروری است که شاخص مزبور در حوضه‌های مورد مطالعه، بیشتر نشانگر دو طبقه ستیغ و دره بود و گویی طبقات دیگر در این دو طبقه ادغام گردیده‌اند. بالطبع این امر نتایج حاصل از پارامتر مزبور را با

اشکال مواجه می‌سازد. رابطه مثبت جهت شیب برگردان شده (ta) با وفور پوشش گیاهی اشاره به این دارد که جهت شمال شرقی نسبت به سایر جهات دامنه از پوشش گیاهی انبوه‌تری برخوردار است. این واقعیت در ارتباط با ترازهای بالای رطوبت در جهات شمال شرقی (ایورسون و همکاران، ۱۹۹۷: ۳۳۵؛ خفاقی^{۱۶} و عمر^{۱۷}، ۲۰۱۲: ۵۰۷) است که فرایندهای بیوفیزیکی و به‌ویژه بیوشیمیایی را تقویت می‌نماید. بهرامی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به نتیجه مشابهی مبنی بر تراکم بیشتر پوشش گیاهی در جهات شمال شرقی دست یافتند. در مقابل نتیجه حاصل با نتایج کپاد و تیخیل (۲۰۱۳) مطابقت ندارد. در خصوص پارامتر تحدد سطحی زمین (tsc) می‌توان گفت با این که سطوح کوژ با پخش مواد رسوبی و آب مواجه هستند، اما رابطه مثبت این پارامتر با فراوانی پوشش گیاهی را می‌توان به در معرض نور قرارگیری بیشتر این سطوح نسبت داد که نیازمند بررسی دقیق‌تری است. از طرفی دور ماندن برآمدگی‌ها از فرایندهای فرسایش جریانی تمرکز یافته در نقاط گود و همگرا نیز می‌تواند مزید بر علت بوده و عاملی موثر در جلوگیری از برچینی پوشش گیاهی باشد. البته چنانچه عامل انسانی را هم در نظر بگیریم، دسترسی کمتر به سطوح برآمده و کوژ مزید بر علت بوده و ممکن است بر وجوه تبیینی این مسئله بیفزاید. آخرین پارامتر مهمی که نقش مثبتی در فراوانی پوشش گیاهی دارد، پارامتر انحناء عمومی (ge-c) است. این پارامتر همچون پارامتر تحدد سطحی زمین (tsc) اشاره به کوژی سطح زمین داشته و مقادیر بالای آن (مثبت) با سطوح محدب و مقادیر پایین آن (منفی) با سطوح مقعر مشخص می‌شود. بنابراین رابطه مثبت این متغیر با متغیر وابسته بار دیگر دلالت بر افزایش پوشش گیاهی در سطوح مابین نقاط گود و تالوگ‌ها یعنی میانابها دارد. با این که نقاط همگرای جریان ممکن است به واسطه بروز گسیختگی‌های دامنه‌ای طبیعی و نیز آشفستگی سیلاب باعث کاهش تراکم پوشش گیاهی شود، اما نتایج ترکیبی این دو پارامتر که حاکی از وفور بیشتر پوشش گیاهی در سطوح محدب تپه‌ها و میانابهاست، را می‌توان هم به تابش دریافتی بیشتر این سطوح و هم به رخنه کمتر عوامل آنتروپوژنیک به این پهنه‌ها نسبت داد.

پس از بررسی گروه متغیرهای دارای همبستگی مثبت با متغیر وابسته نوبت به بررسی آن دسته از متغیرهایی می‌رسد که همبستگی منفی با متغیر وابسته دارند. در این گروه ۳ پارامتر عمق دره، ارتفاع، شاخص موقعیت توپوگرافی قرار دارند. پارامتر عمق دره (vd) که بیانگر فاصله عمودی یک نقطه تا سطح اساس حوضه زهکشی می‌باشد، با مقادیر زیاد در دره‌های عمیق اصلی و قسمت خروجی حوضه و برعکس مقادیر کم در سرشاخه‌ها و آب‌پخشان حوضه مشخص است. رابطه منفی این متغیر با متغیر وابسته اشاره به این واقعیت دارد که با نزدیک‌تر شدن به نواحی بالادست حوضه و مرتفعاتی که شکل‌گیری آبراهه‌های با رتبه یک در آن‌ها صورت می‌گیرد، بر میزان انبوهی یا فراوانی پوشش گیاهی افزوده می‌شود. علاوه بر این که اثرات مثبت توپوکلیمایی به صورت خنکی هوا و رطوبت بیشتر در مرتفعات بالادست حوضه در این جا مشهود است، از طرفی می‌توان به خوبی اثرات آنتروپوژنیک بر پوشش گیاهی را در رابطه پارامتر مزبور با پوشش گیاهی ردیابی نمود. با نزدیک شدن به دره اصلی و به‌ویژه پایاب حوضه بر میزان دخل و تصرف‌های انسانی افزوده شده و بالطبع پیامدی جز تخریب و تنک‌شدگی پوشش گیاهی را شاهد نخواهیم بود. متغیر ارتفاع از سطح دریا (H) یکی از متغیرهای سه‌گانه‌ای (در کنار متغیرهای شیب و جهت شیب) است که اثر قاطع و گسترده‌ای بر پراکنش پوشش گیاهی دارد. در کل، ارتفاع متغیر چندجنبه‌ای است که بسیاری از متغیرهای محیطی دیگر را تحت‌الشعاع خود قرار داده و تفسیر اثرات آن روشن و آسان نیست. وجود رابطه منفی پارامتر ارتفاع با فراوانی پوشش گیاهی را در حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه می‌توان به عوامل مختلفی نسبت داد: اول این که خاک‌های مرتفعات عمدتاً خاک‌های کم‌عمق با سنگ بستر نزدیک به سطح زمین هستند که به شدت ظرفیت کل نگهداشت آب را محدود می‌سازند (ایورسون و همکاران، ۱۹۹۷: ۳۳۷). دوم این که ممکن است با

