



تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۳ | شماره ۱ | فروردین ۱۴۰۱ (ص ۱۳-۱)

<https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.334244.669136>

(مقاله علمی - پژوهشی)

Effect of Neighborhood Size on Morphometric Variables and Their Relationship with Vegetation Cover within Three Geomorphologically and Climatically Different Sub-Watersheds in Southwest Iran

JAVAD KHANIFAR¹, ATAALLAH KHADEMALRASOUL^{1*}

1. Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

(Received: Nov. 20, 2021- Revised: Jan. 8, 2022- Accepted: Jan. 19, 2022)

ABSTRACT

The aim of this research was to study the importance of the neighborhood scale in modeling the relationship between vegetation cover and morphometric variables using the classification and regression trees algorithm (CART) in southwestern of Iran. For this purpose, the second Modified Soil-Adjusted Vegetation Index (MSAVI2) was calculated from a Landsat 8 image, and eight morphometric variables were derived using the Wood method in four neighborhood scales (90×90, 150×150, 210×210, and 270×270 m) from a 30 m SRTM digital elevation model. The results of the Kruskal-Wallis test confirmed that in some sub-watersheds, neighborhood-scale change can have a significant effect on slope gradient, profile curvature, specific catchment area, LS factor, and topographic wetness index. The results showed that in each sub-watershed different morphometric variables are most related to the spatial distribution of the MSAVI2 index and the value of the Spearman correlation coefficient between them is slightly affected by the neighborhood scale. CART models based on the MSAVI2 index and 270×270 m morphometric variables with a kappa coefficient of 0.55 and 0.78, respectively, had the best performance in classifying vegetation types. The elevation smoothed, which is the least affected by the neighborhood scale, was recognized as the most important predictor in the CART model. However upscaling led to the increasing importance of other morphometric variables, especially slope gradient, in classifying vegetation types and finally improving the accuracy of the CART model. Overall, the present results indicate that the application of multi-scale geomorphometric analysis with respect to the geomorphology of the study area can improve the performance of prediction models related to vegetation cover to an appropriate extent.

Keywords: Classification and Regression Trees (CART), Geomorphometry, Neighborhood Scale, Vegetation Cover.

* Corresponding Author's Email: a.khademalrasoul@scu.ac.ir

تأثیر اندازه همسایگی بر متغیرهای مرفومتريک و رابطه آن‌ها با پوشش گیاهی در سه زیر حوزه آبخیز متفاوت از منظر ژئومرفولوژیکی و اقلیمی در جنوب غرب ایران

جواد خنیفر^۱، عطاءاله خادم‌الرسول^{۱*}

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲۹ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹)

چکیده

هدف این پژوهش بررسی اهمیت مقیاس همسایگی در مدل‌سازی رابطه پوشش گیاهی و متغیرهای مرفومتريک به کمک الگوریتم درخت رگرسیونی و طبقه‌بندی (CART) در جنوب غرب ایران است. برای این هدف، شاخص پوشش گیاهی اصلاح شده (MSAVI2) از یک تصویر لندست ۸ محاسبه گردید و استخراج هشت متغیر مرفومتريک با به‌کارگیری روش Wood در چهار مقیاس همسایگی (۹۰×۹۰، ۱۵۰×۱۵۰، ۲۱۰×۲۱۰ و ۲۷۰×۲۷۰ متر) از یک مدل رقومی ارتفاع SRTM با وضوح مکانی ۳۰ متر انجام پذیرفت. نتایج آزمون کروسکال - والیس تأیید کرد که در برخی از زیر حوزه‌های آبخیز تغییر مقیاس همسایگی می‌تواند تأثیری معنادار بر گرادیان شیب، انحنای پروفیل، سطح ویژه آبخیز، عامل LS و شاخص خیزی توپوگرافیک بگذارد. نتایج این مطالعه نشان داد که در هر زیر حوزه آبخیز متغیرهای مرفومتريک متفاوتی با توزیع مکانی شاخص MSAVI2 بیش‌ترین ارتباط را دارند و مقدار ضریب همستگی اسپیرمن بین آن‌ها به میزان کمی تحت تأثیر مقیاس همسایگی می‌باشد. مدل‌های CART مبتنی بر شاخص MSAVI2 و متغیرهای مرفومتريک محاسبه شده در مقیاس همسایگی ۲۷۰×۲۷۰ متر به ترتیب با میزان ضریب کاپای ۰/۵۵ و ۰/۷۸ دارای بهترین عملکرد در طبقه‌بندی تیپ‌های گیاهی بودند. ارتفاع هموار شده که کم‌ترین تأثیر را از مقیاس همسایگی دارد، به‌عنوان مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده در مدل CART شناسایی شد ولی افزایش مقیاس همسایگی منجر به بیشتر شدن اهمیت دیگر متغیرهای مرفومتريک به‌ویژه گرادیان شیب در طبقه‌بندی تیپ‌های گیاهی و نهایتاً ارتقاء دقت مدل CART گردید. نتایج کلی این پژوهش بیانگر آن می‌باشد که کاربرد آنالیز چند مقیاسی ژئومرفومتريک با توجه به ژئومرفولوژی منطقه مطالعاتی می‌تواند عملکرد مدل‌های پیش‌بینی مرتبط با پوشش گیاهی را به میزان مناسبی افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، درخت رگرسیونی و طبقه‌بندی (CART)، ژئومرفومتري، مقیاس همسایگی.

مقدمه

DEM توزیع مکانی ارتفاعات را به‌وسیله تابع $z = f(x, y)$

نمایش می‌دهد که در آن z ارتفاع و x و y مختصات دکارتی می‌باشد. متغیرهای مرفومتريک محلی (مانند گرادیان شیب و انحنای پروفیل) توابعی تشکیل شده بر پایه مشتقات جزئی تابع ارتفاع هستند. الگوریتم‌های مختلفی برای مشتق‌گیری مشتقات جزئی ارائه شده که شیوه محاسباتی عمده آن‌ها بر پایه برازش یک چندجمله‌ای به مقادیر ارتفاعی یک پنجره همسایگی 3×3 در حال حرکت در سرتاسر یک DEM با ساختار شبکه‌ای مربعی و تقریب ضرایب آن (مشتقات جزئی) به‌وسیله تفاضل محدود است (Khanifar & Khademalrasoul, 2021). اندازه پنجره همسایگی یک عنصر اساسی در یک آنالیز ژئومرفومتري می‌باشد، چرا که می‌تواند بر مقادیر تخمینی متغیرهای مرفومتريک تأثیر معنی‌داری بگذارد و می‌توان با تنظیم مناسب آن میزان انتشار خطاهای ارتفاعی به متغیرهای مرفومتريک را کنترل کرد (Albani, 2004).

توپوگرافی پیکربندی عمومی سطح زمین است که بر آب‌وهوا، جریان و ذخیره آب، خاک و رسوبات و موجودات زنده تأثیر می‌گذارد (Huggett & Cheesman, 2002). ژئومرفومتري علم مدل‌سازی کمی سطح توپوگرافی مبتنی بر مدل رقومی ارتفاع (DEM) می‌باشد که تمرکز آن بر محاسبه متغیرهای مرفومتريک و شناسایی اشیاء (مانند لندفرم‌ها) است (Florinsky, 2016; Wilson, 2018). متغیرهای مرفومتريک توصیف‌کننده خصوصیات هندسی، موقعیتی نسبی و یا آماری یک نقطه مشخص از سطح توپوگرافیک هستند که محاسبه آن‌ها می‌تواند به دو صورت باشد (Franklin, 2020; Olaya, 2009): محلی (به‌وسیله آنالیز همسایگی؛ مانند شیب و انحناء) یا یک رویکرد منطقه‌ای (بر اساس کاربرد الگوریتم‌های مسیریابی جریان؛ مانند سطح آبخیز).

