دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره‌ی ۶۳
پاییز ۱۳۹۷، صفحات ۲۴۸-۲۲۵

مرتضی قراچورلو[۱]
*فریبا اسفندیاری[۲]
علی دلال‌اوغلی[۳]

بررسی نقش پارامترهای ژئومورفولوژی در پراکنش پوشش گیاهی با استفاده از تحلیل رگرسیونی فضایی (مطالعه موردی، حوضه‌های آبخیز ارسباران: ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱

چکیده

حساسیت و شکنندگی محیط‌های کوهستانی و نقش مهم گیاهان در تعدیل مخاطراتی چون سیل، فرسایش و آلودگی منابع آب ما را بر آن می‌دارد تا از شرایط و متغیرهای ژئومورفیک مؤثر بر پوشش گیاهی در حوضه‌های آبخیز کوهستانی آگاهی یافته و در سایه این شناخت در جهت نگاهداشت و حمایت این پوشش زنده قدم برداریم. این پژوهش سعی در ارزیابی و تعیین چندوچون روابط فضایی بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی در حوضه‌های آبخیز ارسباران (سه حوضه ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای) داشت. در این راستا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و مدل رقومی ارتفاع SRTM، ۲۷ پارامتر ژئومورفومتری به‌عنوان متغیرهای مستقل و شاخص گیاهی NDVI به‌عنوان متغیر وابسته استخراج گردید. پس از نرمال‌سازی لایه‌های رستری متغیرها در دامنه صفر تا یک، آزمون روابط رگرسیونی چندمتغیره فضایی بین متغیرهای ژئومورفیک و فراوانی پوشش گیاهی انجام شد. نتایج اولیه تحلیل‌های رگرسیونی نشان داد که باوجود همبستگی‌های پایین، بسیاری از پارامترهای ژئومورفولوژی از روابط رگرسیونی معنی‌داری با پوشش گیاهی برخوردار بودند. در این بین ۸ پارامتر عمق دره، شاخص موقعیت توپوگرافی،

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی. E-mail: morchorloo@gmail.com
*۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول). E-mail: Esfandyari@
۳- گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر. E-mail: alidallaloghli@gmail.com

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ارتفاع، شیب، موقعیت دامنه، شاخص جهت شیب، تحدب سطح زمین و انحناء عمومی نقش مهم‌تری در توزیع فضایی پوشش گیاهی داشتند. نتایج نهایی تحلیل‌های رگرسیونی که به ارائه مدل‌های پیش‌بین انجامید، 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. مطابقت میزان ناهمواری حوضه‌های سه‌گانه با توان پیش‌بینی و کارایی مدل‌های رگرسیونی آن‌ها از نتایج برجسته این پژوهش بود که ضرورت توجه به پارامترهای ژئومورفومتری در تحلیل و مدل‌سازی فضایی پوشش گیاهی در چشم‌اندازهای کوهستانی ارسباران را آشکار ساخت.

کلید واژه‌ها: رگرسیون فضایی، پوشش گیاهی، پارامترهای ژئومورفومتری، ارسباران.

مقدمه

امروزه به دلیل اقدامات نابخردانه و ناآگاهانه انسان چون تخریب جنگل‌ها و مراتع، کشت و کار در نواحی پرشیب و ناپایدار، جاده‌سازی در نواحی کوهستانی، انحراف نامناسب آب‌ها، تخلیه زباله‌های صنعتی و خانگی و سدسازی غیرعلمی، با دامنه گسترده‌ای از مسائل و معضلات زیست‌محیطی در عرصه حوضه‌های آبخیز مواجه هستیم، به‌طوری‌که توجه محافل علمی و غیرعلمی جهان را معطوف خود ساخته است. در این بین حوضه‌های آبخیز کوهستانی به لحاظ عرضه مجموعه متنوعی از خدمات اکوسیستمی از یک طرف و حساسیت و شکننده بودن از طرف دیگر، به‌عنوان واحد ویژه‌ای برای مطالعه و پایش اثرات زیست‌محیطی مطرح می‌باشد. یکی از عناصر ویژه و شاید مهم‌ترین آن در حوضه‌های آبخیز کوهستانی، پوشش گیاهی در قالب فرماسیون‌های جنگلی و مرتعی است که عاملی مؤثر در جلوگیری و تعدیل پدیده‌هایی چون فرسایش، سیلاب و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی است. حفاظت و حمایت از این پایه و اساس اکوسیستم‌ها، مستلزم رویکرد نظام‌مند و آگاهی از برهم کنش میان آن‌ها و سایر عناصر محیطی است که زمینه مناسبی را برای رشد و توسعه پوشش گیاهی فراهم می‌سازند. از آن جایی که سیستم‌های ژئومورفیک و اکولوژیک در چشم‌اندازهای کوهستانی پیوند نزدیکی با یکدیگر می‌یابند (Band et al, 2012: 159) و متغیرهای ژئومورفولوژی بسیاری از متغیرهای محیطی دیگر را در این چشم‌اندازها تحت کنترل خود دارند، آگاهی از روابط پیچیده و در هم بافته اشکال و فرآیندهای ژئومورفیک با پوشش گیاهی (فیتوژئومورفولوژی) می‌تواند ما را در زمینه مدیریت بهتر و تلاش‌های حفاظتی و احیاءگرانه در اکوسیستم‌های کوهستانی یاری رساند. این آگاهی نیازمند تحلیل روابط فضایی و مدل‌سازی مکانی صحیح و علمی است. در این راستا ظهور و توسعه روزافزون دانش سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) امکان توسعه و پیاده‌سازی مدل‌های پیش‌بین در بررسی تغییرات فضایی پوشش گیاهی را فراهم ساخته است. از یک سو پیوند میان دورسنجی (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در جهت استخراج و تحلیل پارامترهای مورفومتری و لندفرمی به‌کار گرفته شده (Bagyaraj & Gurugnanam, 2011: 222; Aparna et al, 2015: 609) و از دیگر سو مطالعه گسترده وضعیت پوشش گیاهی با استفاده از دورسنجی (Solaimani et al, 2011: 72; Omidvar, 2015: 113) و به‌کارگیری

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

شاخص‌های گیاهی میسر گردیده است. در بین شاخص‌های گیاهی، شاخص تفاضلی نرمال گیاهی (NDVI) رایج‌ترین شاخص گیاهی است (Purevdorj et al, 1998: 3525; Kerr & Ostrovsky, 2003: 302; Valizadeh Kamran & Moradzadeh, 2004: 122; Jafari, 2007: 6; Hosseini et al, 2013: 236; Mohamadyari et al, 2015: 31) که با وجود سایر شاخص‌های گیاهی، هنوز هم در حال کسب توجه و اطمینان روزافزون در ارزیابی الگوهای گیاهی است (Wang et al, 2012: 626). این شاخص اشاره به تاج پوشش، فراوانی و تراکم گیاهی داشته و ارزش عددی آن بین اعداد ۱+ و ۱- در نوسان است و ثابت شده هر چه به عدد ۱+ نزدیک شود، بر میزان پوشش گیاهی افزوده می‌شود (Madanian & sefianian, 2012: 7; Mohamadyari et al, 2015: 27).

نگاهی به مطالعات در خصوص روابط فضایی پوشش گیاهی با خصوصیات توپوگرافی و ژئومورفیک نشان می‌دهد که بیش‌تر مطالعات بر تحلیل‌های آماری چندمتغیره چون تحلیل رگرسیونی و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) تکیه داشته‌اند. Deng et al (2007) طی پژوهشی، پیوندی چندمقیاسه مابین خصوصیات توپوگرافی و شاخص‌های گیاهی NDVI و NDII در چشم‌اندازهای کوهستانی سانتامونیکای کالیفرنیا برقرار ساختند. نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که متغیرهای ارتفاع، شیب و جهت جنوب در زمره مؤثرترین خصوصیات توپوگرافیک بود. Spadavecchia et al (2008) به بررسی اثر توپوگرافی بر روی شاخص گیاهی سطح برگ (LAI) در اکوسیستم توندرای شمال سوئد پرداختند. نتایج کار نشان داد که مقادیر بالای LAI با محل‌های پناهگاهی، ارتفاعات پایین یا مناطق پرشیب همراه بوده و در مقابل، مقادیر پایین آن با موقعیت‌های توپوگرافی روباز بر روی سطوح هموار و در ارتفاعات بالاتر همراه بود. Wang et al (2012) اثر عوامل توپوگرافی را بر تغییرات فضایی و زمانی شاخص گیاهی NDVI در شبه جزیره جیائودونگ واقع در شرق چین مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که ۳۸/۳ درصد واریانس NDVI توسط متغیرهای ژئومورفومتری قابل تبیین است. Koppad & Tikhile (2013) اثر عوامل توپوگرافی بر پراکنش فضایی پوشش گیاهی را در ناحیه اوتاراکانادا هندوستان مطالعه نمودند. نتایج حاصل نشان داد که مقادیر NDVI با افزایش ارتفاع تا ٦٢٥ متری افزایش یافته ولی از آن به بعد تا ۸۷۵ متری که بیش‌ترین میزان ارتفاع منطقه بود، کاهش نشان داد. به علاوه، دامنه‌های جنوب‌شرقی متراکم‌ترین پوشش گیاهی را داشت. Mokarram & Sathyamoorthy (2016) جهت مدل‌سازی روابط میان لندفرم‌ها و پوشش گیاهی در جنوب‌غرب استان فارس از تحلیل روابط میان شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) و شاخص گیاهی NDVI بهره جسته و به این نتیجه رسیدند که در کل همبستگی مثبت و معنی‌داری بین NDVI و لندفرم‌ها (r = 0/64) وجود داشت.

