

ارزیابی شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) در زون سنندج - سیرجان و زاگرس شکسته

امجد ملکی* - دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه
هاجر مارابی - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
حمید رحیمی - دانشجوی دکتری مخاطرات آب و هوایی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۰۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۶/۲۶

چکیده

مطالعه کمی ناهمواری‌ها، یکی از بخش‌های نوین و کم سابقه در مطالعات داخلی محسوب می‌شود که با توجه به این واقعیت، اعتبارسنجی‌های این نوع مطالعات نیز به همین منوال جایگاه مهمی را به خود اختصاص داده است. در این راستا در تحقیق پیشرو آنالیز شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) به صورت خودکار در دو ناحیه زون سنندج - سیرجان و زاگرس شکسته جهت دستیابی به نتایج صحیح‌تر، مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق با توجه به صحت سنجی و انطباق با شرایط مشاهداتی از بین سایر روش‌ها از روش Dickson & Beier استفاده گردید. پس از تهیه لایه TPI با تفکیک ۴ طبقه (ارتفاعات، شیب تند، شیب ملایم و دره) به روش Dickson & Beier از لایه رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۱۰ متر از کل شهرستان صحنه در استان کرمانشاه، در گام بعدی به صورت پایلوت از هر دو ناحیه ژئومورفولوژیک زاگرس دو قسمت (A= زون سنندج - سیرجان و B= زاگرس شکسته) با ابعاد $6/07 \times 6/07$ کیلومتر انتخاب شدند. در قسمت پایانی پروژه نیز نتایج حاصل از شاخص موقعیت توپوگرافی با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی بررسی شد. نتایج بیانگر تطابق مناسب مقادیر TPI=۱، با دره‌ها و کانیون‌ها (حضور شبکه زهکشی)، TPI=۲، با قسمت‌های سکونتگاهی، زراعی و شیب ملایم، TPI=۳، بر دامنه‌های با شیب تند و پوشش اندک گیاهی و TPI=۴، با سستی است. در دو قسمت نیز بخش‌های با شیب تند، حداکثر مساحت از هر دو زون مورد مطالعه (پایلوت) را شامل شده است و سپس لندفرم‌های شیب ملایم و ارتفاعات و در نهایت نیز دره‌ها نیز حداقل مساحت را به خود اختصاص داده‌اند.

واژگان کلیدی: TPI، Dickson & Beier، زون سنندج - سیرجان، زاگرس شکسته

مقدمه

شناخت علمی و کمی گرایانه موقعیت توپوگرافی همواره یکی از مباحثی بوده که در تحقیقات داخلی بسیار اندک به آن توجه شده است. به عبارتی استفاده از واژه دره، شیب تند، شیب ملایم و ارتفاعات اغلب به صورت کیفی و بدون استفاده از مدل و الگوریتم علمی و ریاضی در تحقیقات داخلی استفاده شده است. این مبحث تأثیر بسزایی در تحلیل‌های ژئومورفولوژیک، هیدرولوژی و محیط‌شناسی دارد.

لندفرم یک عارضه زمین یا سیمای زمینی است که تشکیل آن به وسیله فرایندهای طبیعی به صورتی شکل گرفته که می‌توان آن را با عارضه‌های شاخص توصیف و تعریف کرد و در صورت شناسایی لندفرم اطلاعاتی درباره ساختار خود به همراه ترکیب، بافت یا یکپارچگی ارائه می‌دهد. وجود انواع لندفرم‌ها و تنوع آن‌ها به طور عمده با تغییر در شکل و موقعیت زمین کنترل می‌شود. بنابراین، طبقه‌بندی و شناسایی مناطق مختلف با توجه به ویژگی‌های مورفومتری آن‌ها ضروری می‌باشد (مکرم و نگهبان، ۱۳۹۳: ۵۷). مثال‌های کاربردی زیادی جهت استفاده صحیح از این مدل را می‌توان برشمرد، مانند: مطالعات در زمینه‌های فرسایش و رسوب خاک، تعادل و واکنش‌های آب‌شناختی، فعالیت‌های بادی، جاروب^۱ و زهکش‌های هوای سرد^۲ (جونز^۳ و همکاران، ۲۰۰۰: ۲۳۰) و کف شناسی دریاها (یامپیتر^۴ و کویتک^۵، ۲۰۰۳: ۱).