نزدیکی با یکدیگر می‌باشند (Gharachorlou et al., 2018). توپوگرافی یک عامل مرتبط با تغییرپذیری مکانی پوشش گیاهی است، چرا که الگوهای جریان هوا و همچنین تعادل تابش سطحی را تغییر می‌دهد و از سوی دیگر یکی از فاکتورهای تأثیرگذار بر تشکیل و تحول خاک‌ها به‌ویژه در اراضی با پستی‌وبلندی زیاد می‌باشد (Huggett and Cheesman, 2002). در یک مقیاس منطقه‌ای، تغییرات ارتفاعی به‌واسطه تنظیم بارش و دما نقش خود را در تنوع گونه‌های گیاهی نمایان می‌سازد (Abdi, 2013). جهت منطقه‌ای عوارض توپوگرافیک بزرگ که رو به جریان تابشی خورشید قرار می‌گیرد، عموماً به دلیل برخورداری از گرمای بیش‌تر دارای پتانسیل بالاتر در تولید بیومس و تنوع گونه‌ای بیشتر در رویدن گیاهان است (Shokrollahi, 2009). قابل‌انتظار است که با افزایش گرادیان شیب سرعت جریان آب افزایش می‌یابد، بنابراین بارش دریافتی در واحد سطح و نفوذ آن در خاک کاهش و سطح رواناب و تبخیر افزایش می‌یابد. انحناهای افقی و عمودی فاکتورهای توپوگرافیک کلیدی در تعیین دینامیک جریان آب سطحی و درونی خاک هستند که به ترتیب به‌عنوان معیاری از همگرایی و واگرایی جریان و تضعیف و تشدید سرعت جریان می‌باشند (Florinsky, 2016)؛ بنابراین، گرادیان شیب و انحناهای سطح زمین در مقیاس محلی به‌واسطه تمایز مکانی میزان رطوبت خاک که یک خصوصیت مؤثر بر قابلیت جذب و توزیع مواد مغذی خاک و عمق ریشه دواندن است، می‌تواند با توزیع مکانی پوشش گیاهی در ارتباط باشد.

باتوجه به ارتباطاتی که بین پوشش گیاهی و پستی‌وبلندی وجود دارد، این مطالعه باهدف مدل‌سازی پوشش گیاهی بر اساس متغیرهای مرفومتريک چند مقیاسی با استفاده از روش درخت رگرسیون و طبقه‌بندی (CART) انجام شده است. به دلیل وابستگی مقیاس عملیاتی فرایندهای محیطی به زمین‌نما، این مدل‌سازی در سه زیر حوزه آبخیز متفاوت از منظر ژئومرفولوژیکی و اقلیمی در جنوب غرب ایران اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی یک حوزه آبخیز با مساحت تقریبی ۲۲۳۵ کیلومتر مربع می‌باشد که در بخشی از ارتفاعات زاگرس واقع در ناحیه شمالی استان خوزستان قرار دارد. تعداد سه زیر حوزه متفاوت از منظر ژئومرفولوژیکی و اقلیمی در این حوزه آبخیز بزرگ انتخاب گردید که موقعیت جغرافیایی آن‌ها در شکل (۱)

در عمده تحقیقات جغرافیایی به اندازه همسایگی توجه نمی‌شود، حال آنکه علاوه بر اهمیت ریاضی می‌تواند با مقیاس عملیاتی پدیده مورد مطالعه نیز مرتبط باشد. تعامل عوامل محیطی به‌صورت یک فرایند تبادل انرژی و ماده انجام می‌گیرد که این فرایند در یک فضای نمود پیدا می‌کند که به وسعت آن که می‌تواند از چند عدد تا صدها پیکسل باشد، مقیاس عملیاتی می‌گویند (Lam 2019; Zhu, 2008). به‌عنوان مثال، خصوصیات خاک در یک نقطه کاملاً تابع ویژگی‌های توپوگرافی آن نقطه نمی‌باشند، بلکه با شرایط توپوگرافی یک محل خاص در اطراف این نقطه همبستگی دارند، زیرا فرایند توزیع مجدد انرژی و ماده که تحت تأثیر توپوگرافی به‌عنوان یک فاکتور خاکساز است، برای عمل کردن به یک محل با اندازه خاصی نیاز دارد (Zhu, 2008). هر یک از فرایندهای محیطی (مانند تأثیر توپوگرافی بر توزیع پوشش گیاهی) دارای مقیاس عملیاتی خاص خود می‌باشد که می‌تواند در لنداسکیپ‌های مختلف متفاوت باشد. تطابق اندازه پنجره همسایگی با مقیاس عملیاتی می‌تواند منجر به تولید مدل‌های محیطی دقیقی گردد (Khanifar and Khademalrasoul, 2021; Lam 2019).

کاربرد آنالیز ژئومرفومتريک چند مقیاسی برای ارتقاء دقت پیش‌بینی مدل‌های محیطی می‌تواند یک اقدام سودمندانه باشد. Wood (1996) با تعمیم الگوریتم معروف و پرکاربرد Evans-Young (1978; Evans, 1979) به مقیاس‌های همسایگی بزرگ‌تر یک گام مهم در آنالیز ژئومرفومتريک چند مقیاسی برداشته است (Rigol-Sanchez et al, 2015).

بااهمیت‌ترین مؤلفه طبیعی در حوزه‌های آبخیز، پوشش گیاهی در چارچوب فرماسیون‌های مرتعی و جنگلی می‌باشد که به‌عنوان فاکتوری اساسی در کنترل مخاطرات زیست‌محیطی همانند فرسایش خاک، رواناب و زمین‌لغزش قلمداد می‌شود (Gharachorlou et al., 2018). پوشش گیاهی از طریق تعرق گیاه، آلبیدو و زبری سطح مستقیماً بر تنظیم بیلان‌های انرژی سطحی و آب تأثیر می‌گذارد (Ju et al., 2008). الگوی توزیعی جوامع گیاهی به طور عمده تحت کنترل فاکتورهای اقلیمی و ادافیک ناحیه حضور آن‌ها می‌باشد (Shokrollahi, 2009). شناخت ارتباط پوشش گیاهی با فاکتورهای محیطی به دلیل نقش کلیدی که در برقراری تعادل یک اکوسیستم طبیعی دارد، یکی از مسائل بنیادی در مدیریت و حفاظت جامع حوزه‌های آبخیز محسوب می‌گردد (Fattahi et al., 2009). سیستم‌های ژئومرفیک و اکولوژیکی در حوزه‌های آبخیز کوهستانی دارای پیوستگی

قابل توجهی از منظر ارتفاعی و گرادیان شیب قابل مشاهده است که باتوجه به تفاوت‌های ژئومرفولوژیکی مناطق حضور آن‌ها این موضوع قابل توجهی می‌باشد. به‌غیر از یک تیپ پوشش گیاهی (T2) که تحت حاکمیت یک اقلیم اکولوژیک نیمه استپی گرم است، مابقی تیپ‌های پوشش گیاهی در یک ناحیه رویشی استپ جنگلی قرار دارند ("Reports of Justification Studies," n.d.).

آنالیز ژئومرفومتري

تعریف و فرمول محاسباتی هشت متغیر مرفومتريک بکار رفته در این مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. روش Wood (1996) برای محاسبه متغیرهای مرفومتريک محلی به کار گرفته شد. در این روش، تابع $Z = f(X, Y)$ که به صورت چندجمله‌ای زیر بیان می‌گردد، با استفاده از روش حداقل مربعات به نقاط ارتفاعی یک پنجره همسایگی $n \times n$ تقریب زده می‌شود:

(رابطه ۱)