Cadol & Wine (2017) طی پژوهشی در خصوص نقش محیط ژئومورفیک در پیوستگی اکوهیدرولوژی منطقه رودکناری در نیومکزیکوی آمریکا دریافتند که متغیرهای ژئومورفیک عرض دره، شیب دره و انحناء توپوگرافی تأثیر قابل‌توجهی بر رطوبت لازم جهت توسعه پوشش گیاهی داشته و مناطق کوهستانی و پرشیب و نزدیک آبراهه‌ها از پوشش گیاهی سبزتری برخوردار بودند. Ahmadi et al (2002) در بررسی ارتباط پراکنش جوامع گیاهی با واحدهای ژئومورفولوژی در منطقه چنار راهدار استان فارس به این نتیجه رسیدند که انبوهی پوشش گیاهی تابع

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

شیب و جهت می‌باشد. Zaremehrjardi et al (2007) طی پژوهشی به وجود همبستگی مستقیم مثبت بین درصد پوشش گیاهی، ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب دست یافتند. Taghipour & Rastgar (2010) طی مطالعه‌ای در خصوص نقش عوامل فیزیوگرافی بر روی تراکم و درصد تاج پوشش گیاهی در مراتع هزار جریب بهشهر پی بردند که رابطه مستقیمی بین ارتفاع و درصد پوشش گیاهی و در مقابل رابطه معکوسی بین شیب و درصد پوشش گیاهی وجود دارد. همچنین درصد پوشش گیاهی و تراکم در شیب‌های شمالی و غربی بیش‌تر از شیب‌های جنوبی بود. Bahrami et al (2014) به بررسی نقش ژئومورفولوژی در تراکم پوشش گیاهی در طاقدیس نواکوه واقع در جنوب‌شرق شهر سرپل ذهاب پرداختند. نتایج هم‌پوشانی لایه‌ها نشان داد که رده جنگل کم‌تراکم بیش‌تر منطبق بر دامنه جنوب‌غربی و رده جنگلی نسبتا متراکم منطبق بر دامنه شمال‌شرقی است.

Ghorbanli et al (2015) در بررسی تأثیر عوامل توپوگرافی و ادافیک بر تغییرات پوشش گیاهی منطقه حفاظت شده جهان‌نما واقع در جنوب شهرستان گرگان از برقراری روابط رگرسیونی چندمتغیره به روش گام‌به‌گام بهره جستند. نتایج ایشان نشان داد که با افزایش ارتفاع و درصد شیب، درصد تاج پوشش گیاهی کاهش می‌یابد. Naqinezhad et al (2015) شرایط محیطی مؤثر بر پراکنش گیاهی زیستگاه پلنگان واقع در منطقه حفاظت‌شده آق‌داغ استان اردبیل را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که متغیرهای ارتفاع و شیب به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پوشش گیاهی منطقه مطرح می‌باشند. در کل مطالعات در خصوص روابط مکانی ژئومورفولوژی با پوشش گیاهی نشان می‌دهد که اولاً شمار اندکی از آن‌ها از تحلیل رگرسیونی فضایی بر اساس داده‌های پیوسته رستری سود جسته و بیش‌ترشان بر داده‌های گسسته برداری و نمونه‌گیری‌های پراکنده و نقطه‌ای تکیه داشته‌اند. از طرفی آزمون روابط فضایی بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی بر اساس متغیرهای مستقل چندی چون ارتفاع، شیب و جهت شیب بوده و در بیش‌تر تحقیقات از پارامترهای ژئومورفومتری متعددی که امروزه تحت موضوع «تحلیل سطح زمین»[4] اهمیت زیادی در علوم زمین یافته است، چشم‌پوشی شده است. این خلأ رویکردی به‌ویژه در تحقیقات داخل کشور کاملاً محسوس هست؛ بنابراین در وهله اول ضرورت روش‌شناختی پیش می‌آید که روابط فوق در فضای پیوسته محیطی و با تکیه بر متغیرهای ژئومورفیک گوناگون پیگیری شود. در وهله بعدی به لحاظ جغرافیای زیستی نیز ضرورتی مطرح شد تا حوضه‌های آبخیز ارسباران به لحاظ فیتوژئومورفیک مورد مطالعه قرار گیرد. حوضه‌های آبخیز کوهستانی منطقه ارسباران واقع در شمال‌غرب کشور در بردارنده اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی ارزشمندی هستند که حافظ ذخایر هنگفت تنوع زیستی و گونه‌های کمیاب می‌باشد. این پژوهش به دنبال آن است که تغییرات فضایی پوشش گیاهی را در ارتباط با تغییرات فضایی ژئومورفیک مورد بررسی قرار داده و تبیین نماید. در این راستا نتایج کار می‌تواند پاسخ این سؤالات را معلوم سازد که: ۱- آیا می‌توان به مدل پیش‌بین فراوانی پوشش گیاهی بر اساس پارامترهای ژئومورفیک دست‌یافت؟ ۲- کدام پارامترهای ژئومورفیک نقش مؤثرتری در تعیین تغییرات فضایی پوشش گیاهی دارند؟

4- Terrain Analysis

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

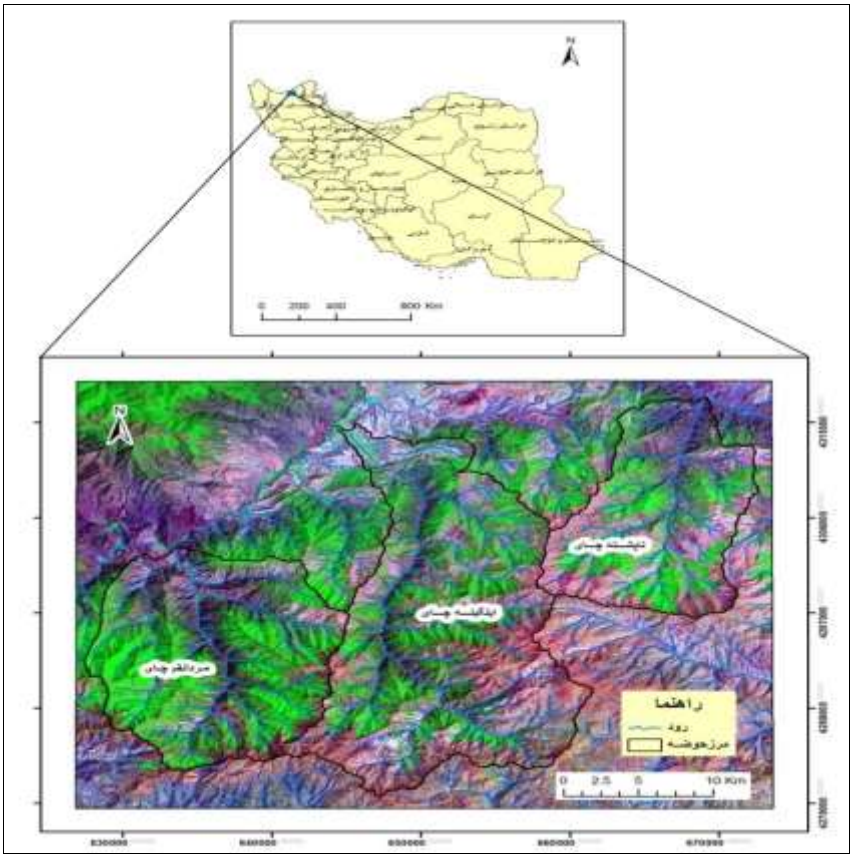
محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل محدوده حوضه‌های آبخیز ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای است که در شمال‌غرب کشور و منطقه ویژه‌ای به نام ارسباران واقع شده‌اند (شکل ۱). حدود جغرافیایی حوضه‌ها به‌ترتیب از راست به چپ به شرح زیر است:

۱- حوضه آبخیز ناپشته‌چای (به مساحت ۲۰۰ کیلومترمربع): عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ٤٨ دقیقه و ۲ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۵۹ دقیقه و ۳٦ ثانیه ـ طول جغرافیایی ٤٦ درجه و ٤۹ دقیقه و ۱۸ ثانیه تا ٤٦ درجه و ۵۹ دقیقه و ۲۰ ثانیه.

۲- حوضه آبخیز ایلگینه‌چای (به مساحت ٤۰۸ کیلومترمربع): عرض جغرافیای ۳۸ درجه و ۳۹ دقیقه و ۲ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۵۸ دقیقه و ۲۰ ثانیه – طول جغرافیایی ٤٦ درجه و ۳۷ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ٤٦ درجه و ۵۱ دقیقه و ۲۲ ثانیه.

۳- حوضه آبخیز مردانقم‌چای (به مساحت ۲۷۳ کیلومترمربع): عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ٤۰ دقیقه و ۲۹ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۵۲ دقیقه و ۷ ثانیه – طول جغرافیایی ٤٦ درجه و ۲۸ دقیقه و ۹ ثانیه تا ٤٦ درجه و ٤۰ دقیقه و ۹ ثانیه.



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

حوضه‌های سه‌گانه مذکور جزو حوضه آبریز بزرگ ارس محسوب شده و جریان‌های سطحی آن‌ها در نهایت وارد رود ارس می‌شود. منطقه ارسباران با داشتن اقلیم نیمه‌خشک و نیمه مرطوب از بارندگی‌های ۳۰۰ تا ٦۰۰ میلی‌متری

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

منتفع می‌شود. به لحاظ زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه از رخساره‌های دگرگونی پره‌کامبرین گرفته تا رسوبات و آبرفت‌های پادگانه‌ای جدید کواترنری دیده می‌شود. با این حال غلبه با واحدهای سنگ‌شناسی متعلق به دوره کرتاسه بوده و گدازه‌های جریانی آندزیتی و آهک‌های ریفی و خاکستری مربوط به این دوره گسترش بیش‌تری در منطقه یافته‌اند. 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.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به لحاظ هدف از نوع کاربردی و از نظر روش از نوع همبستگی است. رویکرد پژوهش حاضر بر تحلیل رگرسیونی فضایی بین پارامترهای ژئومورفومتری (متغیر مستقل) و فراوانی (درجه انبوهی) پوشش گیاهی (متغیر وابسته) بر اساس مقادیر شاخص تفاضلی نرمال گیاهی (NDVI) استوار می‌باشد ابزار پژوهش شامل تصویر ماهواره لندست و داده رادار ارتفاع‌سنج از نوع SRTM بود. از آن جایی که انتخاب درست و دقیق تصاویر دورسنجی اهمیت ویژه‌ای دارد، به همین دلیل از بین تصاویر مختلف ماهواره لندست، سعی گردید از تصویری برای استخراج شاخص گیاهی استفاده شود که علاوه بر وضعیت خوب پوشش گیاهی، از اثرات اتمسفری و پوشش ابری اندکی برخوردار باشد. در نهایت، تصویر سنجنده TM به تاریخ ۱۰ ژوئن سال (۲۰۱۱) انتخاب گردید. جهت تصحیح اتمسفری از روش Dark Subtraction در محیط نرم‌افزاری Envi بهره گرفته شد. در انتخاب مدل رقومی ارتفاعی (DEM) جهت استخراج پارامترهای ژئومورفومتری سعی شد از تصویری استفاده گردد که در تطبیق با تصویر ماهواره لندست از قدرت تفکیک ۳۰ متر برخوردار بوده و کیفیت مطلوبی داشته باشد. جهت تطبیق موقعیت جغرافیایی، تصویر ماهواره‌ای لندست بر اساس این 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. پس از انجام تصحیحات رادیومتری 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. به جهت این‌که استخراج متغیرها در فضای رستری بر اساس روابط همسایگی است، ابتدا هر یک از لایه‌های اطلاعاتی مربوط به متغیرها در محدوده بزرگ‌تر که شامل سه حوضه مزبور بود (شکل ۱)، تهیه شده و سپس لایه‌های رستری برای هر حوضه از لایه بزرگ‌تر برش داده شد. انتخاب پارامترهای ژئومورفیک بر اساس پیشینه موضوعی تحقیق و احتمال ارتباط بیش‌تر با متغیر وابسته بود که در این راستا به جهت دخیل کردن ۲۷ متغیر مستقل، از رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام جهت دست‌یابی به مؤثرترین متغیرها استفاده شد. متغیرهای مزبور و شرح آن‌ها در (جدول ۱) آورده شده است. با توجه با مقیاس و دامنه متفاوت متغیرها لازم آمد تا یک همسان‌سازی در مقیاس صورت گیرد. این امر از طریق روش نرمال‌سازی داده‌ها در دامنه صفر تا یک و با استفاده از فرمول زیر عملی شد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