^{۱۶} Khafaghi^{۱۷} Omar

افزایش ارتفاع به دلیل گسترش جمعیت روستایی و عشایری، با تخریب بیشتری مواجه شویم (میرزایی‌زاده و نیک‌نژاد، ۱۳۹۲: ۱۰۲). سوم و شاید مهم‌تر از همه این که بیشتر پوشش منطقه مورد مطالعه به شکل جنگل بوده و جنگل‌های خوب عمدتاً در ارتفاعات میانی واقع شده‌اند. در این خصوص وجود مراتع ضعیف و کم‌تراکم در مرتفعات و توان کم شاخص NDVI در باز نمود پوشش گیاهی مرتعی نیز می‌تواند دخیل باشد. به هر صورت نتیجه حاصل در مغایرت با نتایج محققینی چون دنگ و همکاران (۲۰۰۷)؛ زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۸۶) و تقی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) بوده و در مقابل با نتایج اسپاداوچیا و همکاران (۲۰۰۸) و قربانلی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. شاخص موقعیت توپوگرافی (tpi) یکی دیگر از شاخص‌هایی است که به مانند شاخص موقعیت دامنه (s-p) اشاره به تقسیم‌بندی سطوح توپوگرافی در فاصله بین آب‌پخشان و کانال‌های زهکشی (فاصله بین ستیغ‌ها و دره‌ها) دارد. البته همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، در حوضه‌های مورد مطالعه شاخص s-p بر خلاف شاخص tpi قادر به تفکیک واحدهای لندفرمی دامنه‌ها نبوده و بیشتر نشانگر دو طبقه ستیغ و دره بود. رابطه منفی پارامتر tpi با فراوانی پوشش گیاهی دلالت بر این دارد که در ستیغ‌ها و نزدیک خطوط آب‌پخشان با تنگی پوشش گیاهی روبه‌رو هستیم. در مقابل قسمت‌های پایین‌دست و میانی دامنه از پوشش گیاهی انبوه‌تری برخوردارند. این نتیجه در هم‌خوانی با نتایج کار دنگ و همکاران (۲۰۰۷) می‌باشد. با این نتایج می‌توان گفت که گرادیان‌های منفی ژئومورفیک موثر بر توزیع فضایی پوشش گیاهی در مفاهیم موقعیت ارتفاعی و موقعیت دامنه قابل جستجو و پی‌گیری است. چنین می‌نماید که در حوضه‌های آبخیز ارسباران با نزدیک شدن به مرتفعات و بالادست دامنه‌ها، توزیع منابع و شرایط لازم جهت توسعه گیاهی از قبیل رسوب و مواد مغذی با محدودیت مواجه می‌شود.

نتایج فوق نشان می‌دهد که متغیرهای متداول در مدل‌سازی پراکنش پوشش گیاهی (ارتفاع، شیب و جهت شیب) در این جا نیز با وجود تعداد زیاد متغیرهای مستقل دخیل در مدل‌های رگرسیونی، جزو متغیرهای مهم بوده‌اند. با در نظر گرفتن وجوه تبیینی مشترک برای سه حوضه، ترتیب اهمیت این سه متغیر به این صورت قابل ذکر است: ۱- ارتفاع ۲- شیب ۳- جهت شیب. در کل متغیرهای منتخب در حوضه‌های مورد مطالعه بازتاب نسبتاً کاملی از ژئومورفولوژی یک محل هستند، چرا که ویژگی‌های مورفولوژی زمین، شدت ناهمواری، موقعیت و جهت ناهمواری را که شرایط زیست‌محیطی را به طور گسترده تحت کنترل خود دارند، مشخص می‌سازند. به علاوه، با در نظر گرفتن نوع و چگونگی تاثیر پارامترهای ژئومورفولوژی در پراکنش پوشش گیاهی، ترکیبی از گرادیان‌های مستقیم و غیر مستقیم، گرادیان‌های منفی و مثبت در این جا مشهود است که بر غنای نتایج حاصل می‌افزاید.

ب- مدل رگرسیونی

نتایج نهایی تحلیل رگرسیونی روابط فضایی بین پارامترهای ژئومورفولوژی و فراوانی پوشش گیاهی در قالب مدل‌های رگرسیونی و آماره‌های مربوط در دو بخش کل حوضه (جدول ۵) و زیرحوضه‌ها (جدول ۶ تا ۸) حاصل گردید. به کمک آماره‌های حاصل می‌توان مناسب‌ترین مدل رگرسیونی را با توجه به توان پیش‌بینی (R^2) و کارایی (آماره F) آن انتخاب نمود. لازم به ذکر است که زیرحوضه‌های شماره ۱ در حوضه ناپشته‌چای و شماره ۱۴ در حوضه ایلگینه‌چای به دلیل مساحت خیلی کم از آزمون روابط رگرسیونی کنار گذاشته شدند.