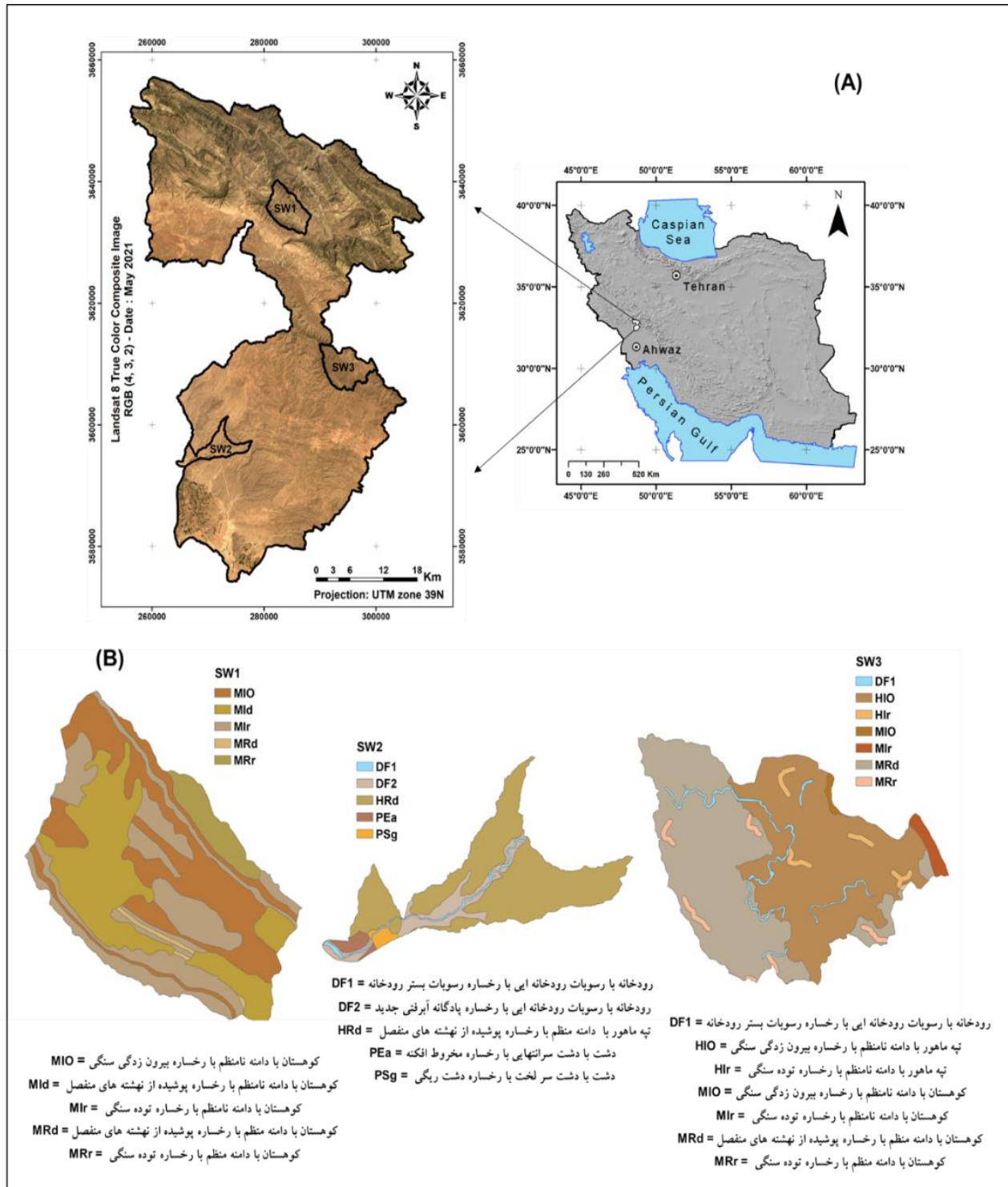
$$z = \frac{rx^2}{2} + \frac{ty^2}{2} + sxy + px + qy + u$$

متغیرهای مرفومتريک در چهار اندازه پنجره همسایگی 3×3 (90×90 متر)، 5×5 (150×150 متر)، 7×7 (210×210 متر) و 9×9 (270×270 متر) از یک SRTM DEM با وضوح مکانی ۳۰ متر استخراج شدند. اندازه نمونه برای حوزه‌های SW1، SW2 و SW3 به ترتیب ۱۴۹، ۱۲۲ و ۱۷۹ نقطه می‌باشد (فواصل بین نقاط شبکه ۵۰۰ متر است).

نمایش داده شده است. زیر حوزه یک (SW1) به مساحت ۳۷۸۰ هکتار در ناحیه شمالی حوزه آبخیز بزرگ جای دارد و یک اقلیم نیمه مرطوب معتدل بر آن حاکم است. کاربری اراضی نیمی از SW1 جنگل و نیم دیگر مرتعی است و آن‌طور که نقشه ژئومرفولوژی ارائه شده در شکل (۱) نشان می‌دهد، این زیر حوزه کوهستانی عمدتاً با تیپ دامنه نامنظم همراه با رخساره‌های بیرون زدگی سنگی، پوشیده از نهشته‌های منفصل و توده سنگی می‌باشد. زیر حوزه دو (SW2) در بخش جنوبی محدوده مطالعاتی قرار گرفته است و مساحتی در حدود ۳۰۰۰ هکتار دارد. اقلیم و کاربری اراضی SW2 به ترتیب از نوع نیمه خشک معتدل و مرتعی بوده است و یک واحد ژئومرفولوژیکی با عنوان تپه ماهور با تیپ دامنه منظم با رخساره پوشیده از نهشته‌های منفصل قسمت عظیمی از این زیر حوزه را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). زیر حوزه سه (SW3) که نیمی از آن تپه ماهوری و نیم دیگر کوهستانی است، دارای مساحت ۴۵۰۰ هکتار می‌باشد و مابین SW1 و SW2 جای گرفته است. ویژگی اقلیمی SW3 عمدتاً مشابه SW1 بوده و یک تیپ جنگلی در سطح وسیعی از آن به چشم می‌خورد ("Reports of Justification Studies," n.d.). به‌طور کلی در گستره مورد مطالعه چهار تیپ پوشش گیاهی عمده وجود دارد که نام علمی گونه‌های گیاهی موجود در هر کدام از آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. دو تیپ پوشش گیاهی از نوع مرتعی بوده که در طبقات ارتفاعی پایین‌تر نسبت به تیپ‌های جنگلی ظاهر شدند. بین تیپ‌های مرتعی در مقایسه با تیپ‌های جنگلی اختلاف

جدول ۱- خصوصیات تیپ‌های گیاهی در مناطق مورد مطالعه ("Reports of Justification Studies," n.d.)

منطقه	مساحت (Ha)	گرادیان شیب (°)	ارتفاع (m)	نام علمی گونه‌های گیاهی متداول	تیپ گیاهی
SW2	2225	8.00	356	Annual plant – Convolvulus – Teucrium – Echinops – Astragalus گیاهان یک‌ساله – پیچک صحرایی – کلپوره – شکر تیفال – گون خاردار	T2
SW1	1642	22.12	789	Hordeum - Poa - Gundelia - Annual plant جو پیازدار – چمن پیازک‌دار – کنگر علوفه‌ای – گیاهان یک‌ساله	T23
SW3	3990	12.69	1100	Amygdalus – Quercus – Astragalus بادام کوهی – بلوط ایرانی – گون	T8
SW1	1401	19.95	1011	Quercus – Hordeum – Gundelia – Annual grasses بلوط ایرانی – جو پیاز دار – کنگر علوفه‌ای – گندمیان یک‌ساله	T20



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی (A) و نقشه واحدهای ژئومرفولوژیکی (B) سه زیر حوزه آبخیز مورد مطالعه (SW1، SW2 و SW3) در شمال استان خوزستان (منبع نقشه‌های ژئومرفولوژی: "Reports of Justification Studies," n.d.)

آنالیز سنجنش ازدور

برآورد وضعیت پوشش گیاهی سطح زمین از تصویر ماهواره لندست ۸ و با به کارگیری شاخص MSAVI2^۱ صورت پذیرفت:

$$MSAVI2 = \frac{2NIR+1-\sqrt{(2NIR+1)^2-8(NIR-RED)}}{2} \quad (رابطه ۲)$$

در رابطه بالا، NIR و RED به ترتیب برابر با بازتاب باند

مادون قرمز نزدیک (باند ۵) و بازتاب باند قرمز (باند ۴) می باشد. مناطق مطالعاتی دارای پوشش گیاهی با تراکم متوسط و پراکنده است، به همین دلیل از شاخص MSAVI2 استفاده گردید چرا که در مقایسه با شاخص پر کاربرد NDVI^۲ که به صورت زیر محاسبه می شود، دارای قابلیت کاستن تأثیرات بازتاب های طیفی خاک

MSAVI2 در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. تصویر لندست ۸ مورداستفاده در تاریخ ۲۸ March ۲۰۲۱ توسط ماهواره Explorer اخذ شده است. تمامی آنالیز سنجنش از دور در سامانه Explorer گوگل ارث انجام شد ([https:// explorer. earthengine. \(google. com](https://explorer.earthengine.google.com)).