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

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

- رگرسیون گام‌به‌گام

در این روش متغیرهای مستقل از مهم‌ترین متغیر تا کم‌اهمیت‌ترین آن‌ها به‌صورت مرحله‌ای وارد مدل می‌شوند. معیار میزان اهمیت متغیر در مدل را نیز مقدار سطح معنی‌داری یا آماره F متناظر با آن‌که در جدول‌های آزمون معنی‌داری وجود دارند، تعیین می‌کند. در واقع در این روش متغیرها به‌ترتیب وارد معادله می‌شوند، ولی با ورود هر متغیر جدید، کلیه متغیرهای موجود در معادله مورد بررسی قرار می‌گیرند، اگر هرکدام از آن‌ها سطح معنی‌داری خود را از دست داده باشند، قبل از ورود متغیر جدید، این متغیر از معادله خارج می‌شود، به‌طوری که در پایان عملیات، هر متغیری که سطح معنی‌داری کم‌تری از سطح تعیین شده داشته باشد، در معادله حضور نخواهد داشت (Farajzadeh, 2007: 88). کاربست رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام در فضای پیوسته پیکسل مبنا به کمک نرم‌افزار تحلیل فضایی SAGA صورت گرفت. در ضمن سطح معنی‌داری روابط رگرسیونی برابر با ۰/۰۱ در نظر گرفته شد.

جدول ۱- پارامترهای ژئومورفومتری دخیل در روابط فضایی ژئومورفولوژی با پوشش گیاهی همراه با شرح آن‌ها

ردیف	پارامتر	نماد	شرح	منبع
۱	جهت شیب برگردان شده	ta	تبدیل خطی جهت شیب با دامنه صفر (جنوب‌غرب) تا ۲ (شمال‌شرق) $TA = Cos(45 - Aspect) + 1$	Vilwock et al. (2010)
۲	شرقی بودن	E	تبدیل خطی جهت شیب به دو قسمت شرقی (مقدار ۱+) و غربی (مقدار ۱-) $eastness = \sin(aspect)$	Rodriguez-Moreno & Bullock (2014)
۳	شمالی بودن	N	تبدیل خطی جهت شیب به دو قسمت شمالی (مقدار ۱+) و جنوبی (مقدار ۱-) $northness = \cos(aspect)$	Rodriguez-Moreno & Bullock (2014)
٤	شیب	S	آهنگ تغییر ارتفاع در جهت پرشیب‌ترین سرازیری	Wilson & Gallant (2000)
٥	ارتفاع از سطح دریا	H	-	-
٦	فاصله از آبراهه	d-st	فاصله اقلیدسی از نزدیک‌ترین آبراهه	-
۷	موقعیت دامنه	s-p	شاخص موقعیت توپوگرافی که دامنه را به شش طبقه تقسیم می‌نماید: ۱- دره (valley) ۲- پنجه دامنه (toeslope) ۳- سکو (flat) ٤- میانه دامنه (midslope) ٥- بالادست دامنه (upperslope) و ٦- ستیغ (ridge)	Jennes (2006)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ۱- پارامترهای ژئومورفومتری دخیل در روابط فضایی ژئومورفولوژی با پوشش گیاهی همراه با شرح آن‌ها

ردیف	پارامتر	نماد	شرح	منبع
۸	شاخص همگرایی توپوگرافی	tci	میزان همگرایی یا واگرایی سطح توپوگرافی بر اساس فرمول زیر: TCI = Ln(flowaccmulation+1) / (tan(((slope)3.141593) / 180))) که در آن flowaccmulation عبارت از تجمع جریان بوده و slope عبارت از شیب به درجه است.	-
۹	شاخص موقعیت توپوگرافی	tpi	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، درحالی‌که مناطق مسطح از مقادیری نزدیک به صفر برخوردارند.	Agren et al. (2014)
۱۰	تجمع جریان	f-ac	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.	Iverson et al. (1997)
۱۱	انحناء مسطح	pl-c	انحناء در طول خط تقاطع سطح مزبور با صفحه XY. مقادیر مثبت اشاره به تحدب سطح (واگرایی جریان) و مقادیر منفی اشاره به تقعر سطح (همگرایی جریان) دارد.	Jenness (2012)
۱۲	انحناء پروفیل	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) است.	Jenness (2012)
۱۳	انحناء مقطع عرضی	cr-c	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 تقعر سطح (همگرایی جریان) دارد.	Jenness (2012)
۱٤	انحناء طولی	lo-c	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.	Jenness (2012)
۱۵	انحناء تانژانت	ta-c	انحناء در طول خط متعامد بر خط پرشیب‌ترین گرادیان. مقادیر مثبت دلالت بر تحدب سطح (واگرایی جریان) و مقادیر منفی دلالت بر تقعر سطح (همگرایی جریان) دارد.	Jenness (2012)
۱٦	انحناء عمومی	ge-c	این انحناء مقیاسی از تحدب چشم‌انداز است. سطوح محدب، مقادیر مثبت؛ سطوح مقعر، مقادیر منفی؛ و سطوح هموار، مقدار صفر می‌گیرد.	Jenness (2012)
۱۷	شاخص همگرایی	ci	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.	Olaya (2004)
۱۸	فاکتور طول دامنه	ls	این فاکتور با استفاده از اجزاء مساحت ویژه حوضه (A_s) و زاویه شیب (β) و از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود که در آن n=0.4 و m=1.3. $L_s = (n+1)\left(\frac{A_s}{22.13}\right)^n \left(\frac{\sin b}{0.0896}\right)^m$	Moor et al. (1991)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

یافته‌ها و بحث

نتایج حاصل از اجرای روش رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام در سه بخش ارائه شد: ضرایب رگرسیونی، گام‌های رگرسیونی و مدل رگرسیونی.

الف- ضرایب رگرسیونی متغیرهای مستقل

نتایج این بخش که در (جداول ۲ تا ٤) گنجنده شد، نشان داد که باوجود معنی‌دار بودن روابط میان متغیرهای مستقل و وابسته، همبستگی بیش‌تر پارامترهای ژئومورفیک با انبوهی پوشش گیاهی ضعیف می‌باشد. مقدار پایین ضریب همبستگی پارامترهای ژئومورفیک با فراوانی پوشش گیاهی با توجه به رویکرد پیکسل مبنای اعمال شده در روابط فضایی رگرسیونی دور از انتظار نبوده و عوامل مختلفی می‌تواند در این امر دخیل باشد.

جدول ۲- ضرایب رگرسیونی مربوط به متغیرهای پیش‌بین در حوضه آبخیز ناپشته‌چای

ردیف	متغیر مستقل	ضریب رگرسیون (b)	ضریب همبستگی (R)	ضریب تعیین (R^2)	اشتباه استاندارد برآورد (SE)
۱	vd	-۲/۵۸۵۸٤۲	-۰/۱۷۹	۰/۰۳۲	۰/۰۳۰
۲	H	-۲/۷۳۸٤۵۱	-۰/۱٤٦	۰/۰۲۹	۰/۰۳۳
۳	tpi	-۰/۸۵۰۳۳۷	-۰/۱٤٦	۰/۰۲۱	۰/۰۱۲
٤	s-p	۰/۰۷۳٤۹۳	۰/۰۹۸	۰/۰۱۰	۰/۰۰۲
۵	S	۰/۱٤۸٦۹۳	۰/۰٤۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰٦
٦	ls	۰/۲۰۳٦۱۱	۰/۰۳۸	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱
۷	fpl	۰/۱۳۰۱۲۱	۰/۰۷٤	۰/۰۰٦	۰/۰۰٤
۸	ta	۰/۰۳۰۱٤	۰/۰۵۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
۹	ta-c	۰/۱۲۳٦۸۱	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰	۰/۰۱۳
۱۰	tsc	۰/۰۵۱۸۰۵	۰/۰۳۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
۱۱	mrn	۰/۰۹۲۳۳٤	۰/۰۲۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸
۱۲	ci	۰/۱٤۵۱۲۷	۰/۰۳۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸
۱۳	fw	-۰/۰٦۷۰۱	-۰/۰۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵
۱٤	twi	-۰/۰۷۰۱۱۳	-۰/۰۱۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۸
۱۵	ca	۰/۱۳۸۷۸۵	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰	۰/۰۲۰
۱٦	f-ac	۰/۰۹۱۳۳۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰	۰/۰۱۵
۱۷	lo-c	-۱/۱۸۵۱۷٦	-۰/۰۲۲	۰/۰۰۰	۰/۱۱۲
۱۸	pr-c	۰/٤۸۲۰۹٤	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰	۰/۰٤۹
۱۹	sl	-۰/۰٦۲۹۰٤	-۰/۰۰۹	۰/۰۱٤	۰/۰۰۸
۲۰	pl-c	۰/۲۸۹۳۱۲	۰/۰۰٦	۰/۰۰۰	۰/۰۹۹

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۳- ضرایب رگرسیونی مربوط به متغیرهای پیش‌بین در حوضه آبخیز ایلگینه‌چای