جدول ۵: آماره‌های مدل رگرسیونی پیش‌بین فراوانی پوشش گیاهی در حوضه‌های آبخیز ارسباران

نام حوضه	ضریب تعیین (R^2)	آماره F	تعداد متغیر پیش‌بین	تعداد نمونه
ناپشته‌چای	۰/۱۱	۱۳۷۸/۲۵	۲۰	۲۳۰۳۳۰
ایلگینه‌چای	۰/۲۱	۴۹۱۴/۸۳	۲۵	۴۷۰۳۹۰

۳۱۷۴۴۴	۲۲	۶۹۲۰/۴۳	۰/۳۲	مردانقم‌چای
--------	----	---------	------	-------------

جدول ۶: آماره‌های مدل رگرسیونی پیش‌بین فراوانی پوشش گیاهی در زیرحوضه‌های آبخیز ناپشته‌چای

شماره زیرحوضه	ضریب تعیین (R^2)	آماره F	تعداد متغیر پیش‌بین	تعداد نمونه
۲	۰/۲۸	۳۸۰/۰۵	۱۵	۱۴۵۳۱
۳	۰/۳۲	۵۶۹/۶۸	۱۱	۱۳۵۳۰
۴	۰/۴۲	۸۵۱/۵۹	۱۶	۱۸۵۵۵
۵	۰/۳۴	۶۵۲/۳۷	۲۱	۲۶۶۱۶
۶	۰/۱۸	۲۵۸/۳۵	۱۷	۲۰۰۲۶
۷	۰/۱۵	۲۵۵/۰۴	۱۵	۲۱۳۰۹
۸	۰/۰۹	۶۴/۴۵	۱۵	۸۷۰۹
۹	۰/۱۲	۹۸/۵۳	۱۶	۱۱۹۸۳
۱۰	۰/۱۹	۳۷۳/۳۶	۱۶	۲۵۶۶۸
۱۱	۰/۳۱	۴۷۴/۵۴	۱۴	۱۵۰۹۸
۱۲	۰/۰۸	۱۱۳/۷۰	۱۵	۱۹۳۸۳
۱۳	۰/۱۶	۳۵۸/۶۸	۱۷	۳۲۱۹۰

جدول ۷: آماره‌های مدل رگرسیونی پیش‌بین فراوانی پوشش گیاهی در زیرحوضه‌های آبخیز ایلگینه‌چای

شماره زیرحوضه	ضریب تعیین (R^2)	آماره F	تعداد متغیر پیش‌بین	تعداد نمونه
۱	۰/۳۸	۱۴۰۰/۸۱	۲۰	۴۵۰۵۲
۲	۰/۱۷	۵۷۶/۵۹	۲۰	۵۵۵۸۸
۳	۰/۳	۵۳۳/۲	۱۳	۱۵۹۹۷
۴	۰/۲۷	۶۱۳/۶۱	۱۶	۲۶۸۲۱
۵	۰/۲۸	۹۷۵/۴۵	۱۸	۳۹۲۵۶
۶	۰/۳	۵۷۸/۷۳	۲۰	۲۷۵۱۶
۷	۰/۲	۳۲۵/۱	۱۹	۲۴۰۱۶
۸	۰/۳۵	۴۹۲/۹۳	۱۴	۱۳۰۳۳
۹	۰/۵۱	۱۰۰۲/۹۹	۱۹	۱۸۱۵۸
۱۰	۰/۲۱	۷۶۹/۱	۱۷	۴۹۷۱۳
۱۱	۰/۳	۹۷۷/۶۸	۱۷	۳۹۰۴۰
۱۲	۰/۲۴	۳۲۱/۲	۲۲	۲۱۸۹۸
۱۳	۰/۱۵	۵۵۲/۷۹	۱۷	۵۱۶۲۷
۱۵	۰/۲۱	۷۶۶/۸	۲۲	۶۵۳۹۵

جدول ۸: آماره‌های مدل رگرسیونی پیش‌بین فراوانی پوشش گیاهی در زیرحوضه‌های آبخیز مردانقم‌چای

شماره زیرحوضه	ضریب تعیین (R^2)	آماره F	تعداد متغیر پیش‌بین	تعداد نمونه
---------------	----------------------	---------	---------------------	-------------

۸۴۱۵	۲۰	۴۹۱/۱۶	۰/۵۴	۱
۸۵۹۹۰	۲۰	۵۷۰۵/۹۳	۰/۵۷	۲
۲۶۱۵۶	۲۱	۱۱۰۲/۹۲	۰/۴۷	۳
۵۶۰۸	۱۴	۱۵۷/۳۶	۰/۲۸	۴
۵۰۳۳۲	۱۹	۳۰۰۵/۲۱	۰/۵۳	۵
۵۱۰۸۳	۲۰	۱۳۸۹/۵۹	۰/۳۵	۶
۴۳۱۶	۱۴	۵۱۱/۴	۰/۶۲	۷
۲۸۵۲۲	۲۱	۲۴۲/۵۵	۰/۱۵	۸
۴۹۳۳۱	۱۶	۱۰۷۵/۱۱	۰/۲۶	۹
۲۳۱۵۶	۱۵	۲۳۶/۹۶	۰/۱۳	۱۰