زمینه‌ای بر روی تخمین پوشش گیاهی می‌باشد:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad (۳)$$

تعریف متغیرهای NIR و RED بکار رفته در رابطه بالا در پاراگراف قبل ارائه شده است. ارتباط دو شاخص NDVI و

جدول ۲- تعریف ریاضی متغیرهای مرفومتريک محلی، منطقه‌ای و ترکیبی بکار رفته در این مطالعه (Florinsky, 2016; Khanifar & Khademalrasoul, 2020)

نوع	متغیر	مخفف (واحد)	تعریف
محلی	ارتفاع هموار شده*	ES (m)	بلندی از سطح دریا
	گرادیان شیب	G (°)	زاویه بین صفحات افقی و مماسی $G = \arctan \sqrt{p^2 + q^2}$
	جهت شیب***	A (°)	زاویه بین جهت شمالی و تصویر افقی بردار دو بعدی گرادیان در راستای گردش عقربه‌های ساعت $A = \arctan \left(\frac{q}{p} \right)$
	انحنای قائم	Kv (m ⁻¹)	انحنای مقطع قائم دارای خط مماس مشترک با خط شیب $Kv = - \frac{p^2 r + 2 p q s + q^2 t}{(p^2 + q^2) \sqrt{(1 + p^2 + q^2)^3}}$
	انحنای مماسی	Kh (m ⁻¹)	انحنای مقطع قائم مماس بر خط کانتور $Kh = - \frac{q^2 r - 2 p q s + p^2 t}{(p^2 + q^2) \sqrt{(1 + p^2 + q^2)}}$
منطقه‌ای	سطح ویژه حوزه	SCA (m ² m ⁻¹)	مساحت بالادست یک کنتور واحد الگوریتم جریان چند جهته
ترکیبی	شاخص خیسی توپوگرافی	TWI (بدون واحد)	$TWI = \ln(SCA / \tan G)$
	شاخص حمل رسوب	LS (بدون واحد)	$LS = (1.4) \left(\frac{SCA}{22.13} \right)^{0.4} \left(\frac{\sin G}{0.0896} \right)^{1.3}$

* متغیرهای محلی در یک نقطه مشخص از سطح توپوگرافیک تعریف می‌شوند.

** p, q, r, s, t مشتق‌های جزئی از تابع $z = f(x, y)$ می‌باشند:

$$p = \frac{\partial z}{\partial x}, \quad q = \frac{\partial z}{\partial y}, \quad r = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}, \quad t = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}, \quad s = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}$$

*** جهت شیب دایره‌ای با استفاده از رابطه زیر به یک متغیر پیوسته تبدیل شد:

$$\frac{1 - \cos \left(\left(\frac{\pi}{180} \right) (A - 30) \right)}{2}$$

آنالیز آماری

همبستگی اسپیرمن بررسی و از بسته نرم‌افزاری "corrplot" در محیط برنامه‌نویسی R برای نمایش گرافیکی ماتریس همبستگی استفاده شد. بازآرایی ماتریس همبستگی باهدف شناخت الگوی پنهان موجود در آن بر اساس الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی با روش پیوند Ward انجام گردید.

مدل‌سازی وضعیت پوشش گیاهی بر اساس متغیرهای مرفومتريک با استفاده از روش CART انجام شد. CART یک

برای ارزیابی معنی‌داری تفاوت هرکدام از متغیرهای مرفومتريک در بین مقیاس‌های همسایگی مختلف از آزمون غیرپارامتریک کروسکال - والیس استفاده شد. از آزمون مقایسه چندگانه پیشنهاد شده توسط Siegel and Castellan (1988) برای تعیین معنی‌داری تفاوت بین گروه‌ها استفاده شده است. ارتباط بین متغیرهای مرفومتريک و شاخص‌های پوشش گیاهی با آنالیز

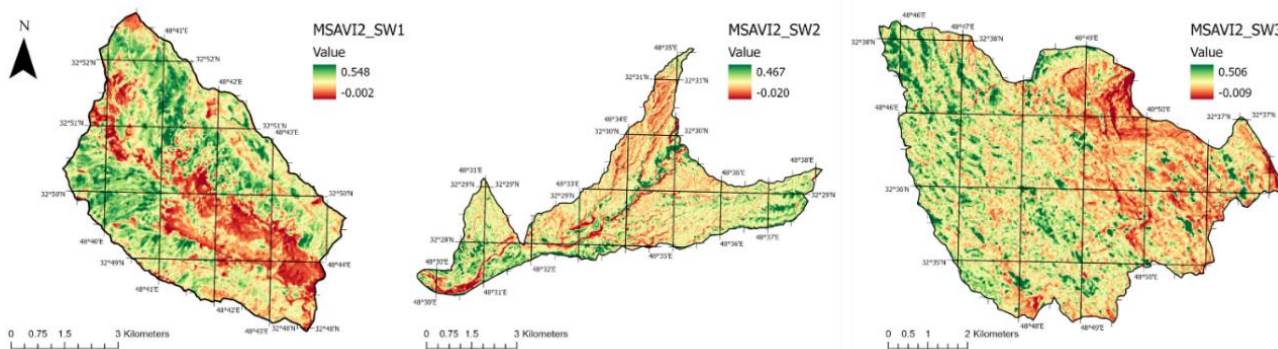
دارد که می‌توان آن‌ها را بهینه کرد تا مدل ساخته شده دقت خوبی داشته باشد.

در این تحقیق الگوریتم CART در دو شیوه رگرسیونی و طبقه‌بندی همراه با انجام تنظیمات پارامترهای فوق اجرا گردید. ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مدل‌های CART با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل (k = 5) انجام و بر اساس آماره‌های ضریب تعیین (R^2) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) در شیوه رگرسیونی و دقت کلی (OA) و معیار کاپای کوهن (CK) در شیوه طبقه‌بندی مورد قضاوت واقع شدند.

نتایج و بحث

نقشه شاخص پوشش گیاهی MSAVI2 مربوط به سه زیر حوزه آبخیز در شکل (۲) نمایش داده شده است. پیکسل‌هایی که دارای بیشترین مقدار این شاخص هستند با رنگ سبز مشخص شدند و بیانگر حضور پوشش گیاهی سالم و با تراکم متوسط در آن‌ها می‌باشد. در مقابل با کاستن از ارزش MSAVI2 پیکسل‌ها رو به رنگ قرمزی متمایل می‌شوند و بر این دلالت دارد که میزان پوشش گیاهی رو به کاهش است. نتایج آنالیز آماری داده MSAVI2 نمونه‌برداری شده از این سه زیر حوزه در جدول (۲) ارائه گردید. تعداد نمونه‌ها تابعی از شکل و مساحت زیر حوزه‌ها می‌باشد.

روش مدل‌سازی ناپارامتریکی می‌باشد چرا که برای کاربرد آن هیچ پیش‌فرضی در مورد توزیع نمونه‌ها وجود ندارد. این روش که منجر به ایجاد یک درخت تصمیم با تقسیمات دوتایی می‌گردد، برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته نوع رسته‌ای (مانند تیپ‌های پوشش گیاهی) و نوع کمی (مانند شاخص MSAVI2) قابل استفاده است. یک مدل CART از چندین گره تشکیل می‌شود که بالاترین گره را که دربرگیرنده تمامی نمونه‌ها است را گره ریشه می‌گویند. هر گره و نمونه‌های موجود در آن مطابق یک معیار تصمیم‌گیری که بر اساس مقادیر یک متغیر مستقل ارائه می‌گردد به دو گره شاخه تقسیم می‌شود. این روند تا رسیدن به گره‌های برگ موجود در پایین‌ترین موقعیت درخت ادامه می‌یابد. گره‌های برگ نمایانگر پیش‌بینی مدل است و نمونه‌ها موجود در آن‌ها دارای بیشترین میزان یکنواختی می‌باشد. قواعد مختلفی جهت تنظیم رشد یک درخت تصمیم ارائه شده است، به عنوان نمونه روش‌های حداقل مربعات و حداقل انحراف مطلق در شیوه رگرسیونی و شاخص‌های جینی و آنتروپی در شیوه طبقه‌بندی قابل استفاده می‌باشد. در CART پارامترهای قابل تنظیم همچون حداقل تعداد نمونه برای تقسیم گره‌های شاخه، حداقل تعداد نمونه برای تولید گره‌های برگ، حداکثر تعداد گره‌ها، حداکثر عمق رشد درخت و نوع شاخص تنظیمی برای رشد درخت وجود



شکل ۲- نقشه شاخص پوشش گیاهی MSAVI2 محاسبه شده از تصویر ماهواره لندست ۸ برای سه زیر حوزه آبخیز (تاریخ تصویر: ۲۸ March ۲۰۲۱)

مشاهده می‌گردد که با مقایسه شرایط این دو منطقه به نظر می‌رسد دلیل عمده این تغییرات خصوصیات توپوگرافی باشد. در SW1 میزان زبری زمین شدید بوده و در آن دامنه‌ها دارای گرادیان شیب و انحنای ناهمگونی می‌باشند که همین امر منجر به تمایز مکانی خصوصیات خاک و متعاقباً پوشش گیاهی از طریق کنترل توزیع آب می‌شود.