ردیف	متغیر مستقل	ضریب رگرسیون (b)	ضریب همبستگی (R)	ضریب تعیین (R^2)	اشتباه استاندارد برآورد (SE)
۱	S	۰/۳۷۷۶۳٤	۰/۱۱۹	۰/۰۱٤	۰/۰۰۵
۲	tpi	-۰/۹۹۱۳۰۱	-۰/۲٤۳	۰/۰۵۹	۰/۰۰٦
۳	s-p	۰/۰٦۸٤۲۹	۰/۱۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱
٤	tsc	۰/۲۱۱۷۸	۰/۱۱۰	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱
۵	H	-۱/٦۲٤۷۸۷	-/۲۰۹	۰/۰٤٤	۰/۰۱۱
٦	vd	-۰/۳۲٤۷۱	-۰/۱۹۵	۰/۰۳۸	۰/۰۱۰
۷	ta	۰/۰٤۳۳۹۹	۰/۰۸۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱
۸	ge-c	۰/۵۱۲۲۷۱	۰/۰۱٤	۰/۰۰۰	۰/۰۵۵
۹	fw	-۰/۱۲۵۸۸۵	-۰/۰۵۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
۱۰	pl-c	۱/۵۳۰۰۹۸	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰	۰/۱۱٤
۱۱	fpl	۰/۰۵٤۵٦۸	۰/۰۳۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
۱۲	ls	-۰/۲۰۵۸۸۲	-۰/۰۲۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱۲
۱۳	spi	۰/۱٤۵۱۸۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۲
۱٤	ci	۰/۰۸٦۷۲۵	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۷
۱۵	d-st	۰/۰۱۳٦۳۳	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲
۱٦	sl	-۰/۰۷۹٦۵٦	-۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۹
۱۷	ca	۰/۱۱۰٤٦۸	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۵
۱۸	mrn	۰/۰۳۲۵۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵
۱۹	pr-c	۰/۰۹۵٦٦	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۲٦
۲۰	ta-c	-۰/۱۹۲۲۹۳	-۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۳۸
۲۱	E	۰/۰۰۲٤۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
۲۲	cr-c	۰/۱٤۷۵۱۲	۰/۰۰٤	۰/۰۰۰	۰/۰٤۸
۲۳	tci	-۰/۰۱٦۵۰۳	-۰/۰۰٦	۰/۰۰۰	۰/۰۰٤
۲٤	f-ac	۰/۰۳٦۹۲۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۱۰
۲۵	N	۰/۰۰۱۵۸۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ٤– ضرایب رگرسیونی مربوط به متغیرهای پیش‌بین در حوضه آبخیز مردانقم‌چای

ردیف	متغیر مستقل	ضریب رگرسیون (b)	ضریب همبستگی (R)	ضریب تعیین (R^2)	اشتباه استاندارد برآورد (SE)
۱	vd	−۲/۹٦۰٤۳۱	−۰/۲٥۹	۰/۰٦۷	۰/۰۲۰
۲	tpi	−۰/۹۷۸۸٦۸	−۰/۱٦۰	۰/۰۲٦	۰/۰۱۱
۳	H	−۲/٦۹۱۷۳٤	−۰/۲۱٥	۰/۰٤٦	۰/۰۲۲
٤	ta	۰/۰٥۲۹٤۱	۰/۰۹۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱
٥	ge-c	۱/۳٦۰٥۳	۰/۰۳۰	۰/۰۰۱	۰/۰۸۰
٦	ls	−۰/۲۷۷۹۳۷	−۰/۰۲۱	۰/۰۰۰	۰/۰۲۳
۷	tsc	۰/۱٥۹٥۳٤	۰/۰۷۷	۰/۰۰٦	۰/۰۰٤
۸	d-st	−۰/۰۷۱۱۲۸	−۰/۰٤٦	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
۹	s-p	۰/۰۳۹۷٤۹	۰/۰٥٦	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
۱۰	f-ac	۰/۳٥۲٦۱۷	۰/۰۳۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲۰
۱۱	pr-c	۰/۳۸۷٥٤٥	۰/۰۲٥	۰/۰۰۱	۰/۰۲۷
۱۲	fpl	۰/۰٦۲٥۷۷	۰/۰۳٦	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
۱۳	S	۰/۲٦۹٦۲۸	۰/۰٥۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹
۱٤	twi	۰/۲۷٤٥۳	۰/۰٤۷	۰/۰۰۲	۰/۰۱۰
۱٥	ci	۰/۱۸۱۷۱۱	۰/۰۳٤	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹
۱٦	cr-c	−۰/٥۸۳۲۲۲	−۰/۰۲۳	۰/۰۰۱	۰/۰٤٥
۱۷	fw	−۰/۰٥۰۳۱٥	−۰/۰۲۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰٤
۱۸	pl-c	۱/٤٥۲۷۷۷	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰	۰/۱٤۲
۱۹	spi	۰/۲۳۰۹۳۲	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۰
۲۰	mrn	۰/۰۸۱۱۹۹	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۸
۲۱	sl	−۰/۱۱٦٤۳۱	−۰/۰۱۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰٦
۲۲	tci	۰/۰۲۲۲٦۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰٦

با در نظر گرفتن اشتراک سه حوضه در روابط همبسته مثبت یا منفی یک متغیر، می‌توان اثرات متغیرهای مستقل را در قالب دو گروه «همبستگی مثبت» و «همبستگی منفی» تبیین نمود. متغیرهای مستقلی که از همبستگی مثبتی با متغیر وابسته برخوردار بودند، عبارت‌اند از: شیب، جهت شیب برگردان شده، موقعیت دامنه، تحدب سطحی زمین، انحناء مسطح، انحناء پروفیل، شاخص همگرایی، طول مسیر جریان، انباشت جریان، عدد ناهمواری ملتون. گرچه

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

برخی از این پارامترها یک متغیر ژئومورفیک نشانگر فرم سطح زمین محسوب می‌شوند، با این‌حال بیش‌تر این متغیرها اشاره به فرآیندهای هیدروژئومورفیکی دارند که ممکن است رشد و گسترش پوشش گیاهی را تحت کنترل خود داشته باشند.

متغیر شیب (S) یکی از مهم‌ترین متغیرهایی است که بیش‌تر محققان به اثرگذاری قابل‌توجه 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 Deng et al (2007)؛ Zaremehrjardi et al (2007)؛ Spadavecchia et al (2008)؛ Cadol and Wine (2017) بوده و می‌تواند به سرسبزی و سالم ماندن پوشش گیاهی در دامنه‌های پرشیب اشاره داشته باشد. در مقابل محققانی چون Taghipour & Rastgar (2010)؛ Ghorbanli et al (2015) به رابطه معکوس میزان شیب با تراکم پوشش گیاهی دست یافتند. هرچند 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. از طرفی بایستی دانست که این حوضه‌ها کوهستانی بوده و سطوح شیب‌دار در آن‌ها حاکمیت دارد. پارامتر جهت شیب یکی دیگر از عناصر مهم در پراکنش پوشش گیاهی است که از طریق اثرش بر توپوکلیمای محلی، بیلان رطوبی را تحت کنترل داشته و تفاوت‌های بیلان رطوبی ناشی از جهت دامنه نیز عموماً در نوع و تراکم پوشش گیاهی بازتاب می‌یابد (Churchill, 1982: 175). در اینجا رابطه مثبت جهت شیب برگردان شده (ta) با وفور پوشش گیاهی اشاره به این دارد که جهت شمال‌شرقی نسبت به سایر جهات دامنه از پوشش گیاهی انبوه‌تری برخوردار است. این واقعیت در ارتباط با ترازهای بالای رطوبت در جهات شمال‌شرقی (Iverson et al, 1997: 335; Khafaghi and Omar, 2012: 507) است که فرآیندهای بیوفیزیکی و به‌ویژه بیوشیمیایی را تقویت می‌نماید. Bahrami et al (2014) نیز به نتیجه مشابهی دست یافتند. در مقابل نتیجه حاصل با نتایج Koppad and Tikhile (2013) مطابقت ندارد. موقعیت دامنه (s-p) شاخصی است که یک دامنه را از پایین‌دست تا بالادست آن به شش طبقه تقسیم نموده و به‌ترتیب نمرات ۱ تا ٦ 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 برخلاف 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. بالطبع این امر نتایج حاصل از پارامتر مزبور را با اشکال مواجه می‌سازد.

در خصوص پارامتر تحدب سطحی زمین (tsc) با این‌که 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. دور ماندن برآمدگی‌ها از فرآیندهای فرسایش جریانی تمرکز یافته در نقاط گود و همگرا می‌تواند عاملی مؤثر در جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی باشد. البته چنان‌چه عامل انسانی را هم در نظر

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

بگیریم، کاهش دسترسی به سطوح برآمده و کوژ مزید بر علت بوده و ممکن است بر وجوه تبیینی این مسئله بیفزاید. پارامتر انحناء مسطح (pl-c) یکی از پرکاربردترین انواع انحناءهای توپوگرافی است. مقادیر مثبت این پارامتر دلالت بر سطوح محدب (واگرایی جریان) و مقادیر منفی آن دلالت بر سطوح مقعر (همگرایی جریان) دارد. همبستگی مثبت این متغیر با فراوانی پوشش گیاهی را می‌توان به‌نوعی در همخوانی با نتیجه متغیر tsc قرار داد. فرق آن با متغیر tsc در این است که pl-c نمایش جزئی‌تر و مفصل‌تری از نقاط همگرا و واگرا ارائه داده و خطوط همگرا و واگرا در آن کاملاً مشخص است. درحالی‌که پارامتر tsc نمایش عمومی‌تر و کلی‌تری ارائه داده و متمایزگر دقیق ستیغ‌ها و تالوگ‌ها نیست. Deng et al (2007) نیز به وجود رابطه مثبت بین انحناء مسطح و شاخص گیاهی NDVI دست یافتند. یکی دیگر از انواع پرکاربرد انحناء در تحقیقات فیتوژئومورفولوژی، انحناء پروفیل (pr-c) است. این انحناء برعکس انحناء مسطح که برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها را در پهنای دامنه مشخص می‌سازد، شاخصی از تقعر/تحدب دامنه در طول آن می‌باشد. مقادیر بالا و مثبت آن اشاره به کندی جریان و مقادیر پایین و منفی آن اشاره به تسریع جریان دارد. رابطه مثبت این پارامتر با فراوانی پوشش گیاهی را می‌توان به انباشت رطوبت و مواد مغذی در قسمت‌های گود و فروافتاده دامنه نسبت داد. در مقابل قسمت‌های کوژ و برآمده نیمرخ دامنه ممکن است به‌واسطه فرایندهای برداشت و حمل مواد ناشی از تسریع جریان (رواناب) با توسعه کم پوشش گیاهی همراه باشند. در اینجا ذکر این نکته ضروری است که به لحاظ مقیاس تحدب، شاخص انحناء پروفیل جزئی‌تر از شاخص تحدب سطحی زمین (tsc) است که میزان تحدب را در هر جهتی می‌سنجد. از طرفی شاخص tsc تنها نشانگر تحدب (و نه تقعر) سطح زمین بوده و با شاخص انحناء پروفیل قابل قیاس نیست.