الف- مقیاس حوضه

ضریب تعیین مدل رگرسیونی حاصل برای حوضه‌های ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای به ترتیب برابر با ۰/۱۱، ۰/۲۱ و ۰/۳۲ بود که نشان می‌دهد بهترین مدل رگرسیونی فضایی مربوط به حوضه آبخیز مردانقم‌چای بوده و پس از آن حوضه ایلگینه‌چای قرار داشته و ضعیف‌ترین مدل رگرسیونی از آن حوضه آبخیز ناپشته‌چای است. اما آماره F حاصل برای مدل‌های رگرسیونی حوضه‌های ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای به ترتیب برابر با ۲۱۱۹، ۷۳۸۴ و ۱۱۱۳۰ می‌باشد. بنابراین با توجه با آماره‌های ضریب تعیین و F مشخص می‌شود که مناسب‌ترین مدل رگرسیونی فضایی به حوضه آبخیز مردانقم‌چای تعلق داشته و حوضه‌های ایلگینه‌چای و ناپشته‌چای در مقام‌های بعدی قرار دارند. نکته جالب توجه این است که نتیجه فوق در تطبیق با وضعیت ناهمواری و خشونت توپوگرافی حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه است، به طوری که حوضه مردانقم‌چای، ناهموارترین حوضه بوده و در مقابل حوضه ناپشته‌چای، کم‌ناهموارترین حوضه می‌باشد. دست‌نخورده‌گی بیشتر پوشش گیاهی جنگلی در حوضه آبخیز مردانقم‌چای نسبت به حوضه آبخیز ناپشته‌چای دلیل عمده‌ای بر اختلاف دو حوضه به لحاظ روابط رگرسیونی فضایی می‌تواند باشد. در این بین به نظر می‌رسد که در حوضه آبخیز ایلگینه‌چای نسبت به دو حوضه ناپشته‌چای و مردانقم‌چای شرایط بینابینی به لحاظ فیتوژئومورفیک حاکم است.

ب- مقیاس زیرحوضه

در این بخش نیز سعی گردید بر اساس آماره‌های R^2 و F ، مدل‌های رگرسیونی مختلف جهت رسیدن به بهترین مدل پیش‌بین با یکدیگر مقایسه شود. با این حال نتایج این دو آماره در زیرحوضه‌های مورد مطالعه تطبیق زیادی با هم نداشته و بنابراین به طور جداگانه مورد مقایسه قرار گرفت. در این جا نیاز به توضیح است که آماره R^2 قدرت و توان پیش‌بینی مدل رگرسیونی و میزان واریانس قابل تبیین متغیر وابسته توسط متغیر مستقل را نشان می‌دهد. در حالی که آماره F دلالت بر معنی‌داری مدل رگرسیونی داشته و به نوعی کارایی آن را نشان می‌دهد. مزیت آماره F جهت مقایسه کارایی و اعتبار مدل‌های رگرسیونی در این است که آماره مزبور از تقسیم میانگین مربعات رگرسیون (MSR) بر میانگین مربعات خطا (MSE) حاصل می‌شود. در محاسبه MSR ، اثر تعداد متغیرها و در محاسبه MSE ، اثر تعداد نمونه (درجات آزادی) خنثی شده و بنابراین آماره F ، آماره خوبی برای مقایسه مدل‌های رگرسیونی محسوب می‌شود. با دانستن این واقعیات آماری به سراغ نتایج مدل‌های رگرسیونی و رتبه‌بندی آن‌ها بر اساس شماره زیرحوضه در هر یک از حوضه‌های سه‌گانه رفتیم. در حوضه آبخیز ناپشته‌چای بر اساس آماره R^2 ترتیب مدل‌های رگرسیونی از ضعیف‌ترین تا قوی‌ترین آن‌ها بدین گونه بود: ۱۲-۸-۹-۷-۱۳-۶-۱۰-۲-۱۱-۳-۵-۴. با این نتیجه معلوم می‌شود که ضعیف‌ترین روابط فضایی در زیرحوضه شماره ۱۲ ($R^2=0/08$) و قوی‌ترین روابط در زیرحوضه شماره ۴ ($R^2=0/42$) وجود دارد. زیرحوضه شماره ۱۳ با ضریب تعیین مساوی با ضریب تعیین حاصل برای کل حوضه ($R^2=0/22$)، معرف خوبی برای کل حوضه در بین زیرحوضه‌هاست.