مقادیر میانگین MSAVI2 مربوط به SW1 و SW3 نزدیک به یکدیگر بوده و در مقایسه با مقدار میانگین مربوط به SW2 بسیار بیشتر می‌باشد. مقایسه چندگانه تأیید می‌کند که SW2 از منظر پوشش گیاهی تفاوت معنی‌داری با دیگر مناطق دارد. این مشاهده با توجه به میزان تفاوت‌های ژئومورفولوژیکی و اقلیمی بین آن‌ها کاملاً قابل توجیه است. بیشترین و کمترین مقدار تغییرپذیری شاخص MSAVI2 به ترتیب در SW1 و SW2

جدول ۳- آنالیز آماری داده شاخص پوشش گیاهی MSAVI2 محاسبه شده از تصویر ماهواره لندست ۸ برای سه زیر حوزه آبخیز

منطقه \ آماره	SW1	SW2	SW3
تعداد نمونه	۱۴۹	۱۲۲	۱۷۹
حداقل	۰/۰۵۰	۰/۰۶۱	۰/۰۹۴
حداکثر	۰/۴۱۹	۰/۱۸۱	۰/۳۱۶
میانگین	۰/۲۱۲	۰/۱۰۹	۰/۱۸۳
انحراف استاندارد	۰/۰۸۴	۰/۰۱۸	۰/۰۳۹
ضریب تغییرات (%)	۳۹/۶	۱۶	۲۱/۴
تفاوت معنی داری*	a	b	a

$$\text{انحراف استاندارد} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{N}}$$

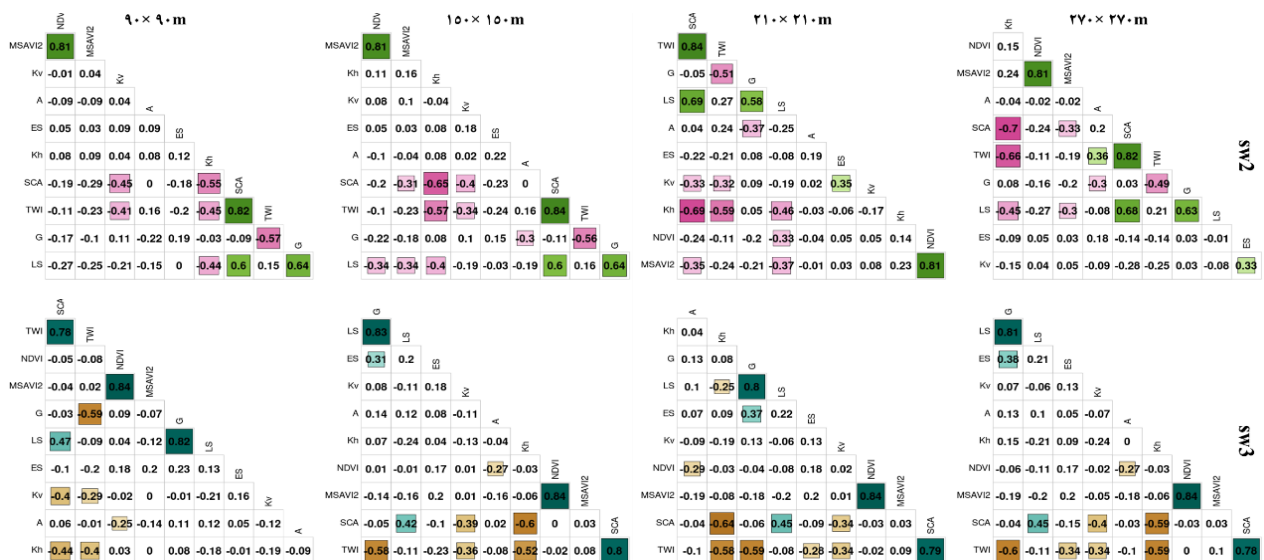
میانگین کل نمونه‌ها = μ ؛ مقدار هر نمونه = x_i ؛ تعداد کل نمونه‌ها = N

$$\text{ضریب تغییرات} (\%) = \frac{\text{انحراف استاندارد}}{\text{میانگین}} \times 100$$

*** تفاوت حروف بیانگر معنی داری تفاوت بین گروه‌ها است.

متر فقط با سطح ویژه حوزه (SCA) و شاخص حمل رسوب (فاکتور LS) دارای همبستگی معنی داری در سطح آماری ۰/۰۰۱ می‌باشد. در دیگر منطقه، در تمامی مقیاس‌های همسایگی هیچ ارتباط معنی داری بین شاخص MSAVI2 و متغیرهای مرفومتريک مشاهده نگردید. (Zhan et al. (2012 مشاهده نمودند که NDVI دارای همبستگی معنی داری با ارتفاع در چهار منطقه مورد بررسی می‌باشد، این در حالی است که هیچ رابطه قابل توجهی با گرادیان شیب (G) و جهت شیب (A) نداشت.

نتایج آنالیز همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌های پوشش گیاهی و متغیرهای مرفومتريک محاسبه شده در چهار مقیاس همسایگی در شکل (۳) به نمایش درآمده است. مقادیر همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و MSAVI2 در مناطق مورد بررسی بسیار بالا و نزدیک به یکدیگر می‌باشد ($r \approx 0.82$). مقادیر مربوط به MSAVI2 از مقادیر هم‌ارز آن‌ها در NDVI در مناطق SW2 و SW3 به طور میانگین ۴۰ و ۵۲ درصد کوچک‌تر هستند. در SW2، شاخص MSAVI2 در مقیاس‌های بالاتر از ۹۰



شکل ۳- ماتریس مثلثی ضرایب همبستگی اسپیرمن بین متغیرهای مرفومتريک محاسبه شده در چهار مقیاس همسایگی و شاخص‌های پوشش گیاهی در دو زیر حوزه آبخیز SW2 و SW3. پیکسل‌های رنگی بیانگر ضرایب همبستگی معنی دار در سطح آماری ۰/۰۰۱ می‌باشد.

از وجود همبستگی بالا بین متغیرهای توضیحی است و ممکن است منجر به کاهش کارایی مدل‌های پیش‌بینی گردد. در SW2، همبستگی ارتفاع هموار شده (ES) با G معنی دار نبوده و با افزایش

انجام آنالیز همبستگی بین متغیرهای مرفومتريک از دو جنبه می‌تواند ارزشمند باشد: بررسی میزان تأثیر مقیاس همسایگی بر آن‌ها در مناطق مختلف و پدیده هم‌خطی که ناشی

(Wilson, 2018). مقادير Kv بيانگر ميزان تندی جريانها و در نتیجه نرخ فرسايندگی و رسوبگذاري می باشند و در دوزير حوزه آبخيز مشاهده گردید که با SCA و TWI دارای همبستگی معنی داری است. البته در منطقه SW2 از ميزان این همبستگی با افزایش مقیاس کاسته می شود به گونه ای در مقیاس ۲۷۰ متر این همبستگی معنی داری خود را از دست می دهد.

نتایج آزمون کروסקال - والیس ثابت می کند که بین حداقل دو گروه از متغیر G و به تبع آن دو متغیر ترکیبی در مناطق SW2، SW3 و مجموع زیر حوزهها (TSW) ميزان تفاوت قابل توجهی برقرار می باشد (جدول ۴؛ $p < 0.01$). تفاوت بین گروههای هر یک از متغیرهای ES، A و Kh در تمامی مناطق مورد بررسی بسیار کم و بدان معناست که این متغیرها چندان تحت تأثیر مقیاس همسایگی نمی باشند. با افزایش مقیاس همسایگی از ميزان خمش سطح توپوگرافیک کاسته و مقادير مربوط به گرادیان شیب و انحنای رو به مقدار صفر متمایل می شوند، در نتیجه در مقیاس همسایگی بالا سطح زمین هموارتر و متعادل تر مدل می گردد. بر همین اساس در SW1 که یک زیر حوزه آبخيز کوهستانی است، این تصور اولیه بود که متغیرهای مرفومتريک مربوط به آن بیشتر از دیگر مناطق تحت تأثیر تغییر مقیاس همسایگی باشند اما آنالیز آماری نشان داد که بین گروههای هیچ یک از متغیرهای مرفومتريک مربوط به آن تفاوت قابل توجهی وجود ندارد (جدول ۴). Khanifar and Khademalrasoul (2021) دریافتند که از بین چهار متغیر A، G، Kv و انحنای مسطح تنها Kv تحت تأثیر معنادار الگوی محاسباتی ژئومرفومتري هستند. در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین برخی از گروههای Kv در SW3 و TSW تفاوت وجود دارد. مقدار بزرگ کای - اسکور مربوط به TWI در TSW به این دلیل است که بین گروههای SCA در همین منطقه تفاوت قابل توجهی وجود داشت.