اما شاخص همگرایی (ci) پارامتری است که شرایط توأم ژئومورفولوژیک و هیدرولوژیک را بازتابانده و می‌توان آن را یک متغیر هیدروژئومورفیک برجسته به شمار آورد. رابطه همبسته مثبت حاصل بین شاخص همگرایی و فراوانی پوشش گیاهی بیانگر این واقعیت است که سطوح واگرا در مقابل سطوح همگرا از پوشش گیاهی انبوه‌تری برخوردارند. این نتیجه علاوه بر این‌که با اثر پارامتر انحناء مسطح مشابه بوده است، از جهاتی با اثر پارامتر تحدب سطحی زمین (tsc) قرابت داشته و حاکی از افزایش فراوانی پوشش گیاهی در سطوح مابین نقاط گود و تالوگ‌ها یعنی میاناب‌ها دارد. با این‌که نقاط همگرای جریان ممکن است به‌واسطه بروز گسیختگی‌های دامنه‌ای طبیعی و نیز آشفتگی سیلاب باعث کاهش تراکم پوشش گیاهی شود، اما نتایج ترکیبی این سه پارامتر (tsc، pl-c، ci) که حاکی از انبوهی بیش‌تر پوشش گیاهی در سطوح محدب تپه‌ها، میاناب‌ها و ستیغ‌هاست را می‌توان هم به تابش دریافتی بیش‌تر این سطوح و هم به رخنه کم‌تر عوامل آنتروپوژنیک به این پهنه‌ها نسبت داد. طول مسیر جریان (fpl) پارامتر جالبی است که به‌نوعی اثر پارامترهای دیگر (متغیرهای دارای همبستگی مثبت با فراوانی پوشش گیاهی) را با خود به همراه داشته و می‌تواند به‌عنوان نمود ویژه‌ای از در هم بافتگی اثرات ژئومورفیک مطرح باشد. بالطبع افزایش طول جریان می‌تواند با افزایش در دسترس‌پذیری رطوبت و حمل مواد مغذی لازم برای گیاهان همراه باشد. از طرفی اثر ارزشمند و مهم افزایش طول مسیر جریان را می‌توان در افزایش پیوستگی و تداوم شرایط اکوهیدرولوژیکی آبراهه‌ها

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

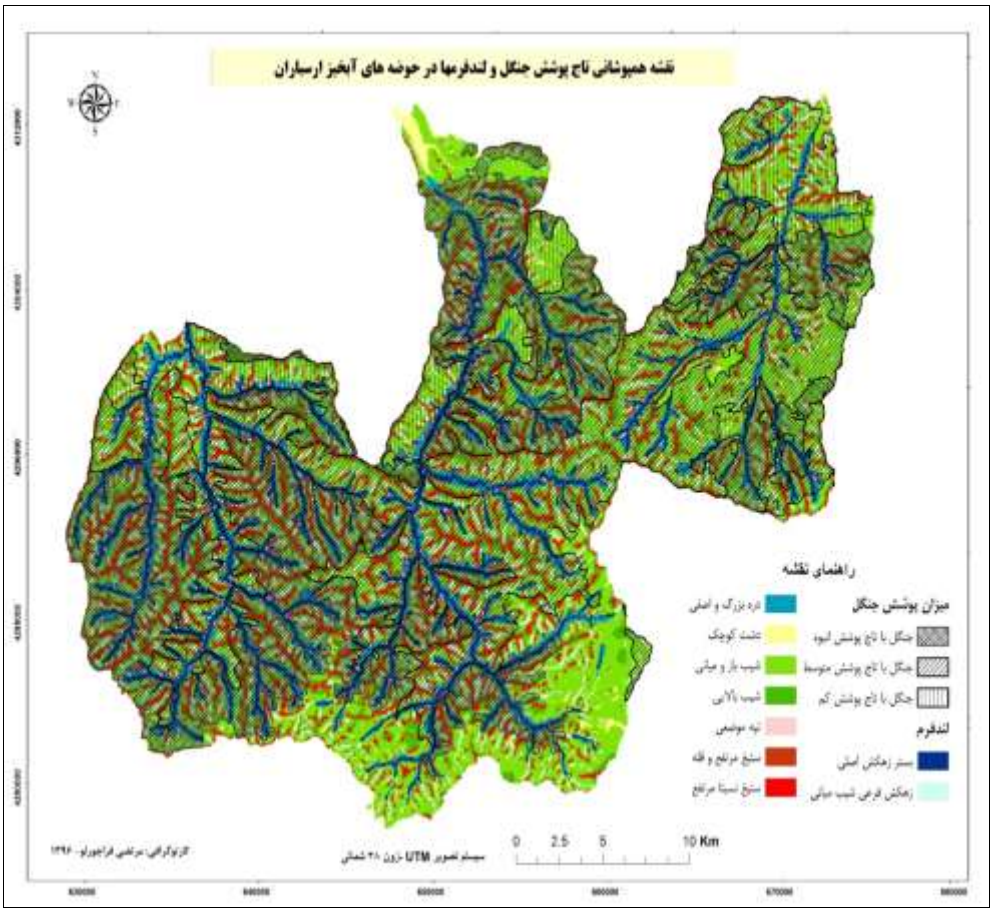
جستجو نمود که به‌نوبه خود شرایط لازم برای بروز پدیده کلیماکس گیاهی را فراهم می‌سازد. پارامتر تجمع جریان (f-ac) متغیر دیگری است که نمایانگر شرایط هیدرولوژیکی سطح زمین بوده و در کنار اثر پارامتر طول جریان قابل تبیین است. افزایش مساحت بالادست نقطه‌ای که زهکشی آب به آنجا ختم می‌شود، بالطبع با افزایش حجم آب همراه بوده و منابع رطوبت خوبی فراهم می‌سازد؛ بنابراین در یک حوضه آبخیز با نزدیک شدن به آبراهه‌های بزرگ و اصلی بر میزان تجمع جریان افزوده می‌شود. اثر مثبت این پارامتر بر فراوانی پوشش گیاهی نه‌تنها به دلیل فراهم ساختن منابع رطوبی است، بلکه عمق خاک بیش‌تر در نزدیکی نقاط انباشت جریان می‌تواند در این زمینه دخیل باشد. ترکیب عمق خاک بیش‌تر و دسترسی بیش‌تر به آب برای گیاهان شرایط بهتری را جهت رشد و باردهی بالا مهیا می‌سازد (Da Silva and Silva, 2008: 189).

اما آخرین پارامتر ژئومورفومتری که از همبستگی مثبتی با فراوانی پوشش گیاهی برخوردار است، عدد ناهمواری ملتون (mrn) است که نمودی از میزان پستی‌وبلندی زمین می‌باشد. البته از آن جایی که در محاسبه پارامتر مذکور مساحت بالادست نیز دخیل است، نمی‌توان آن را بیانگر محض ناهمواری در گستره آبخیز دانست. مقادیر بالای این متغیر را می‌توان در پهنه‌های با تغییر شیب زیاد و دامنه‌های پایین‌دست و جایی که انباشت جریان صورت می‌گیرد، مشاهده کرد. وجود پوشش گیاهی انبوه‌تر در پهنه‌های با مقادیر بالای این پارامتر علاوه بر این‌که در هم‌خوانی با متغیر شیب زمین است، با متغیر انباشت جریان نیز وجوه تبیینی مشترکی داشته و به شرایط انباشت جریان و فراهم بودن رطوبت در شیب‌های میانی و پایینی اشاره دارد؛ بنابراین این پارامتر را می‌توان شاخص خوبی از شرایط اکوهیدرومورفیک در گستره یک حوضه قلمداد نمود.

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 ۵ پارامتر عمق دره، ارتفاع، شاخص موقعیت توپوگرافی، طول دامنه و عرض جریان قرار دارند. رابطه منفی پارامتر عمق دره (vd) با فراوانی پوشش گیاهی 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 این‌که اثرات مثبت توپوکلیمایی به‌صورت خنکی هوا و رطوبت بیش‌تر در مرتفعات بالادست حوضه در اینجا مشهود است، از طرفی می‌توان به‌خوبی 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. با افزایش ارتفاع تا حد معینی معمولاً بر میزان بارندگی افزوده شده و چنان‌چه ارتفاع حداکثر منطقه موردنظر به برف مرز نرسد، عمدتاً توپوکلیمای مساعدی برای رشد و توسعه پوشش گیاهی پیش می‌آید. در کل، ارتفاع متغیر چندجانبه‌ای است که بسیاری از متغیرهای محیطی دیگر را تحت‌الشعاع خود قرار داده و تفسیر اثرات آن روشن و آسان نیست. وجود

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

رابطه منفی پارامتر ارتفاع با فراوانی پوشش گیاهی را در حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه می‌توان به عوامل مختلفی نسبت داد: اول این‌که خاک‌های مرتفعات عمدتاً خاک‌های کم‌عمق با سنگ بستر نزدیک به سطح زمین هستند که به‌شدت ظرفیت کل نگهداشت آب را محدود می‌سازند (Iverson et al, 1997: 337). دوم این‌که ممکن است با افزایش ارتفاع به دلیل گسترش جمعیت روستایی و عشایری، با تخریب بیش‌تری مواجه شویم (Mirzaeizadeh & Niknejad, 2013: 102). سوم و شاید مهم‌تر از همه این‌که فرماسیون گیاهی غالب منطقه، جنگل بوده و جنگل‌های خوب عمدتاً در ارتفاعات میانی واقع شده‌اند. در همین راستا نتایج هم‌پوشانی طبقات تاج پوشش جنگلی با طبقات لندفرم‌ها (شکل ۲) نیز نشانگر این بود که قسمت عمده جنگل‌ها مربوط به شیب‌های باز ارتفاعات میانی هستند. نقشه مربوط نشان داد که حدود ٤٠ درصد جنگل‌های انبوه، ٤٦ درصد جنگل‌های نیمه‌انبوه و ٥٠ درصد جنگل‌های تنک در طبقه لندفرمی شیب باز میانی[5] واقع شده‌اند. به هر صورت نتیجه حاصل در مغایرت با نتایج محققانی چون Deng et al (2007)؛ Zaremehrjardi et al (2007)؛ Taghipour & Rastgar (2010) بوده و در مقابل با نتایج Spadavecchia et al (2008)؛ Ghorbanli et al (2015) مطابقت دارد.