در مورد پیشینه این نوع پژوهش‌ها مطالعات تقریباً اندکی صورت گرفته که به تلخیص در ادامه خواهد آمد. گویزان^۶ و همکاران (۱۹۹۹) در پژوهشی خصوصیات بوم‌شناختی چشمه‌های کوهستانی در جنوب نوادا را با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی مطالعه کردند. جونز و همکاران (۲۰۰۰) خصوصیات حوضه‌های آبریز مناطق غربی آمریکا را به صورت یک طرح به وسیله شاخص TPI مانیتورینگ نمودند. اما برای نخستین بار و به طور رسمی، وایز^۷ (۲۰۰۱) بیان نمود که چگونه TPI را می‌توان محاسبه نمود. او در این تحقیق شاخص موقعیت توپوگرافی را در کوهستان هود در ایالت اورگان را به صورت پایلوت به کار برد و طبقه‌بندی لندفرمی و توپوگرافی مناسبی را برای این نمونه پیشنهاد نمود. یامپیتر و کویتک (۲۰۰۳) از همین شاخص در طبقه‌بندی لندفرم‌های دریایی اطراف پنسیلوانیا استفاده کردند. آن‌ها در این مطالعه تفاوت‌های به دست آمده از قدرت تفکیک (رزولوشن) DEM را تحلیل نمودند و نهایتاً قابلیت استفاده از شاخص را در مباحث شناخت پتانسیل‌های زیست‌شناختی را، مناسب دانستند. دیکسون و بیر (۲۰۰۶) در پروژه خود محدوده‌های زیستی گربه‌های وحشی ایالات متحده را در رابطه با موقعیت توپوگرافی و با استفاده از شاخص TPI مطالعه نمودند. در این مطالعات روش مذکور با تأکید بر روی مدل ۴ طبقه‌ای صورت پذیرفت. جنز^۸ (۲۰۰۶) بالاخره مدل TPI را (که قبلاً هم در نسخه‌های پیشین نیز معرفی نموده بود) به صورت مدون طراحی و بروز رسانی نمود. پارون^۹ و وارگاس^{۱۰} (۲۰۰۷) در طبقه‌بندی ناهمواری‌های سومالی از ۴ مدل اتوماتیک طبقه‌بندی لندفرم (۶ طبقه وایز)، موقعیت توپوگرافی (۱۰ طبقه وایز)، طبقه‌بندی عوارض سطحی (۶ طبقه وود) و طبقه‌بندی لندفرم (۷ طبقه پنوک و همکاران) استفاده نمودند و پیشنهاد کردند که اعتبار تمامی مدل‌ها با شرایط سطح زمین تطبیق داده شود و با توجه به مبحث منابع آب در این طبقه‌بندی‌ها،