مقیاس ميزان آن کمتر می شود، حال آنکه در SW3 با افزایش مقیاس ضریب همبستگی بیشتر شده و در مقیاسهای بالاتر از ۹۰ متر معنی دار می باشد. در دو منطقه اشاره شده، ES با متغیرهای A، انحنای مماسی (Kh)، SCA و LS فاقد همبستگی قابل توجهی است اما در مقیاسهای بالاتر از ۱۵۰ متر مشاهده می گردد که این متغیر در SW2 با Kv و در منطقه دیگر با شاخص خیسی توپوگرافی (TWI) رابطه معنی داری دارد. در SW3 متغیر G با A، Kh، انحنای قائم (Kv) و SCA فاقد همبستگی معنی داری است. همانند چنین ارتباطی در منطقه دیگر به جز در مورد Aهای محاسبه شده در مقیاس بالاتر از ۹۰ متر نیز مشاهده می شود. متغیر G یکی از دو پارامتر تشکیل دهنده LS و TWI می باشد، بنابراین قابل انتظار است که با این دو متغیر همبستگی معنی داری داشته باشد. مقادير ضرایب همبستگی در SW3 در تمامی مقیاسهای همسایگی نسبت به SW2 بالاتر است که البته این ميزان تفاوت بین دو منطقه برای LS قابل توجه است. متغیر SCA دیگر پارامتر بکار رفته در محاسبه متغیرهای ترکیبی است و بر عکس G، با TWI ميزان همبستگی بالاتری داشته و مقادير ضرایب آن در SW2 در تمامی مقیاسهای همسایگی نسبت به منطقه دیگر بالاتر است. متغیر Kh در دو منطقه مورد بررسی فقط با SCA و TWI دارای ارتباط معنی داری می باشد ولی در منطقه SW2 همبستگی بالایی بین این متغیر و LS نیز مشاهده می گردد. جريانهای جانبی روی زمینی و درون خاکی ناشی از گرانش در جایی که $Kh > 0$ و $Kh < 0$ است به ترتیب واگرا و همگرا می شوند. بدین ترتیب، ارتباط این متغیر با TWI که نشان دهنده توزیع مکانی و وسعت مناطق اشباع زمین است، کاملاً منطقی بوده و ميزان همبستگی بین آنها با افزایش مقیاس همسایگی بیشتر نیز می گردد. متغیر LS که در برخی از شرایط خاص معادل فاکتور طول - شیب معادله بازنگری شده جهانی فرسایش خاک بوده، توزیع مکانی ظرفیت حمل رسوب را نشان می دهد و مشخصاً همگرایی و واگرایی جريان را در نظر می گیرد

جدول ۴- نتایج آزمون کروسکال - والیس برای ارزیابی معنی داری تفاوت متغیرهای مرفومتريک در بین چهار مقیاس

منطقه	همسایگی (۹۰، ۱۵۰، ۲۱۰ و ۲۷۰ متر) در زیر حوزههای آبخيز متفاوت							
	ES	G	A	Kh	Kv	SCA	TWI	LS
SW1	۰/۰۰	۴/۳۹	۰/۹۵	۰/۰۹	۱/۶۱	۳/۰۷	۷/۴۵	۰/۹۳
SW2	۰/۰۰	۴۰/۶۰**	۷/۰۶	۱/۰۳	۰/۱۶	۴/۸۰	۲۱/۴۵**	۱۲/۸۰**
SW3	۰/۰۰	۳۲/۵۴**	۰/۰۶	۱/۶۳	۸/۴۹*	۷/۳۳	۳۲/۳۱**	۱۶/۱۳**
TSW	۰/۰۰	۳۹/۹۴**	۲/۶۵	۰/۳۸	۶/۲۰*	۱۳/۳۲**	۵۴/۷۶**	۱۴/۵۴**

- فرضیه صفر (H0): بین بکارگیری چهار مقیاس همسایگی در محاسبه هر یک از متغیرهای مرفومتريک تفاوتی وجود ندارد.
- سلولهای مشخص شده با فونت درشت حاوی * و ** بیانگر مقادير کای-اسکور معنی دار به ترتیب در سطوح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ هستند (درجه آزادی = ۳).

مرفومتريک است به اندازه پنجره همسایگی توجه نمی شود. نتایج

در بسیاری از پژوهشهایی که متکی بر کاربرد متغیرهای

در پیش‌بینی تغییرپذیری MSAVI2 در مقایسه با مدل‌های CART مبتنی بر متغیرهای 90×90 متر قوی‌تر می‌باشند که منتج به R^2 های $0/04$ و $0/02$ گردیده است. بعد از ادغام داده سه منطقه (TSW)، عملکرد مدل‌های CART برازش یافته در تمامی مقیاس‌های همسایگی که دارای مقدار R^2 برابر هستند، در مقایسه با مدل‌های مربوط به سه زیر حوزه بهبود قابل توجهی یافته‌اند. در این مدل‌ها متغیرهای مرفومتريک به جزء ES در پیش‌بینی MSAVI2 فاقد اهمیت می‌باشند و میزان تفاوت مقادیر R^2 مدل‌ها می‌تواند گواهی بر این بیان باشد. بلندی از سطح دریا یکی از بااهمیت‌ترین فاکتورهای می‌باشد که از طریق کنترل بر پارامترهای هواشناسی و فرایندهای تشکیل خاک با توزیع مکانی گونه و تراکم پوشش گیاهی ارتباط دارد. مقدار R^2 بالای مدل‌های CART مربوط به TSW نیز به همین دلیل است چرا که زیر حوزه‌های آبخیز در طبقات ارتفاعی کاملاً متفاوتی جای گرفته‌اند. (Azarnivand (1992) نیز فاکتور کلیدی در تغییرپذیری پوشش گیاهی در مناطق کوهستانی را تفاوت ارتفاع دانسته است و در مطالعه‌ای دیگر، (Moradi (1994) تأکید می‌نماید که نقش متغیرهای مرفومتريک از جمله A و G در دگرگونی پوشش گیاهی و خاک به میزان اهمیت ارتفاع نمی‌باشد (Zaremehrijardi et al., 2007).

مطالعه موردی (Albani (2004) بیانگر آن است که استفاده از اندازه همسایگی 7×7 (210×210 متر) یا بزرگ‌تر منجر به کاهش قابل توجهی در تأثیر خطاهای ارتفاعی و درون‌یابی بر متغیرهای مرفومتريک می‌گردد. اطلاعات بسیاری از زبری‌های کوچک‌مقیاس زمین که می‌تواند بر کنترل فرایندهای هیدرو - ژئومرفیک تأثیر بگذارند در یک پنجره همسایگی بزرگ رقیق می‌شود. در این رابطه، (Roecker and Thompson (2010) نیز تأکید کردند که در اندازه‌های همسایگی بزرگ، متغیرهای مرفومتريک زمین ممکن است اجزاء لندفرم‌ها را به شکل صحیحی نشان ندهند، زیرا همسایگی شامل داده DEM خارج از منظر محلی است.