اما بر اساس آماره F می‌توان اهمیت مدل‌های پیش‌بین در زیرحوضه‌های حوضه آبخیز ناپشته‌چای را به ترتیب از ناکارترین تا کارترین مدل نشان داد: ۸-۹-۱۲-۷-۶-۱۳-۱۰-۲-۱۱-۳-۵-۴. به این ترتیب کارترین مدل رگرسیونی در زیرحوضه شماره ۴ ($F=851$) حاصل شده است. در مقابل ضعیف‌ترین مدل به لحاظ کارایی در زیرحوضه شماره ۸ ($F=64$) مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد نتایج پیش‌بینی مدل مزبور از اعتبار چندانی برخوردار نیست. در حوضه ایلگینه‌چای ترتیب زیرحوضه‌ها بر اساس آماره R^2 (از ضعیف‌ترین تا قوی‌ترین) به این گونه بود: ۱۳-۲-۷-۱۵-۱۰-۱۲-۴-۵-۶-۱۱-۳-۸-۱-۹. در بین زیرحوضه‌ها، پایین‌ترین توان پیش‌بینی مدل رگرسیونی ($R^2=0/15$) به زیرحوضه شماره ۱۳ تعلق دارد. در مقابل مدل رگرسیونی زیرحوضه شماره ۹ با اختلاف ضریب تعیین قابل توجه نسبت به سایر زیرحوضه‌ها ($R^2=0/51$)، از توان پیش‌بینی خوبی برخوردار می‌باشد. با در نظر گرفتن تفاوت قابل توجه ضریب تعیین در دو مقیاس حوضه و زیرحوضه (این تفاوت در رویکرد رگرسیونی فضایی بر اساس شبکه گسترده پیکسل مبنا چشمگیر است)، به نظر می‌رسد همچون زیرحوضه شماره ۴ حوضه ناپشته‌چای، در زیرحوضه شماره ۹ حوضه ایلگینه‌چای نیز شرایط فیتوزئومورفیک خاصی حاکم است که نیازمند توجه بیشتری است. زیرحوضه معرف حوضه ایلگینه‌چای به لحاظ شدت و ضعف روابط رگرسیونی، زیرحوضه شماره ۱۲ است که از ضریب تعیین مساوی با ضریب تعیین کل حوضه ($R^2=0/31$) برخوردار است. نتایج حاصل از آماره F ، مدل‌های رگرسیونی زیرحوضه‌های حوضه ایلگینه‌چای را به ترتیب از ناکارترین تا کارترین آن‌ها نشان می‌دهد: ۱۲-۷-۸-۳-۱۳-۲-۶-۴-۱۵-۱۰-۵-۱۱-۹-۱. با این نتایج مشخص می‌شود که کمترین کارایی مدل‌های رگرسیونی به زیرحوضه شماره ۱۲ ($F=321$) تعلق داشته و در مقابل بیشترین کارایی در بین مدل‌های رگرسیونی به زیرحوضه شماره ۱ ($F=1400$) اختصاص دارد. سومین حوضه‌ای که تحلیل‌های رگرسیونی به ارائه مدل‌های رگرسیونی در زیرحوضه‌های آن انجامید، حوضه آبخیز مردانقم‌چای بود که قوی‌ترین روابط رگرسیونی فضایی را در مقیاس کل حوضه به خود اختصاص داده بود. نتایج حاصل برای زیرحوضه‌های حوضه مزبور نشان می‌دهد که بر اساس آماره R^2 ، ترتیب زیرحوضه‌ها (از پایین‌ترین تا بالاترین توان پیش‌بینی) این‌طور می‌باشد: ۱۰-۸-۹-۴-۶-۳-۵-۱-۲-۷. زیرحوضه شماره ۱۰ با ضریب تعیین $0/13$ و زیرحوضه شماره ۷ با ضریب تعیین $0/62$ ، به ترتیب پایین‌ترین و بالاترین توان پیش‌بینی مدل‌های رگرسیونی را دارا هستند. در این بین زیرحوضه شماره ۶ با ضریب تعیین مساوی با ضریب تعیین حاصل برای کل حوضه ($R^2=0/41$) شرایط میانگین داشته و معرف کل حوضه به لحاظ روابط فضایی ژئومورفولوژی با پوشش گیاهی می‌باشد. مقایسه زیرحوضه‌های حوضه مردانقم‌چای به لحاظ میزان کارایی مدل‌های رگرسیونی فضایی نشان می‌دهد که کارترین مدل رگرسیونی به زیرحوضه شماره ۲ ($F=5705$) و ناکارترین مدل به زیرحوضه شماره ۴ ($F=157$) تعلق دارد. ترتیب زیرحوضه‌ها از ناکارترین تا کارترین مدل رگرسیونی به این صورت می‌باشد: ۴-۱۰-۸-۱-۷-۹-۳-۶-۵.

در یک جمع‌بندی از نتایج فوق می‌توان گفت که شدت و ضعف روابط رگرسیونی حاصل بین پارامترهای ژئومورفومتری و فراوانی پوشش گیاهی قابل توجه بوده و با نتایج اندک محققینی چون دنگ و همکاران (۲۰۰۷)؛ و وانگ و همکاران (۲۰۱۲) که به رویکرد فضایی پیسکل مبنا در روابط بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی روی آورده‌اند، قابل مقایسه می‌باشد. نتایج این محققین نیز نشان داد که در رویکرد فضایی گسترده و پیوسته نمی‌توان به مقادیر بالای ضریب همبستگی و ضریب تعیین دست یافت که واقعیتی دور از انتظار نیست. با این حال ردگیری روابط رگرسیونی در مقیاس زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد که تفاوت زیادی بین زیرحوضه‌ها (به‌ویژه در حوضه آبخیز مردانقم‌چای) و نیز بین زیرحوضه‌های دارای بالاترین ضریب تعیین و کل حوضه بدین لحاظ مشاهده می‌شود. چنان‌چه کل یک حوضه آبخیز را به عنوان یک سیستم در نظر بگیریم، زیرحوضه‌های آن به عنوان زیرسیستم‌هایی محسوب می‌شوند که با داشتن ویژگی‌های سیستم کل، خصوصیات متفاوتی را نیز بازمی‌تابانند که ممکن است اشاره به آستانه‌ها و دامنه شرایط محیطی حاکم بر حوضه داشته باشد. در این بین بالطبع شرایط حدی و متعارفی وجود دارد که نمود آن در روابط رگرسیونی عوامل و عناصر محیطی قابل پی‌گیری است.