1. Swab

2. Drainage of cold air

3. Jones

4. Iampietro

5. Kvitek

6. Guisan

7. Weiss

8. Jenness

9. Paron

10. Vargas

طبقه دلتا و دشت‌های آبرفتی به نحوی شایسته‌تر تشخیص داده شوند. تاگیل^۱ و جنز (۲۰۰۸) از مدل TPI برای بررسی ویژگی‌های پوشش زمین و زمین‌شناسی، لندفرم‌های منطقه یازورن پولژه در ترکیه، استفاده کردند. بارکا^۲ و همکارانش (۲۰۱۱) انطباق لندفرم‌ها با وضعیت خاک و نواحی جنگل‌ها را مناسب بیان کردند. آن‌ها در این تحقیق از طبقه‌بندی ۹ کلاسه جنز بهره گرفتند. در کاری تازه‌تر جنز و همکاران (۲۰۱۱) مطالعات حول محور TPI را در طراحی محدوده‌های حفاظت‌شده طبیعی، ادامه دادند و این شاخص را بنیاد روش مطالعات این محدوده‌ها قرار دادند. در این پژوهش‌ها نیز، روش TPI با تأکید بر روی مدل ۴ طبقه‌ای پیشنهاد شد. در میان این‌چنین کارهایی دی‌ریو^۳ و همکارانش (۲۰۱۳) در پژوهشی که در شمال غرب بلژیک انجام دادند، چنین اذعان می‌کنند که، مدل TPI را همیشه مناسب نمی‌دانند و پیشنهاد می‌کنند که پیش از بهره‌گیری، اعتبارسنجی انجام بشود. سیف (۲۰۱۴) با استفاده از DEM با دقت ۹۰ متر و شاخص موقعیت توپوگرافی، طبقه‌بندی با ۹ کلاس (وایز) برای ۱۰۶۲ کیلومترمربع از محدوده زاگرس پیشنهاد می‌دهد. زولونسکی^۴ و استفانسکا^۵ (۲۰۱۵) در کار خود تفاوت بین قواعد همسایگی پیکسل‌ها یا اندازه پنجره آنالیز را بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که تفاوت معناداری (تا حد ۵ برابری) بین دو پنجره وسیع و کوچک است و به عبارتی پنجره‌های بزرگ‌تر را مناسب‌تر از پنجره‌های کوچک‌تر معرفی می‌کنند. عایجانی و سرمدین (۲۰۱۵) ارتباط بین جابه‌جایی مواد و شیب را بررسی نمودند. ایشان در این تحقیق دلیل تغییرات لندفرم‌ها را جابه‌جایی مواد در طول زمان از لندفرم‌های بالایی به لندفرم‌های پایین‌تر بیان کردند. در این تحقیق از طبقه‌بندی ۸ کلاسه وایز استفاده نمودند. مکرم و همکاران (۲۰۱۵) با بهره‌گیری از الگوریتم ۱۰ طبقه جنز در دو پنجره ۳×۳ و ۱۰×۱۰ لندفرم‌های گنبدنمکی دشت کرسیا داراب را استخراج نمودند و چنین اذعان کردند که روش یادشده می‌تواند قابلیت مناسبی در ارزیابی زمین‌شناسی داشته باشد. مکرم و حجتی (۲۰۱۶) با مقایسه روش‌های قدیمی و روش TPI در جنوب بجنورد به این نتیجه رسیدند که طبقه‌بندی TPI بسیار مناسب‌تر از روش‌های قدیمی است. آن‌ها در این تحقیق از روش ۹ طبقه وایز استفاده کردند. را برای شایان و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتریک (انحنای حداقل و حداکثر، درصد شیب و انحنای طولی) و الگوریتم طبقه‌بندی MLC^۶ اشکال ژئومورفولوژیک کویر مرنجاب را طبقه‌بندی نمودند. در کاری دیگر نیز شایان و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتریک (انحنای حداقل و حداکثر، درصد شیب و انحنای طولی) و الگوریتم طبقه‌بندی وود^۷ اشکال ژئومورفولوژیک کویر مرنجاب را طبقه‌بندی نمودند. مکرم و نگهبان (۱۳۹۳) با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی منطقه جنوبی شهرستان داراب (DEM با دقت ۳۰ متر) لندفرم‌ها را بر اساس مدل ۱۰ لندفرم وایز طبقه‌بندی نمودند. مکرم (۱۳۹۳) دقت استفاده از روش فازی^۸ در مقابل روش TPI را با بهره‌گیری از مقیاس معادله درجه دوم به‌منظور طبقه‌بندی لندفرم‌های ویرایش شده در ارتفاعات زاگرس، سنجید و دقت روش فازی را بیش از روش TPI بیان نمود. مکرم و نگهبان (۱۳۹۴) با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی حوضه آبخیز حکان لندفرم‌ها را بر اساس مدل ۱۰ لندفرم وایز طبقه‌بندی نمودند و میزان انطباق این شاخص را با طبقات زمین‌شناسی بررسی نمودند. در این پژوهش دقت و طبقات مدل TPI ابتدا با توجه به شرایط واقعی و در درجه بعدی متناسب با رزولوشن DEM

1. Tagil

2. Barka

3. De Reu

4. Zwoliński

5. Stefańska

6. Maximum Linkage Clustering

7. Wood

8. Fuzzy

سنجیده می‌شود. تحقیق حاضر نیز با پیش‌فرض‌های نو، صحت این مدل در دو زون متفاوت زاگرس و با توجه به واقعیات منطقه مورد مطالعه، سرلوحه کار قرار داده است.