شکل ۲: نقشه همپوشانی طبقات تراکم جنگل با طبقات لندفرمی در حوضه‌های آبخیز ارسباران

5- Open Mislopes

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

شاخص موقعیت توپوگرافی (tpi) یکی دیگر از شاخص‌هایی است که به‌مانند 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 برخلاف شاخص tpi قادر به تفکیک واحدهای لندفرمی دامنه‌ها نبود. پارامتر tpi به‌عنوان نمود ویژه‌ای از تقسیم‌بندی ارتفاعی، توصیف‌گر روشنی از اثرات متغیر ارتفاع بوده و رابطه منفی آن با فراوانی پوشش گیاهی دلالت بر این دارد که در ستیغ‌ها و نزدیک خطوط آب‌پخشان با فراوانی کم پوشش گیاهی روبه‌رو هستیم. در مقابل قسمت‌های پایین‌دست و میانی دامنه از پوشش گیاهی انبوه‌تری برخوردارند. این نتیجه در هم‌خوانی با نتایج کار Deng et al (2007) می‌باشد؛ اما پارامتر طول دامنه (sl) یکی از پارامترهای ژئومورفیکی است که در امتداد ماکزیمم شیب دامنه اندازه‌گیری شده و مقادیر بالای آن اشاره به فرسایش بیش‌تر و گاها خندق‌زایی گسترده در امتداد یک شیب دارد. همبستگی منفی این متغیر با فراوانی پوشش گیاهی نشانگر این است که در نقاط با طول دامنه زیاد به دلیل دینامیک فعال، ایستایی رسوب و مواد مغذی همراه آن کم‌تر بوده و شرایط توسعه پوشش گیاهی محدودتر می‌شود. آخرین متغیر مستقل دارای همبستگی منفی با متغیر وابسته پارامتر عرض جریان (fw) یا طول مؤثر منحنی تراز محاسبه شده در جهت عمود بر جریان است که شاید در نظر اول گمراه کننده باشد. این متغیر برخلاف نام ظاهری‌اش اشاره به فاصله آبراهه‌ها از خطوط آب‌پخشان داشته و هر چه از این خطوط به سمت دره‌ها و کانال‌های جریان نزدیک می‌شویم، از میزان این متغیر کاسته می‌شود؛ بنابراین همبستگی منفی این متغیر با فراوانی پوشش گیاهی را به‌نوعی می‌توان در کنار همبستگی منفی متغیرهای ارتفاع و شاخص موقعیت توپوگرافی با متغیر وابسته قرار داده و به وجوه تبیینی مشترک این پارامترها دست یافت. با این نتایج می‌توان گفت که گرادیان‌های منفی ژئومورفیک مؤثر 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.

ب- گام‌های رگرسیونی

دومین خروجی حاصل از تحلیل رگرسیونی فضایی عبارت از مراحل یا گام‌های رگرسیونی بود که ما را به انتخاب مؤثرترین متغیرهای مستقل جهت برآورد متغیر وابسته رهنمون ساخت. مزیت روش گام‌به‌گام نیز در همین نکته است که در هر مرحله متغیری که بیش‌ترین ارتباط را با متغیر وابسته دارد، وارد شده و این روند تا جایی ادامه می‌یابد که همه متغیرهای مستقلی که می‌توانند برای برآورد متغیر وابسته مفید باشند، وارد مدل می‌شوند. در این جا با توجه به هدف تحقیق و جهت کاهش حجم جداول آماری مربوط، تنها به ذکر آماره‌های مربوط به مهم‌ترین و مؤثرترین متغیرها اکتفا گردید (جداول ۵ تا ۷). 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

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نهایی نیز تا همان‌جا بوده و بیش‌ترین تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل انتخابی، قابل توضیح می‌باشد. این متغیرهای مهم در حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه به این ترتیب بودند:

– حوضه آبخیز ناپشته‌چای: عمق دره (vd)، ارتفاع (H)، شاخص موقعیت توپوگرافی (tpi)، موقعیت دامنه (s-p)، شیب (S).

– حوضه آبخیز ایلگینه‌چای: شیب (S)، شاخص موقعیت توپوگرافی (tpi)، موقعیت دامنه (s-p)، تحدب سطح زمین (tsc)، ارتفاع (H)، عمق دره (vd)، جهت شیب برگردان‌شده (ta).

– حوضه آبخیز مردانقم‌چای: عمق دره (vd)، شاخص موقعیت توپوگرافی (tpi)، ارتفاع (H)، جهت شیب برگردان-شده (ta)، انحناء عمومی (ge-c).

نتایج فوق نشان می‌دهد که متغیرهای متداول در مدل‌سازی پراکنش پوشش گیاهی (ارتفاع، شیب و جهت شیب) در اینجا 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 است: ۱– ارتفاع ۲– شیب ۳– جهت شیب؛ بنابراین همچون بسیاری از تحقیقات پیشین معلوم می‌شود که متغیر ارتفاع از سطح دریا، مهم‌ترین متغیر در بین متغیرهای سه‌گانه توپوگرافی است که می‌تواند در مدل‌سازی فضایی الگوی پوشش گیاهی و فراوانی آن به‌کار گرفته شود. در کل متغیرهای منتخب در حوضه‌های مورد مطالعه بازتاب نسبتاً کاملی از ژئومورفولوژی یک محل هستند، چرا که ویژگی‌های شکل زمین، شدت ناهمواری، موقعیت و جهت ناهمواری را که شرایط زیست‌محیطی را از طریق فرآیندهای هیدروژئومورفیک به‌طور گسترده تحت کنترل خود دارند، مشخص می‌سازند. درواقع، این فرآیندها به توزیع و باز توزیع آب و رسوب در داخل سیستم حوضه آبخیز مشغول بوده و تشکیل و توسعه خاک را کنترل می‌نمایند. از همین‌جاست که فرایندهای مورفوپدوژنز باعث شکل‌گیری و توسعه پوشش گیاهی می‌شود. گذشته از این، با در نظر گرفتن نوع و چگونگی تأثیر پارامترهای ژئومورفولوژی در پراکنش پوشش گیاهی، ترکیبی از گرادیان‌های مستقیم و غیرمستقیم، گرادیان‌های منفی و مثبت در اینجا مشهود است که بر غنای نتایج حاصل می‌افزاید.

جدول ۵– گام‌های رگرسیونی و انتخاب مؤثرترین متغیرهای پیش‌بین در حوضه آبخیز ناپشته‌چای

مدل	ضریب تعیین (R^2)	مجموع مربعات رگرسیون (SSR)	مجموع مربعات باقیمانده (SSE)	آماره F	متغیر مستقل
۱	۰/۰۳	۲۸۹/۵۳	۱۰۶۱۰/۶۸	٦٢٨٤/٨٤	vd
۲	۰/۰۵	۵۱۸/۷۲	۱۰۳۸۱/۴۹	٥٧٥٤/٢٧	H
۳	۰/۰٦	۷۰٦/۲۱	۱۰۱۹٤	٥٣١٨/٧٥	tpi
٤	۰/۰۷	۷۷۳/۹۷	۱۰۱۲٦/۲٤	٤٤٠١/٠٧	s-p
٥	۰/۰۹	۹۷۳/۸	۹۹۲٦/٤١	٤٥١٩/٠٥	S

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ٦– گام‌های رگرسیونی و انتخاب مؤثرترین متغیرهای پیش‌بین در حوضه آبخیز ایلگینه‌چای

مدل	ضریب تعیین (R^2)	مجموع مربعات رگرسیون (SSR)	مجموع مربعات باقیمانده (SSE)	آماره F	متغیر مستقل
۱	۰/۰۹	۱۵۹۵/۸۸	۱۶۹۵۵/۷۸	٤٤٢٧٢/۹۸	S
۲	۰/۱۱	۱۹٦۸/٦۹	۱٦٥۸۲/۹۸	۲۷۹۲۱/٥۷	tpi
۳	۰/۱۳	۲۳٤۲/٤۱	۱٦۲۰۹/۲٥	۲۲٦٥۸/٦٤	s-p
٤	۰/۱٤	۲٦۸۱/۱۸	۱٥۸۷۰/٤۹	۱۹۸٦٦/۸٥	tsc
٥	۰/۱٦	۲۹۹۹/۳٦	۱٥٥٥۲/۳	۱۸۱٤۳/۳۲	H
٦	۰/۱۹	۳٥۸۳/٥	۱٤۹٦۸/۱٦	۱۸۷٦۸/۹۳	vd
۷	۰/۲	۳٦۹۲/٦۳	۱٤۸٥۹/۰۳	۱٦٦۹۹/۳	ta

جدول ۷– گام‌های رگرسیونی و انتخاب مؤثرترین متغیرهای پیش‌بین در حوضه آبخیز مردانقم‌چای

مدل	ضریب تعیین (R^2)	مجموع مربعات رگرسیون (SSR)	مجموع مربعات باقیمانده (SSE)	آماره F	متغیر مستقل
۱	۰/۲٤	٤۳۱٥/۹	۱۳۷۰٤/۲٦	۹۹۹۷۲/٤۸	vd
۲	۰/۲٦	٤۷۲۹/۷۱	۱۳۲۹۰/٤٥	٥٦٤۸٤/۲٥	tpi
۳	۰/۲۹	٥۲٦٦/۱۳	۱۲۷٥٤/۰۳	٤۳٦۹۰/۲۸	H
٤	۰/۳	٥٤۲۹/۰۳	۱۲٥۹۱/۱۳	۳٤۲۱۸/۲۷	ta
٥	۰/۳۱	٥٥۳٥/۹۱	۱۲٤۸٤/۲٥	۲۸۱٥۲/٤۱	ge-c