ضرایب تعیین پایین، بالا و متوسط در روابط رگرسیونی پارامترهای ژئومورفیک با فراوانی پوشش گیاهی به نوعی گویای این شرایط حدی و میانگین هستند. از طرفی چنین می‌نماید که شرایط ناهمگن محیطی کل حوضه در مقیاس زیرحوضه‌ها به سمت همگن‌تر شدن پیش رفته و بنابراین قابلیت تفکیک و تمایز بین واحدهای مطالعه به لحاظ روابط رگرسیونی فضایی بیشتر می‌شود. این موضوع در مطالعات آمایش حوضه‌ای و مدیریت بهینه حوضه‌های آبخیز اهمیت ویژه‌ای داشته و ممکن است اولویت‌ها و زیرالویت‌هایی را به لحاظ جغرافیایی مشخص نماید. بر اساس شدت و ضعف روابط رگرسیونی فضایی حاصل، علاوه بر این که قابلیت پیش‌بینی متغیر وابسته (فراوانی پوشش گیاهی) در سطح زیرحوضه‌ها مشخص می‌شود، می‌توان به میزان حساسیت فیتوژئومورفیک آن‌ها پی برد. این حساسیت در زیرحوضه‌هایی که از روابط نزدیک و قوی بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی برخوردارند، بیشتر بوده و به لحاظ مدیریت و حفاظت اکولوژیکی در خور توجه ویژه‌ای است. این موضوع در زیرحوضه‌های واقع در پایین دست حوضه و جایی که با دخل و تصرفات بیشتر آنتروپوژنیک مواجه هستیم، اهمیتی دوچندان می‌یابد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش قصد داشت تا با آزمون روابط فضایی بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی در حوضه‌های آبخیز ارسباران (سه حوضه ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای)، مهم‌ترین پارامترهای ژئومورفیک موثر بر توزیع فضایی پوشش گیاهی و توان و کارایی آن‌ها در تبیین تغییرات فضایی پوشش گیاهی را مشخص نماید. با توجه به این که آزمون مقیاس‌های فضایی مختلف و یافتن مقیاسی که فهم بهتری از ارتباط الگوها و فرایندهای ژئومورفیک با الگوهای پراکنش پوشش گیاهی به دست دهد، از ضروریات مطالعات در باب فیتوژئومورفولوژی است، پژوهش حاضر نگاه ویژه‌ای به این موضوع داشته و بر تفاوت‌های روابط رگرسیونی فضایی در دو مقیاس حوضه‌ای و زیرحوضه‌ای تأکید نمود. نتایج تحلیل‌های رگرسیونی فضایی نشان می‌دهد که روابط معنی‌داری بین بسیاری از پارامترهای ژئومورفیک و فراوانی پوشش گیاهی وجود دارد. در این بین برخی از پارامترهای ژئومورفیک نقش برجسته‌تر و موثرتری در تعیین تغییرات فضایی فراوانی پوشش گیاهی داشته و مدل‌های رگرسیونی آن‌ها مورد تأکید واقع شد. این متغیرها عبارت بودند از: ۱- ارتفاع ۲- شیب ۳- شاخص جهت شیب ۴- عمق دره ۵- سایه‌ناهمواری تحلیلی ۶- تحدب سطح زمین ۷- شاخص موقعیت توپوگرافی و ۸- انحناء عمومی. مجموع متغیرهای منتخب بازتاب نسبتاً کاملی از شرایط ژئومورفولوژی یک محل بوده و نه تنها رابطه بین فرم و فرایند را به طور مستقیم یا غیرمستقیم در بطن خود مستتر دارند، بلکه به عنوان نمود ویژه سایر عناصر و عوامل محیطی نیز محسوب می‌شوند. نتایج نهایی تحلیلی‌های رگرسیونی فضایی در مقیاس حوضه که حاکی از وجود قوی‌ترین روابط فضایی بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی در حوضه آبخیز مردانقم‌چای (ضریب تعیین برابر با ۰/۴۱) و در مقابل ضعیف‌ترین آن در حوضه آبخیز ناپشته‌چای (ضریب تعیین برابر با ۰/۲۲) بود، نشان می‌دهد که انطباق خوبی بین توان پیش‌بینی مدل‌های نهایی و میزان ناهمواری حوضه‌ها وجود دارد. این نتیجه نه تنها دلالت بر انتخاب درست متغیرها دارد، بلکه روابط نزدیک و درهم‌بافته شرایط ژئومورفیک با الگوی فراوانی پوشش گیاهی را در حوضه‌های آبخیز ارسباران آشکار می‌نماید. نتایج آزمون روابط رگرسیونی فضایی در مقیاس زیرحوضه نشان می‌دهد که این روابط نزدیک در مقیاس مذکور نسبت به مقیاس حوضه بهتر قابل ردگیری است. تمایز و تفاوت قابل ملاحظه زیرحوضه‌ها به لحاظ شدت و ضعف روابط فضایی بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی به فهم بهتر این روابط کمک نموده و لزوم مدیریت حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه را از نظر فیتوژئومورفیک در مقیاس زیرحوضه آشکار می‌نماید. با این واقعیات می‌توان اذعان نمود که بینش زیادی از طریق بررسی روابط بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی، هم‌زمان در مقیاس‌های چندگانه به دست می‌آید. در این راستا و از جنبه کاربردی می‌توان بر اساس شدت و ضعف روابط رگرسیونی فضایی در زیرحوضه‌های مورد مطالعه به میزان حساسیت فیتوژئومورفیک آن‌ها پی برد. این حساسیت بالطبع در زیرحوضه‌هایی که از روابط نزدیک و قوی بین ویژگی‌های ژئومورفیک و پراکنش پوشش گیاهی برخوردارند، بیشتر بوده و به لحاظ مدیریت و حفاظت اکولوژیکی در خور توجه ویژه‌ای است.