مبانی نظری

مفهوم کلی و کاربرد شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) این است که به صورت دقیق و غیر توصیفی مرز لندفرم‌هایی مانند: ارتفاعات، شیب تند، مناطق مسطح، دره و ... را با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی به صورت اتوماتیک و سریع، تعریف و تعیین نماید. به عبارتی دیگر مدل TPI راهکار نوینی جهت تعیین کمی لندفرم‌ها است. اما وابستگی و تابعیت مستقیمی با رزولوشن و شعاع پیکسل‌های همسایه دارد. در تحقیق حاضر نیز با توجه به رزولوشن موجود و مساحت مورد واکاوی، آزمون واقع‌گرایانه‌ای نسبت به طبقه‌بندی صورت پذیرفت. هدف غایی پژوهش نیز بر واقعی بودن طبقه‌بندی به صورتی که بر عوارض زمینی منطبق شود، قرار داده شده است. به عبارت دقیق‌تر آگاهی از تعداد طبقات، رزولوشن و شعاع پیکسل‌های همسایه اصل اولیه استفاده از این شاخص است، که در پژوهش حاضر لحاظ شده است.

این روش بسیار هوشمندانه و ساده طراحی و بر اساس تفاوت مقادیر یک پیکسل به نسبت میانگین پیکسل‌های احاطه‌کننده پیکسل مورد نظر، پایه‌گذاری شده است. درجه اختلافات پیکسل‌ها طبقات شیب را متمایز می‌کند. اگر مقدار پیکسل مورد نظر به صورت معناداری زیاده‌تر یا کمتر از همسایگان احاطه‌کننده باشد به ترتیب بیانگر ارتفاعات (ستیغ) و کف دره‌ها خواهند بود. بنابراین مقادیر حول صفر نیز بیانگر شیب تند تا مسطح خواهند بود. پس معیار تشخیص، مقادیر شیب پیکسل‌ها هستند. لذا هرچه قدرت تفکیک پایین باشد مقادیر Dissolve نیز به تبع بالا رفته و اعتبار مدل نیز پایین خواهد آمد (جنز، ۲۰۰۶). به بیان ساده‌تر هرچه قدرت تفکیک لایه ارتفاعی کم باشد (اندازه پیکسل زیاد باشد) خطای مدل به نسبت شرایط واقعی بیشتر خواهد شد. با توجه به همین اصول و مبنای قرار دادن ارتباط پیکسل‌ها و نحوه قرارگیری ارقام آن‌ها نسبت به یکدیگر و از سویی مقدار رزولوشن و نوع همسایگی پیکسل‌ها، طبقه‌بندی متفاوتی نیز در سطح دنیا ارائه شده است که در ذیل به صورت خلاصه مشاهده می‌گردد (جدول ۱):

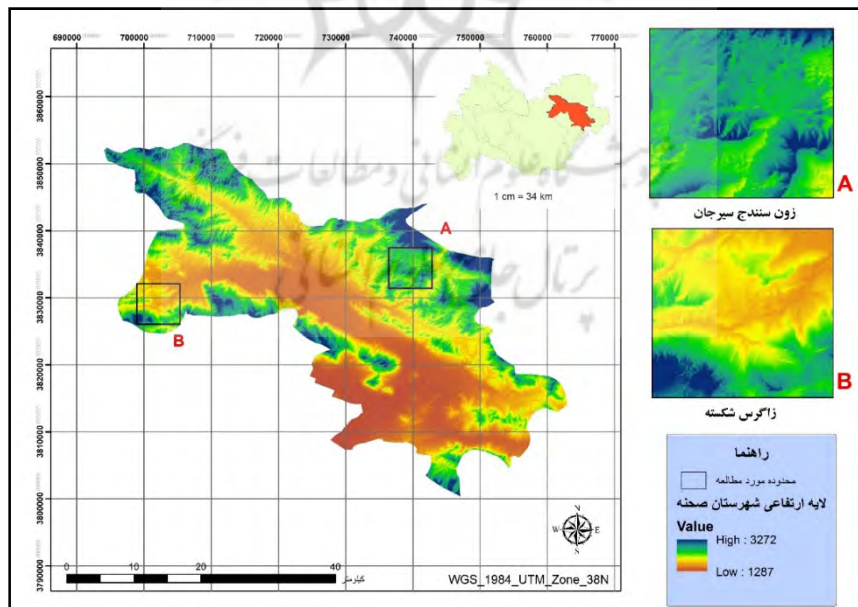
جدول ۱: الگوهای طبقه‌بندی شاخص موقعیت توپوگرافی