ج- مدل رگرسیونی

نتایج نهایی تحلیل رگرسیونی روابط فضایی بین پارامترهای ژئومورفیک و فراوانی پوشش گیاهی در قالب مدل‌های رگرسیونی و آماره‌های مربوط حاصل شد که در (جدول ۸) آورده شده است. به کمک آماره‌های حاصل برای حوضه‌های سه‌گانه می‌توان مناسب‌ترین مدل رگرسیونی را با توجه به میزان دقت، توان پیش‌بینی و کارایی آن انتخاب نمود. آماره‌های خطای استاندارد برآورد (SE)، ضریب تعیین (R^2) و آماره F به‌ترتیب نشانگر این خصوصیات مدل‌ها هستند. ضریب تعیین مدل رگرسیونی حاصل برای حوضه‌های ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای به‌ترتیب برابر با ۰/۱۱، ۰/۲۱ و ۰/۳۱ 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 به حوضه آبخیز ناپشته‌چای تعلق دارد؛ اما نگاهی به نتایج حاصل از خطای استاندارد برآورد نشان می‌دهد که نمی‌توانیم از این آماره به‌درستی جهت مقایسه مدل‌های رگرسیونی استفاده نماییم، چراکه باوجود ضریب تعیین کم‌تر مدل رگرسیونی مربوط به حوضه آبخیز ایلگینه‌چای نسبت به نظیر خود در حوضه آبخیز مردانقم‌چای، میزان SE مدل رگرسیونی این

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

حوضه (۰/۱۸) کم‌تر از مقدار SE مدل رگرسیونی مربوط به حوضه مردانقم‌چای (۰/۲) می‌باشد. به نظر می‌رسد به دلیل رویکرد پیکسل مبنای اعمال شده و اغراق در درجات آزادی (تعداد زیاد نمونه‌ها)، آماره مزبور قادر به تمایز و مقایسه مناسب بین مدل‌های رگرسیونی نبوده و نمی‌توان به نتایج آن اتکاء نمود؛ بنابراین به سراغ آماره F رفتیم که دلالت بر معنی‌داری مدل رگرسیونی داشته و به‌نوعی کارایی آن را نشان می‌دهد. آماره F از تقسیم میانگین مربعات رگرسیون (MSR) بر میانگین مربعات خطا (MSE) حاصل‌شده و هر چه میزان آن بیش‌تر باشد، بر کارایی مدل رگرسیونی افزوده می‌شود. این آماره برای حوضه‌های ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای به‌ترتیب برابر با ۱۳۷۸، ٤٩١٤ و ٦٩٢٠ 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 جالب‌توجه این‌که نتیجه فوق در تطبیق با وضعیت ناهمواری و خشونت توپوگرافی حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه است، به‌طوری که حوضه مردانقم‌چای، ناهموارترین حوضه بوده و در مقابل حوضه ناپشته‌چای، کم ناهموارترین حوضه می‌باشد. در کل روابط رگرسیونی حاصل بین پارامترهای ژئومورفومتری و فراوانی پوشش گیاهی که به ارائه مدل‌های رگرسیونی پیش‌بین انجامید، قابل توجه بوده و با نتایج Deng et al (2007)؛ Wang et al (2012) که به رویکرد فضایی پیسکل مبنا در روابط ژئومورفولوژی با پوشش گیاهی روی آوردند، قابل‌مقایسه است. نتایج این محققان 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.

جدول ۸- آماره‌های مدل‌های رگرسیونی پیش‌بین فراوانی پوشش گیاهی در حوضه‌های آبخیز ارسباران

نام حوضه	ضریب تعیین (R^2)	خطای استاندارد برآورد (SE)	میانگین مربعات رگرسیون (MSR)	میانگین مربعات باقی‌مانده (MSE)	آماره F	تعداد متغیر پیش‌بین	تعداد نمونه
ناپشته‌چای	۰/۱۱	۰/۲	۵۸/۲٦	۰/۰٤	۱۳۷۸/۲۵	۲۰	۲۳۰۳۳۰
ایلگینه‌چای	۰/۲۱	۰/۱۸	۱۵۳/۷	۰/۰۳	٤۹۱٤/۸۳	۲۵	٤۷۰۳۹۰
مردانقم‌چای	۰/۳۲	۰/۲	۲٦۵/۵۲	۰/۰٤	٦۹۲۰/٤۳	۲۲	۳۱۷٤٤٤

عوامل مختلفی در کم و کیف روابط رگرسیونی و افزایش یا کاهش توان مدل‌های رگرسیونی فضایی حاصل می‌تواند دخیل باشد که جای بحث داشته و از اهم آن‌ها می‌توان به مقیاس و کیفیت تصاویر رقومی و هم‌خوانی آن‌ها اشاره کرد. عامل مقیاس به‌عنوان چالش مهم و بزرگ در بیش‌تر تحقیقات فیتوژئومورفیک مطرح بوده است (برای نمونه: Hoersch et al, 2002؛ Deng et al, 2007؛ Vaughan et al, 2009). در این زمینه بیش‌تر محققان «رویکرد چندمقیاسه» را راه‌حل مفیدی در پرده‌برداری و کاستن از پیچیدگی روابط بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی دانسته و از آن سود جسته‌اند. به لحاظ دورسنجی، انتخاب و تعیین مقیاس از طریق قدرت تفکیک تصاویر

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

رقومی ممکن می‌گردد. از آن جایی که با درشت شدن مقیاس و کاهش قدرت تفکیک فضایی تصاویر از میزان ناهمگنی فضایی متغیرها در یک شبکه پیکسلی کاسته شده و به‌نوعی چشم‌انداز مورد مطالعه همگن‌تر می‌شود، بنابراین روابط موجود بین متغیرها قوی‌تر شده و ممکن است به مدل‌های رگرسیونی پیش‌بین بهتری دست یافت. نتایج کارهای Deng et al (2007)؛ Spadavecchia et a. (2008) این واقعیت را نشان داد؛ اما در خصوص کیفیت تصاویر رقومی می‌توان به وضوح و وجود داده‌های کرانی و زائد در آن‌ها اشاره نمود. در مورد تصویر ماهواره‌ای علاوه بر خصوصیات سنجنده و میزان وضوح و عدم نویز در تصویر، زمان تصویربرداری با توجه به متغیر استخراجی از تصویر مهم می‌باشد. در انتخاب تصویر مورد استفاده در پژوهش پیش رو سعی گردید تا این معیار با توجه به ابرناکی آسمان و زمان توسعه خوب پوشش گیاهی رعایت گردد؛ اما در مورد تصویر رادار و مدل رقومی ارتفاع برگرفته از آن بایستی اذعان نمود که اشکالاتی در تصویر مورد استفاده وجود داشت. مهم‌ترین اشکال عبارت از وجود راه‌راه‌شدگی در مدل رقومی ارتفاع بود که نمود آن در لایه‌های رستری متغیرهای مستقل آشکار شد. بالطبع این نقیصه بر مقادیر متغیرها در فضای گسترده پیکسلی تأثیر گذارده و احتمالاً وجود مقادیر اشتباه و نادقیق می‌تواند از دقت و توان پیش‌بینی مدل‌های رگرسیونی بکاهد. یکی دیگر از عناصری که ممکن است بر روابط فضایی متغیرها تأثیرگذار باشد، مربوط به تطبیق هندسی تصاویر لندست و رادار ارتفاعی (SRTM) است. با این‌که در پژوهش حاضر سعی شد تا این عمل با دقت کافی صورت گیرد، اما در واقعیت نمی‌توان به یک هم‌پوشی پیکسل به پیکسل دو تصویر در کل محدوده مورد مطالعه دست یافت که این بیش‌تر به تفاوت ذاتی دورسنجی دو تصویر برمی‌گردد.

نتیجه‌گیری

در حوضه‌های آبخیز کوهستانی به دلیل روابط نزدیک بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی، ارزیابی و شناخت روابط پیچیده و درهم بافته اشکال و فرآیندهای ژئومورفیک با پوشش گیاهی (فیتوژئومورفولوژی) می‌تواند ما را در زمینه مدیریت بهتر و تلاش‌های حفاظتی و احیاءگرانه در این مناطق یاری رساند. این پژوهش که حوضه‌های آبخیز ارسباران (سه حوضه ناپشته‌چای، ایلگینه‌چای و مردانقم‌چای) را به دلیل ذخایر ارزشمند و متنوع اکولوژیکی مورد هدف این موضوع قرار داد، سعی در تحلیل روابط فضایی بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی با رویکرد نوین دورسنجی داشت. رویکرد رگرسیونی فضایی که متغیرهای مستقل ژئومورفومتری (۲۷ متغیر) را جهت پیش‌بینی متغیر وابسته فراوانی پوشش گیاهی بر اساس شاخص گیاهی NDVI به کار گرفت. نتایج اولیه نشان داد که با وجود ضرایب همبستگی پایین بسیاری از متغیرهای مستقل، روابط فضایی معنی‌داری بین بسیاری از پارامترهای ژئومورفیک و فراوانی پوشش گیاهی وجود دارد. در این بین برخی از پارامترهای ژئومورفیک نقش برجسته‌تر و مؤثرتری در تعیین تغییرات فضایی فراوانی پوشش گیاهی داشته و مدل‌های رگرسیونی آن‌ها مورد تأکید واقع شد. این متغیرها به‌ترتیب اهمیت عبارت بودند از: ۱- عمق دره ۲- شاخص موقعیت توپوگرافی ۳- ارتفاع ٤- شیب ٥- موقعیت دامنه ٦- شاخص جهت شیب ۷- تحدب سطح زمین و ۸- انحناء عمومی. از نکات قابل‌توجه در ارتباط با متغیرهای منتخب این بود که اولاً همچون بسیاری از تحقیقات پیشین، تأثیر سه گرادیان متداول ارتفاع، شیب و

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جهت شیب در تعیین تغییرات فضایی پوشش گیاهی آشکار بود. ثانیه مجموع متغیرهای منتخب بازتاب نسبتاً کاملی از شرایط ژئومورفولوژی یک محل بوده و نه‌تنها رابطه بین فرم و فرایند را به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در بطن خود مستتر دارند، بلکه به‌عنوان نمود ویژه سایر عناصر و عوامل محیطی نیز محسوب می‌شوند؛ اما نتایج نهایی تحلیل‌های رگرسیونی فضایی حاکی از وجود قوی‌ترین روابط فضایی بین ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی در حوضه آبخیز مردانقم‌چای (ضریب تعیین برابر با ۰/۳۱) و در مقابل ضعیف‌ترین آن در حوضه آبخیز ناپشته‌چای (ضریب تعیین برابر با ۰/۱۱) بود. ارتباط مقایسه‌ای بین توان پیش‌بینی مدل‌های نهایی و میزان ناهمواری حوضه‌ها از نتایج جالب این پژوهش بود. این نتیجه دلالت بر روابط نزدیک و در هم بافته شرایط ژئومورفیک با الگوی فضایی پوشش گیاهی در حوضه‌های آبخیز ارسباران دارد. پناه‌گیری و توسعه خوب پوشش گیاهی در پهنه‌های ناهموار حوضه‌های مورد مطالعه دو نکته مهم را گوشزد می‌نماید که به لحاظ حفاظت و حمایت اکولوژیکی قالب تأمل است. یکی این‌که باوجود احتمال بروز آشفتگی‌های طبیعی در نقاط ناهموار، یک نوع هماهنگی و سازگاری فیتوژئومورفیک در اکوسیستم‌های جنگلی ارسباران به چشم می‌خورد. دوم این‌که این ثبات و هماهنگی که در یک دوره طولانی‌مدت شکل گرفته است، حساس و شکننده بوده و نیازمند مدیریت و گاها استرداد اکوژئومورفیک می‌باشد.