منابع

- احمدی، حسن؛ جوانشیر، کریم؛ قنبریان، غلامعباس؛ حبیبیان، سیدحمید، ۱۳۸۱، بررسی ویژگی‌های اکولوژیک جوامع گیاهی با توجه به واحدهای ژئومورفولوژی مطالعه موردی: منطقه چنار راهدار استان فارس، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۵، شماره ۱، صص ۹۴-۸۱.
- اسماعیل‌زاده، امید؛ حسینی، سیدمحسن، ۱۳۸۶، رابطه بین گروه‌های اکولوژیک گیاهی با شاخص‌های تنوع زیستی گیاهی در ذخیره‌گاه سرخدار افراتخته، مجله محیط‌شناسی، شماره ۴۳، صص ۳۰-۲۱.
- امیدوار، کمال؛ نارنگی‌فرد، مهدی؛ عباسی، حجت‌ا...، ۱۳۹۴، آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی در شهر یاسوج با استفاده از سنجش از دور، فصلنامه جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۱۶، صص ۱۲۶-۱۱۱.
- بهرامی، شهرام؛ شایسته، کامران؛ بهرامی، سجاد، ۱۳۹۲، بررسی نقش ژئومورفولوژی در تراکم پوشش گیاهی طاق‌دیس نواکوه، فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۱۴، صص ۱۰۱-۸۳.
- تقی‌پور، علی؛ رستگار، شفق، ۱۳۸۹، بررسی نقش فیزیوگرافی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: مراتع هزار جریب بهشهر- مازندران)، مجله مرتع، سال چهارم، شماره ۲، صص ۱۷۷-۱۶۸.
- حسینی، سیدمحمود؛ شفیعی، حامد؛ اختصاصی، محمدرضا؛ محتشم‌نیا، سعید، ۱۳۹۲، تاثیر خشکسالی‌ها بر تخریب پوشش گیاهی منطقه سیستان، فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۲۰، شماره ۲، صص ۲۳۹-۲۲۷.
- زارع مهرجردی، محمد؛ قدوسی، جمال؛ نوروزی، علی‌اکبر؛ لطف‌زاده، دادور، ۱۳۸۶، بررسی رابطه بین پوشش گیاهی با خاک و شکل زمین در حوزه دق فینو بندرعباس. فصلنامه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۶، صص ۱۵۰-۱۴۴.
- سلیمانی، کریم؛ شکریان، فاطمه؛ تمرتاش، رضا؛ بنی‌هاشمی، معصومه، ۱۳۸۹، تحلیل کارایی داده‌های ETM در تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های گیاهی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز وازرود)، فصلنامه سنجش از دور و GIS ایران، سال دوم، شماره ۴، صص ۸۲-۷۱.
- صحتی، محمد طاهر، ۱۳۹۵، مطالعه بیوژئومورفولوژی مناطق خشک در مقیاس واحدهای ژئومورفیک با تاکید بر پوشش گیاهی (مطالعه موردی: بخش‌های چاهورز و علامرودشت شهرستان لامرد، پایان‌نامه دکتری، به راهنمایی: احمد نوحه‌گر، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان).
- فرج‌زاده، منوچهر، ۱۳۸۶، تکنیک‌های اقلیم‌شناسی، تهران، انتشارات سمت.
- علوی‌پناه، سیدکاظم، ۱۳۸۵، بررسی تغییرپذیری طیفی پدیده‌های مختلف پوشش گیاهی و آب با استفاده از سنجش از دور، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۸، صص ۹۷-۸۱.
- قربانلی، مه‌لقا؛ حسین‌پور ثابت، زهرا؛ رضایی، محمدعلی، ۱۳۹۳، بررسی فلور و تاثیر فاکتورهای توپوگرافی بر تغییرات پوشش گیاهی منطقه حفاظت‌شده جهان‌نما (مراتع سرعلی‌آباد)، نشریه گیاه و زیست‌بوم، سال ۱۰، شماره ۴۰، صص ۳۳-۲۳.
- گویلی کیلان، ابراهیم؛ وهابی، محمدرضا، ۱۳۹۱، تاثیر برخی خصوصیات خاک بر پراکنش پوشش گیاهی مراتع زاگرس مرکزی ایران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک سال شانزدهم، شماره ۱۵، صص ۲۵۸-۲۴۵.
- مدنیان، ملیحه‌السادات؛ سفینیان، علیرضا، ۱۳۹۱، بررسی امکان پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی (مطالعه موردی: منطقه فلاورجان)، دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، ۲۶ تا ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۱، تهران، دانشگاه تهران.
- میرزایی‌زاده، وحید؛ نیک‌نژاد، مریم، ۱۳۹۲، شناسایی عوامل موثر بر کاهش پوشش جنگلی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی: منطقه جنگلی بیوره- شهرستان ملکشاهی)، نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی، جلد ۱، شماره ۲، صص ۱۰۸-۹۱.