تعریف طبقات	طراح پیشنهادی	تعداد طبقه
دره	$TPI \leq [A]$	۳ (جنز و همکاران، ۲۰۱۱)
شیب	$[A] < TPI \leq [B]$	
ستیغ	$TPI > [B]$	
دره	$TPI \leq -8$	۴ (دیکسون و بیر، ۲۰۰۶)
شیب کم	$-8 < TPI \leq 8, Slope < 6^\circ$	
شیب تند	$-8 < TPI \leq 8, Slope \geq 6^\circ$	
ستیغ	$TPI \geq 8$	۶ (وایز، ۲۰۰۱)
دره	$TPI \leq -1 SD$	
شیب کم	$-1 SD < TPI \leq -0.5 SD$	
شیب مسطح	$-0.5 SD < TPI < 0.5 SD, Slope \leq 5^\circ$	
شیب متوسط	$-0.5 SD < TPI < 0.5 SD, Slope > 5^\circ$	
شیب تند	$0.5 SD < TPI \leq 1 SD$	
ستیغ	$TPI > 1 SD$	

دره عمیق	SN ¹ TPI: TPI ≤ -1 LN ¹ TPI: TPI ≤ -1	وایز، (۲۰۰۱)	۱۰
شیب متوسط	SN TPI: TPI ≤ -1 LN TPI: -1 < TPI < 1		
شیب تند	SN TPI: TPI ≤ -1 LN TPI: TPI ≥ 1		
دره U شکل	SN TPI: -1 < TPI < 1, LN TPI: TPI ≤ -1		
دشت	SN TPI: -1 < TPI < 1, LN TPI: -1 < TPI < 1 Slope ≤ 5°		
سطوح باز	SN TPI: -1 < TPI < 1, LN TPI: -1 < TPI < 1 Slope > 5°		
تپه	SN TPI: -1 < TPI < 1, LN TPI: TPI ≥ 1		
ناهمواری	SN TPI: TPI ≥ 1, LN TPI: TPI ≤ -1		
تپه متوسط	SN TPI: TPI ≥ 1, LN TPI: -1 < TPI < 1		
قلل کوهستانی	SN TPI: TPI ≥ 1, LN TPI: TPI ≥ 1		

روش تحقیق

در این تحقیق دو محدوده ارتفاعی (DEM) با دقت ۱۰ متر و به مساحت ۳۶/۸۴ کیلومترمربع از شهرستان صحنه (از توابع استان کرمانشاه)، که یکی منطبق بر زون سنندج سیرجان (A) و دیگری منطبق بر زون زاگرس شکسته (B) است با ابعاد تقریبی ۶/۰۷ × ۶/۰۷ کیلومترمربع را به عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب گردید. نمونه A از عرض ۳۴ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و از طول ۴۷ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی را پوشش داده و نمونه B از عرض ۳۴ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و از طول ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی را شامل می‌گردد (شکل ۱).

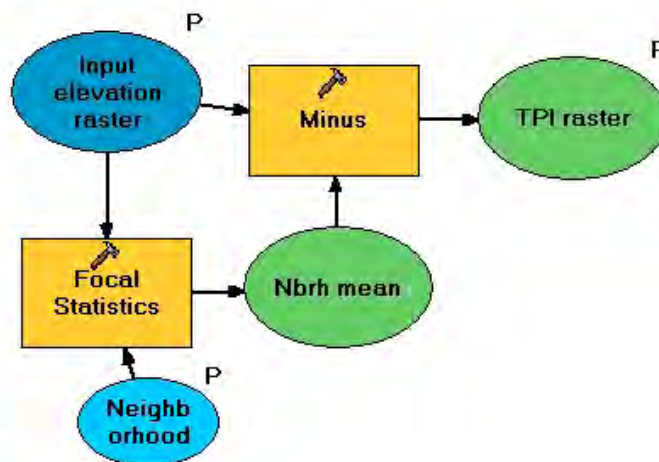


شکل ۱: نقشه موقعیت شهرستان صحنه در استان کرمانشاه و محدوده‌های مورد مطالعه (A, B)

1. Small Neighborhood: مجاورت یا قرابت پایین (در شرایطی که رزولوشن بالا باشد)

2. Large Neighborhood: مجاورت یا قرابت زیاد (در شرایطی که رزولوشن پایین باشد)

در ادامه معادله TPI در مورد محدوده مورد مطالعه اجرا گردید. معادله نرم‌افزاری این ابزار به شکل زیر است (شکل ۲):



شکل ۲: مدل مفهومی معادله شاخص موقعیت توپوگرافی (جنز و همکاران، ۲۰۱۱، ۴۹)