نتایج مدل‌سازی رگرسیونی جهت پیش‌بینی MSAVI2 بر اساس متغیرهای مرفومتريک در جدول (۵) ارائه گردیده است. در SW1 میزان تفاوت بین هر یک از آماره‌های نیکویی برازش مربوط به مدل‌های به‌دست‌آمده در اندازه‌های همسایگی مختلف بسیار ناچیز است زیرا ES که در این مدل‌ها به‌عنوان مؤثرترین پیش‌بینی‌کننده برای MSAVI2 می‌باشد، از تغییر مقیاس همسایگی تأثیر بسیار اندکی می‌پذیرد (جدول ۴). در دو منطقه دیگر، مدل‌های CART مبتنی بر متغیرهای 270×270 متر منجر به R^2 های $0/12$ و $0/10$ شده که نمایانگر آن بوده که این مدل‌ها

جدول ۵- نتایج ارزیابی دقت مدل‌های CART (اعتبارسنجی متقابل ۵-fold) در پیش‌بینی MSAVI2 بر اساس متغیرهای مرفومتريک محاسبه شده در چهار مقیاس همسایگی در زیر حوزه‌های آبخیز متفاوت

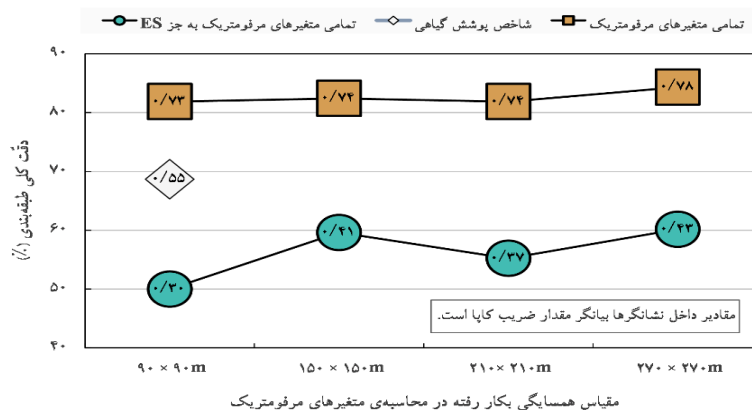
مدل منطقه	90×90 m		150×150 m		210×210 m		270×270 m	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
SW1	0/18	0/07572	0/17	0/07628	0/19	0/07548	0/19	0/07550
SW2	0/04	0/01706	0/06	0/01692	0/04	0/01705	0/12	0/01637
SW3	0/02	0/03871	0/06	0/03787	0/05	0/03806	0/10	0/03709
TSW	0/35	0/05491	0/35	0/05497	0/35	0/05494	0/35	0/05489

- سلول‌های مشخص شده با فونت درشت نمایانگر دقیق‌ترین نتایج است.

میزان عملکرد مدل‌های مبتنی بر متغیرهای مرفومتريک به جزء ES با یک‌روند نامنظم به طور قابل‌ملاحظه‌ای ارتقاء یافته است. کمترین و بیشترین مقدار ضریب کاپا به ترتیب $0/30$ و $0/43$ می‌باشد که مربوط به مدل‌های برازش یافته در مقیاس‌های 90 و 270 متری هستند. با مشاهده شکل (۵) می‌توان دریافت که با افزایش مقیاس همسایگی اهمیت متغیرهای مرفومتريک به‌ویژه در مدل طبقه‌بندی تیپ‌های گیاهی افزایش گردیده است. (Keyghobadi et al. (2020) استفاده از الگوریتم مدل جمعی افزایش‌یافته مدلی برای شناسایی پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی در مراتع خضری دشت بیاض خراسان جنوبی به دست آوردند که دارای ضریب کاپای بالای $0/9$ بودند و در آن‌ها

نتایج مدل‌سازی CART جهت طبقه‌بندی تیپ‌های گیاهی بر اساس شاخص پوشش گیاهی و متغیرهای مرفومتريک در شکل (۴) ارائه گردیده است. تغییر اندازه همسایگی از 90 به 270 متر منجر به افزایش مقدار ضریب کاپای مدل‌های مبتنی بر تمامی متغیرهای مرفومتريک از $0/73$ به $0/78$ شده است. میزان صحت طبقه‌بندی تیپ‌های گیاهی توسط مدل CART مبتنی بر MSAVI2 حدوداً 69 درصد است که نسبت به بهینه‌ترین مدل مبتنی بر متغیرهای مرفومتريک به جزء ES به مقدار 9 درصد بیشتر می‌باشد. این نتایج بر اهمیت بسیار بالای ES و MSAVI2 در طبقه‌بندی تیپ‌های گیاهی در مقایسه با دیگر متغیرهای مرفومتريک تأکید می‌کنند (شکل ۴). با افزایش اندازه همسایگی

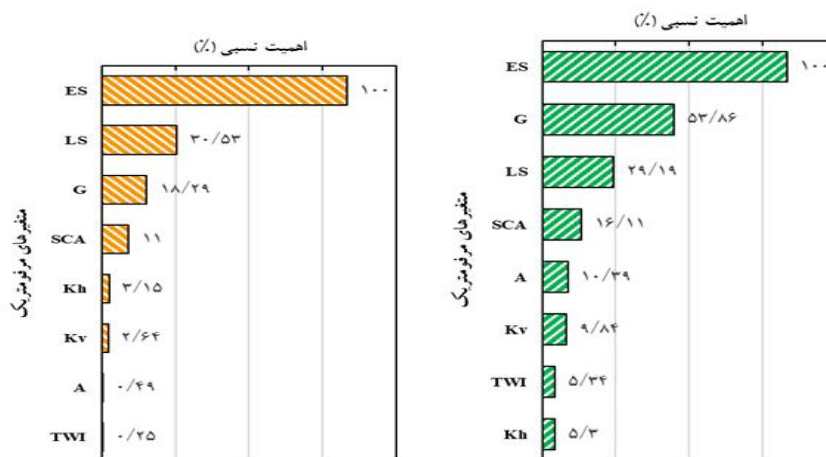
متغیرهای مرفومتريک بکار نرفته در تحقیق حاضر همچون فاصله عمودی تا شبکه کانالی و عمق دره بیشترین تأثیر را بر پراکنش مکانی برخی از گونه‌های گیاهی داشتند.



شکل ۴- نتایج ارزیابی صحت مدل‌های CART (اعتبارسنجی متقابل ۵-fold) در طبقه‌بندی تیپ‌های گیاهی بر اساس شاخص MSAVI2 و متغیرهای مرفومتريک محاسبه شده در چهار مقیاس همسایگی در سطح کل منطقه مطالعاتی

دارند (Florinsky, 2016). در همین راستا، نتایج مطالعاتی همانند (Ghorbani et al. (2009 و (Zare Chahouki et al. (2016 در مناطق مختلف نشان می‌دهد که خصوصیات خاک مهم‌ترین فاکتورهای محیطی مؤثر در پراکنش تیپ‌های گیاهی هستند. این احتمال نیز برقرار می‌باشد که با به‌کارگیری مقیاس همسایگی بزرگ‌تر نقش این متغیرهای مرفومتريک در مدل‌سازی پررنگ‌تر گردد که البته از جهت فیزیکی و نرم‌افزاری می‌توان برای آن محدودیت برشمرد. به موازات افزایش پنجره همسایگی پردازش کامپیوتری سنگین‌تر شده و اگر منطقه مطالعاتی وسیع و یا وضوح مکانی DEM بالا باشد، برای محاسبه هر متغیر مرفومتريک نیاز به صرف زمان زیادی است. از سوی دیگر، ممکن است به‌کارگیری پنجره بزرگ در طبقه‌بندی رویشگاه گونه‌های گیاهی دارای مساحت کوچک کاربردی نباشد.