- ولیزاده کامران، خلیل؛ مرادزاده، نسترن، ۱۳۸۳، بررسی شاخص‌های پوشش گیاهی با استفاده از اطلاعات ماهواره لندست سنجنده TM، فصلنامه فضای جغرافیایی، شماره ۱۲، ۱۴۰-۱۱۵.
- نقی‌نژاد، علیرضا؛ سیداخلاقی، سیدعباس؛ سعیدی‌مهرورز، شهریار، ۱۳۹۴، بررسی ارتباط عوامل اکولوژیک با پوشش گیاهی زیستگاه پلنگان، منطقه حفاظت‌شده آق‌داغ استان اردبیل، مجله بوم‌شناسی کاربردی، سال ۴، شماره ۱۳، صص ۴۸-۳۳.
- ولایتی، سعید...، کدیور، علی‌اصغر، ۱۳۸۵، چالش‌های زیست‌محیطی جنگل‌ها و مراتع ایران و پیامدهای آن، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۷، صص ۷۲-۵۳.
- 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:pp. 4103-4129.
- Aparna, P., Nigee, K., Shimna, P., Drissia, T.K., 2015. Quantitative analysis of geomorphology and flow pattern analysis of muvattupuzha river basin using geographic information system. *Aquatic Procedia*, 4, pp. 609 – 616.
- Bagyaraj, M., Gurugnanam, B., 2011. Significance of morphometry studies, soil characteristics, erosion phenomena and landform processes using remote sensing and gis for kodaikanal hills, a global biodiversity hotspot in western ghats, dindigul district, tamil nadu, south India. *Environmental and Earth Sciences*, 3(3), pp. 221-233.
- Band, L.E., Hwang, T., Hales, T.C., Vose, J., Ford, C., 2012. Ecosystem processes at the watershed scale: Mapping and modeling ecohydrological controls of landslides. *Geomorphology*, 137, pp. 159-167.
- Deng, T., Chen, X., Chuvieco, E., Warner, T., Wilson, J.P., 2007. Multi-scale linkages between topographic attributes and vegetation indices in a mountainous landscape, *Remote Sensing of Environment*, 111, pp. 122-134.
- Gruber, S., Peckham, S. 2009. Land-Surface Parameters and Objects in Hydrology. In T. Hengl & H. Reuter (Eds.), *Geomorphometry* (pp. 171-194). Amsterdam, Elsevier.
- Hickey, R. 2000. Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. *Cartography*, 29 (1), pp. 1 - 8.
- Hoersch, B., Braun, G., Schmidt, U., 2002. Relation between landform and vegetation in alpine regions of Wallis, Switzerland. A multiscale remote sensing and GIS approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26, pp. 113-139.
- Iverson, L.R., Dale, M.E., Scott, C.T., Prasad, A., 1997. A GIS-derived integrated moisture index to predict forest composition and productivity of Ohio forests (U.S.A). *Landscape Ecology*, 12, pp. 331-348.
- Jafari, R., 2007. Arid land condition assessment and monitoring using multispectral and hyperspectral imagery. Ph.d Thesis in Soil and Land Systems, School of Earth and Environmental Sciences, University of Adelaide, Australia. 141p.
- Jenness, J., 2006. Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x,v. 1.2. Jenness Enterprises, Available at: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
- Jenness, J., 2012. DEM Surface Tools. Jenness Enterprises, Available at: http://www.jennessent.com/arcgis/surface_area.htm.
- Kerr, J.T., Ostrovsky, M., 2003. From space to species ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology and Evolution*, 18(6), pp. 299-305.
- Khafaghi, O., Omar, K., 2012. Geographical attributes analysis for egyptian hypericum sinaicum. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 2 (6), pp. 500-514.
- Koppad, A.G., Tikhile, P., 2013. Influence of topography on spatial distribution of vegetation in Uttara Kannada district. *International Journal of Environmental Biology*, 3(3), pp. 96-99.
- 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.
- Mokarram, M., Sathyamoorthy, D., 2016. Relationship between landform classification and vegetation (case study: southwest of Fars province, Iran). *Geosciences*, 8, pp. 302-309.
- Moor, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5, pp. 3-30.

- Olaya, V., 2004. *A gentle introduction to SAGA GIS*. Free downloadable from: <http://geosun1.uni-geog.gwdg.de/saga/html/index.php>.
- Olaya, V., 2009. *Basic land-surface parameters*. In T. Hengl & H. Reuter (Eds.), *Geomorphometry* (pp. 141-169). Amsterdam, Elsevier.
- Purevdorj, T.S., Tateishi, R., Ishiyama, T., Honda, Y., 1998. *Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices*. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (18), pp. 3519-3535
- Ressler, L., 2006. *Geomorphic Controls of Spatial Pattern and Process at Alpine Treeline*. *The Professional Geographer*, 58 (2), pp. 124-138.
- 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, pp.1009–1021.
- Spadavecchia, L., Williams, M., Bell, R., Stoy, P.C., Huntley, B., VanWijk, M.T., 2008. *Topographic controls on the leaf area index and plant functional type of a tundra ecosystem*. *Ecology*, 96, pp. 1238-1251.
- Temimi, M., Leconte, R., Chaouch, N., Sukumal, P., Khanbilvardi, R., Brisette, F., 2010. *A combination of remote sensing data and topographic attributes for the spatial and temporal monitoring of soil wetness*. *Hydrology*, 388, pp. 28-40.
- Vaughan, I.P., Diamond, M., Gurnell, A.M., Hall, K.A., Jenkins, A., Milner, N., Naylor, L.A., Sear, D.A., Woodward, G., Ormerod, S.J., 2009. *Integrating ecology with hydromorphology: a priority for river science and management*. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 19, pp. 113-125.
- Vilwock, J.L., Kabrick, J.M., McNab, W.H., Dey, D.C., 2010. *Landform and terrain shape indices are related to oak site index in the missouri Ozarks*, *Proceedings of the 17th central hardwood forest conference; 2010 April 5-7, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station: 197-207*.
- Wang, Y., Hou, X., Wang, M., Wu, L., Ying, L., Feng, Y., 2012. *Topographic controls on vegetation index in a hilly landscape: a case study in the Jiaodong Peninsula, eastern China*. *Environmental Earth Sciences*, 70 (2), pp. 625-634.
- Wilson, J.P., and Gallant, J.C. 2000. *Terrain Analysis: Principles and Applications*. New York, John Wiley and Sons. 479p.