در کل هرچند بخش قابل‌توجهی از تغییرات فضایی فراوانی پوشش گیاهی توسط مدل‌های رگرسیونی منتخب قابل توضیح نبود، اما نظر به رویکرد فضایی گسترده و نیز روابط پیچیده و غیرخطی‌ای که بین پوشش گیاهی و ژئومورفولوژی وجود دارد، از ارزش مدل‌های رگرسیونی پیش‌بین کاسته نشده و مدل‌های رگرسیونی حاصل می‌تواند با کشف متغیرهای مؤثر بر الگوهای فضایی پوشش گیاهی و مکانیسم‌ها یا فرآیندهای علی قرار گرفته در زیر این الگوها به بهبود درک‌مان در روابط مکانی ژئومورفولوژی با پوشش گیاهی بینجامد. در خصوص کم و کیف روابط رگرسیونی عوامل چندی وجود دارد که توجه به آن‌ها می‌تواند تحلیل‌های رگرسیونی را ارتقاء بخشیده و بر توان پیش‌بینی و کارایی مدل‌های نهایی بیفزاید. مهم‌ترین آن‌ها در هم‌خوانی با تحقیقات پیشین، مقیاس فضایی است که هم از بعد هم‌پوشی پیکسل به پیکسل داده‌های ماهواره‌ای و رادار ارتفاعی و هم از بعد روابط همسایگی و قدرت تفکیک فضایی قابل بررسی است. مورد اول به دلیل تفاوت ذاتی تصاویر همیشه وجود داشته ولی با اعمال دقت بیش‌تر در تطبیق هندسی می‌توان از تأثیرات آن کاست؛ اما در مورد تغییر قدرت تفکیک با اعمال فیلتر در یک پنجره متحرک و کاهش رزولوشن تصاویر، هم می‌توان به هم‌خوانی بیش‌تر دو تصویر دست‌یافت و هم از ناهمگنی مقادیر لایه‌های رستری متغیرها کاسته و بدین طریق در مدل‌سازی فضایی، پیچیدگی محیطی را به‌ویژه در پهنه‌های ناهمگن حوضه‌های کوهستانی ساده‌تر و قابل فهم‌تر نمود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- 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.
- Ahmadi, H., Javanshir, K., Ghnbarian, Gh. A, Habibian, A. H., (2002), "An investigation on ecological chracterestics of plant communities in relation to geomorphological units (Case study: Chenar Rahdar region of Fars province)", ***Iranian Gournal of Natural Resources***, 55(1): 81-94. [In Persian].
- 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: 609- 616.
- 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: 159-167.
- 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 hotpot in western ghats, dindigul district, tamil nadu, south india", ***Environmental and Earth Sciences***, 3 (3): 221-233.
- Bahrami, Sh., Shayesteh, K., Bahrami, S., (2014), "Evaluation of the effect of geomorphology in vegetation density in Noakoh Anticline", ***Arid Regions of Geographical Studies***, 4 (14): 83-101. [In Persian].
- Cadol, D., Wine, M. L., (2017), "Geomorphology as a first order control on the connectivity of riparian ecohydrology", ***Geomorphology***, 227: 154-170.
- Churchill, R. R., (1982), "Aspect-induced differences in hillslope processes", ***Earth Surface Processes and Landforms***, 7: 171-182.
- Da Silva, G. M., Silva, L. L., (2008), "Evaluation of the relationship between maize yield spatial and temporal variability and different topographic attributes", ***Biosystems Engineering***, 101 (2): 183-190.
- 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: 122-134.
- Farajzadeh, M., (2007), "***Climatology Techniques***", Tehran, Samt, 287p.
- Ghorbanli, M., Hosseinpour Sabet, Z., Rezaei, M. A., (2014), "Study the flora and the effect of topographic factors on vegetation variations in Jahannama protected area (Aliabad Ranelands)", ***Vegetation and Ecosystem***, 10 (40): 23-33. [In Persian].
- Gruber, S., Peckham, S., (2009), "Land-surface parameters and objects in hydrology", In: Heng1, T., Reuter, H., (Eds.), ***Geomorphometry***,171-194.
- Hickey, R., (2000), "Slope angle and slope length solutions for GIS", ***Cartography***, 29 (1): 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: 113-139.
- Hosseini, S. M., Shafei, H., Ekhtesassi, M. R., Mohtasham Nia, S., (2013), "Drought effects on vegetation degradation of Sistan", ***Iranian Journal of Range and Desert Reseach***, 20 (2): 227-239. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Iverson, L. R., Dale, M. E., Scott, C. T., and Prasad, A., (1997), "A GIS-derived integrated moisture index to predict forest composition and productivity of Ohio forests (U.S.A)", ***Landscape Ecology***, 12: 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". [on line]: http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm.
- Jenness, J., (2012), "***DEM surface tools, Jenness enterprises***", [on line]: http://www. jennessent.com/arcgis/surface_area.htm.
- Khafaghi, O., Omar, K., (2012), "Geographical attributes analysis for Egyptian hypericum sinaicum", ***Universal Journal of Environmental Research and Technology***, 2 (6): 500-514.
- Kerr, J. T., Ostrovsky, M., (2003), "From space to species ecological applications for remote sensing", ***TRENDS in Ecology and Evolution***, 18 (6): 299-305.
- 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): 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.
- Madanian, M. A., Sefianian, A., (2012), "Study the monitoring of vegetation cover using vegetation indicies (Case study: Flavarjan)", ***2th Conference on Planing and Managment of Environment***, 15-16 May 2012, Tehran, Tehran University. [In Persian].
- Mirzaeizadeh, V., Niknejad, M., (2013), "Identifying the effective factors on reducing the forest cover using landsat images (Case study: Bivareh forest– Malekshahi county)", ***Conservation and Utilization of Natural Resources***, 1 (2): 91-108. [In Persian].
- Mohammadyari, F., Pourkhabbaz, H. R., Tavakoli, M., Aghdar, H., (2015), "Preparation of vegetation map and monitoring of it using remote sensing techniques and geographic information system (Case study: Behbahan district)", ***Scientific Research Quarterly of Geographical Data***, 23 (92): 23-34. [In Persian].
- Mokarram, M., Sathyamoorthy, D., (2016), "Relationship between landform classification and vegetation (case study: southwest of Fars province, Iran)", ***Geosciences***, 8: 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: 3-30.
- Naqinezhad, A., Seyyed Akhlaghi, S. A., Mehrvarz, S., (2015), "Relationships between vegetation and ecological variablesin Palangan habitat, Aghdagh protected area of Ardabil province", ***Iranian Journal of Applied Ecology***, 4 (13): 33-49. [In Persian].
- 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 Hengl, T., Reuter, H., (Eds.), ***Geomorphometry***, 59: 141-169.
- 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): 3519-3535.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Omidvar, K., Narangifard, M., Abbasi, H., (2015), "Detecting the changes of land uses and vegetation cover using remote sensing in Yasooj city", ***Geography and Territorial Spatial Arrangement***, 5 (16): 111-126. [In Persian].
- 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.
- Solaimani, K., Shokrian, F., Tamartash, R., Banihashemi, M., (2011), "Performance analysis of ETM data for detremination of most optimum vegetation indicies (Case study: Vazrood watershed)", ***Iranian Remote Sensing and GIS***, 2 (4): 71-82. [In Persian].
- Sothee, F. M., (2010), "Ecological land classification and soil moisture modelling in the boreal forest using lidar remote sensing", M.sc. Thesis in Geography, Queen's University Kingston, Ontario, Canada. 209p.
- 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: 1238-1251.
- Taghipour, A., Rastgar, S., (2010), "Role of physiography on vegetation cover using GIS (Case of Hezarjarib's Rangelands, Mazandaran province)", ***Rageland***, 4 (2): 168-177. [In Persian].
- Temimi, M., Leconte, R., Chaouch, N., Sukumal, P., Khanbilvardi, R., Brissette, F., (2010). A combination of remote sensing data and topographic attributes for the spatial and temporal monitoring of soil wetness, ***Hydrology***, 388: 28-40.
- Valizadeh Kamran, Kh., Moradzadeh, N., (2004), "Study the vegetation indivies using Landsat satellite information, TM sensor", ***Geographic Space***, 12: 115-140. [In Persian].
- 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: 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", In: Fei, S., Lhotka, J. M., Stringer, J. W., Gottschalk, K. W., Miller, G. W., (Eds.), "***Proceedings of the 17th central hardwood forest conference***", 2010 April 5-7; Lexington, KY; Gen. Tech. Rep. NRS-P-78. Newtown Square, PA: 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): 625-634.
- Wilson, J. P., Gallant, J. C., (2000), "***Terrain Analysis: Principles and Applications***", New York, John Wiley and Sons. 479 p.
- Zaremehrjardi, M., Ghodousi, J., Noruozi, A., Lotfollazadeh, D., (2007), "Analysis of the relationship between geopedologic characteristics with vegetation in Dagh-Finou catchment of Bandar Abbas", ***Pajouhesh & Sazandegi***, 76: 144-150. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]