در بهترین مدل برازش یافته، متغیرهای ES (۱۰۰٪)، G (۵۳/۸۶٪) و LS (۲۹/۱۹٪) دارای بیشترین ارتباط با توزیع مکانی تیپ‌های گیاهی می‌باشند (شکل ۵). متغیر G اگرچه مبتنی بر مشتقات درجه اول DEM است اما متفاوت با دیگر مطالعات (همانند (A-Xing, 2008; Roecker and Thompson, 2010) دارای بیشترین حساسیت نسبت به اندازه همسایگی هستند. متغیرهای مرفومتريک مرتبه دوم (انحنای) سهمی عمده در کنترل پویایی آب یک سیستم خاک به‌ویژه در یک منظر کوهستانی دارند اما در این مدل از کم‌ترین تأثیر در طبقه‌بندی تیپ‌های گیاهی برخوردار بودند. البته تأثیر این متغیرها می‌تواند به‌صورت غیرمستقیم باشد، چرا که تأثیر شناخته شده‌ای بر تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک کلیدی همانند مقدار رطوبت خاک، اجزاء متشکله خاک، ماده آلی و ضخامت افق سطحی خاک



شکل ۵- نمودار اهمیت نسبی متغیرهای مربوط به ضعیف‌ترین (سمت چپ) و بهترین (سمت راست) مدل CART مبتنی بر متغیرهای مرفومتريک در پیش‌بینی تیپ‌های گیاهی

نتیجه‌گیری

کند که متغیرهای ES و MSAVI2 مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌ها در طبقه‌بندی تیپ‌های گیاهی در سطح کل منطقه مطالعاتی بودند. افزایش مقیاس همسایگی منجر به بیشتر شدن تأثیر دیگر متغیرهای مرفومتريک به‌ویژه G در پیش‌بینی تیپ‌های گیاهی و در نتیجه ارتقاء عملکرد مدل CART گردید. اهمیت مقیاس همسایگی در ارتباط با پوشش گیاهی در منطقه‌ای با دامنه تغییرات ارتفاعی کم نمود بیشتری می‌یابد اما در عمده مدل‌سازی‌های مبتنی بر متغیرهای مرفومتريک نادیده گرفته می‌شود. نتایج کلی این مطالعه به‌روشنی بیان می‌کند که کاربرد آنالیز چند مقیاسی می‌تواند با توجه به منطقه مطالعاتی و متغیر هدف عملکرد مدل‌های پیش‌بینی را افزایش دهد.

سپاس‌گزاری

نویسندگان از همکاری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان به‌ویژه جناب مهندس رعیت‌پیشه کمال تشکر و قدردانی را دارند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Abdi, H., Heshmati, G. A. and Mostafalou, H. (2013). The study and comparison of the vegetation at elevation gradient in two medium and cold steppe zones in northeastern part of Golestan province. *Plant Ecosystem Conservation*, 1 (2), 59-70. (In Farsi)
- Albani, M., Klinkenberg, B., Andison, D. W. and Kimmins, J. P. (2004). The choice of window size in approximating topographic surfaces from digital elevation models. *International Journal of Geographical Information Science*, 18(6), 577-593.
- A-Xing, Z., Burt, J. E., Smith, M., Rongxun, W. and Jing, G. (2008) The impact of neighborhood size on terrain derivatives and digital soil mapping. In Zhou, Q., Lees, B. and Tang, G. A. (Eds.), *Advances in digital terrain analysis*. (pp. 333-348). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Azarnivand, H. (1992). Investigation of vegetation cover and soil in relation to geomorphological units in Damghan. In: *Proceedings of the seminar on the study of desert areas issues of Iran*, Volume 1, Desert Research Center of Iran. (In Farsi)
- Evans, I. S. (1979). Statistical characterization of altitude matrices by computer. An integrated system of terrain analysis and slope mapping. The final report on grant DA-ERO-591-73-G0040. Durham, UK: University of Durham.
- Fattahi, B., Aghabeigi Amin, S., Ildoromi, A., Maleki, M., Hasani, J. and Sabetpour, T. (2009). Investigation of some environmental factors effective on *Astragalus gossypinus* in Zagros mountainous rangelands (case study: Geleh Bor rangelands of Hamadan Province). *Journal of Rangeland*, 3(2), 203-216. (In Farsi)
- Florinsky, I. (2016) *Digital terrain analysis in soil science and geology* (Second ed.), Academic Press, Amsterdam.
- Franklin, S. E. (2020). Interpretation and use of geomorphometry in remote sensing: a guide and review of integrated applications. *International Journal of Remote Sensing*, 41(19), 7700-7733.
- Gharachorlou, M., Esfandiari, F. and Dalal oghli, A. (2018). Regression analysis of geomorphic-vegetation cover relationships with emphasis on spatial scale (case study, Arsbaran catchments: naposhtehcay, ilghinehcay and mardanqumcay). *Quantitative Geomorphological Research*, 6(2), 79-98. (In Farsi)
- Ghorbani, M., Gorji, M., Azarnivand, H., Arzani, H. and Ramk Masoumy, T. (2009). Soil, Topography Characteristics and Geology Effects on Distribution of Plants (Case Study: Ghazvin-Kohin Region). *Jwmseir*, 2 (5) :1-10. (In Farsi)
- Huggett, R. and Cheesman, J. (2002) *Topography and the Environment*. Prentice Hall.
- Ju, C., Cai, T. and Yang, X. (2008). Topography-based modeling to estimate percent vegetation cover in semi-arid Mu Us sandy land, China. *Computers and electronics in agriculture*, 64(2), 133-139.
- Keyghobadi, M., Piri Sahragard, H., Pahlavan Rad, M., Karami, P. and Yari, R. (2020). Application of Generalized Additive Model and Classification and Regression Tree to Estimate Potential Habitat Distribution of Range plant species (Case Study:

- Khazri Rangelands of Beyaz Plain, Southern Khorasan). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 27(3), 561-576. (In Farsi)
- Khanifar, J. and Khademalrasoul, A. (2020). Multiscale comparison of LS factor calculation methods based on different flow direction algorithms in Susa Ancient landscape. *Acta Geophysica*, 68(3), 783-793.
- Khanifar, J. and Khademalrasoul, A. (2021). Effects of neighborhood analysis window forms and derivative algorithms on the soil aggregate stability-Landscape modeling. *CATENA*, 198, 105071.
- Lam, N. S. N. (2019) Resolution. In: Wilson J. P. (Ed.), *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge* (2nd Quarter 2019 Edition). DOI: 10.22224/gistbok/2019.2.11.
- Moradi, H. R. (1994). *Investigation between geomorphology units, vegetation, and soil in the Vaz watershed*. Masters dissertation, Tarbiat Moddares University, Iran. (In Farsi)
- Olaya, V. (2009) Basic Land-Surface Parameters. In: Hengle, T. and Reuter, H.I. (Eds.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. (pp. 141-170). Elsevier, Amsterdam.
- Rigol-Sanchez, J. P., Stuart, N. and Pulido-Bosch, A. (2015). ArcGeomorphometry: a toolbox for geomorphometric characterisation of DEMs in the ArcGIS environment. *Computers & Geosciences*, 85, 155-163.
- Roecker, S. M. and Thompson, J. A. (2010). Scale effects on terrain attribute calculation and their use as environmental covariates for digital soil mapping. In Boettinger, J. L., Howell, D. W., Moore, A. C., Hartemink, A. E. and Kienast-Brown, S. (Eds.). *Digital soil mapping: Bridging research, environmental application, and operation*. (pp. 55-66). Springer, Dordrecht.
- Shokrollahi, J. (2009). Relationship between Vegetation Cover and Density with Geomorphologic Unit in a Part of Polur Summer Rangelands. Masters dissertation, Tarbiat Moddares University, Iran. (In Farsi)
- Siegel, S. and Castellan, N. J. (1988) *Nonparametric statistics for the behavioral sciences* (2nd ed.) New York: McGraw-Hill.
- Reports of justification studies of Watershed Management in the Remains of Dez Dam watershed. (n.d.). Natural Resources organization of Iran. (In Farsi)
- Wilson, J. P. (2018) *Environmental Applications of Digital Terrain Modeling*. John Wiley & Sons.
- Wood, J. (1996). The geomorphological characterisation of digital elevation models. Ph. D. dissertation, University of Leicester.
- Young, M., (1978). Statistical Characterization of Altitude Matrices by Computer. Terrain Analysis: Program Documentation: Report 5 on Grant DA-ERO-591-73-G0040. Department of Geography, University of Durham, Durham, UK. 18 pp.
- Zare Chahouki M.A, Mashghooli, M. and Hosein Jafari, S. (2016). Classification of Vegetation Cover related to Environmental Factors (Case study: Gharabagh Rangelands of Azarbaijan Province). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 28(5), 995-1005. (In Farsi)
- Zaremejrjardi, M., Ghodousi, J., Noroozi, A. and 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 Farsi)
- Zhan, Z. Z., Liu, H. B., Li, H. M., Wu, W. and Zhong, B. (2012). The relationship between NDVI and terrain factors--a case study of Chongqing. *Procedia Environmental Sciences*, 12, 765-771.
- Zhu, A. X. (2008) Keynote Paper: Spatial Scale and Neighborhood Size in Spatial Data Processing for Modeling the Natural Environment. In: Mount, N., Harvey, G., Aplin, P. and Priestnall, G. (Eds.), *Representing, Modeling, and Visualizing the Natural Environment*. (pp. 147-165). CRC Press.