بدین ترتیب که ابتدا باید الگوریتم عادی به دست بیاید که معادله الگوریتم مدل عمومی به شرح زیر است (وایز، ۲۰۰۱):^۱
رابطه (۱):

$$TPI<scalefactor> = \text{int}(((dem - \text{focalmean}(dem, \text{annulus}, \text{irad}, \text{orad}))) + .5)$$

focalmean = میانگین کانونی

scalefactor = شعاع بیرونی برحسب واحد نقشه

irad = زاویه داخلی در سلول‌های متحدالمرکز

orad = زاویه خارجی در سلول‌های متحدالمرکز

سپس باید مدل را استاندارد نماییم که معادله الگوریتم مدل استاندارد شده به شرح زیر است (وایز، ۲۰۰۱):
رابطه (۲):

$$TPI<sf>_{\text{stdi}} = \text{int}((((TPI<sf> - \text{mean}) / \text{stdv}) * 100) + 0.5)$$

به نقل از وایز (۲۰۰۱): به منظور محاسبه TPI طبق معادله زیر ارتفاع هر سلول در یک مدل رقومی ارتفاع با میانگین ارتفاع سلول‌های همسایه بررسی می‌شود. در نهایت ارتفاع میانگین از مقدار ارتفاع در مرکز کم می‌شود (مکرم و نگهبان، ۱۳۹۳):
رابطه (۳):

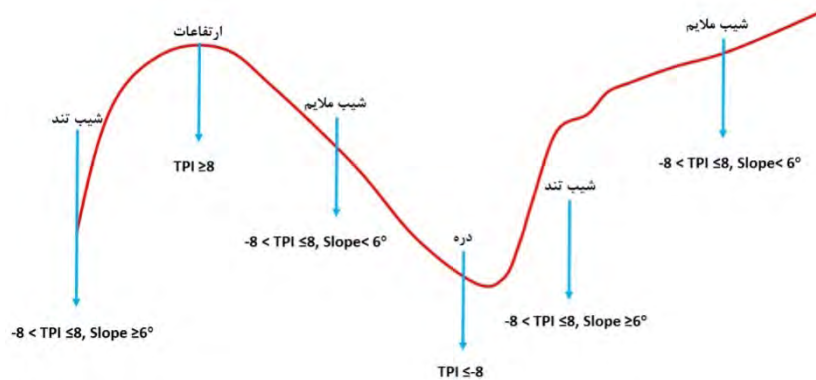
ارتفاع نقطه مدل تحت ارزیابی = Z_0

ارتفاع از شبکه = Z_n

تعداد کل نقاط اطراف در نظر گرفته شده در ارزیابی = Z_0

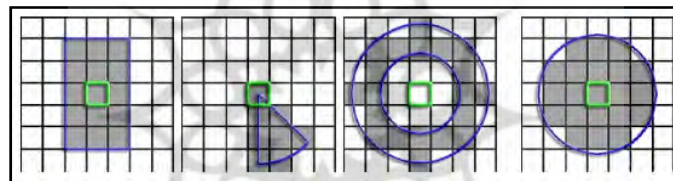
$$TPI = Z_0 \frac{\sum_{n=1}^n Z_n}{n}$$

¹. Poster Reference



شکل ۲: نحوه تعیین لندفرم بر اساس مقادیر TPI (برگرفته از جنز، ۲۰۰۶)

با این اطلاعات از ماهیت مدل، عملیات تحلیل در فضای Arc GIS، با استفاده قاعده شعاع همسایگی دایره‌وار انجام گردید (شکل ۳).



شکل ۳: نحوه محاسبات و رفتار پیکسل‌ها (از راست به چپ: دایره‌وار، حلقوی، کشویی و چهارگوش)

سیس جهت تحلیل شبکه زهکشی به علت تراکم پایین شبکه واقعی آبراهه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Global Mapper از مدل DN^۱، با مقدار SCC^۲، ۱۰۰۰ و دقت DFD^۳، ۱۰ متر، استفاده شده است (این مقادیر بر اساس پیش‌فرض‌های پیشنهادی USGS تکمیل گردید).

بحث و یافته‌ها

- زون سندج- سیرجان (A)

با تحلیل این منطقه به این نتیجه می‌رسیم که ۸/۵۲ درصد از مساحت پهنه، دره‌ها، ۲۲/۷۴ درصد شیب ملایم، ۵۷/۶۴ درصد شیب تند و ۱۱/۱۰ درصد ارتفاعات را شامل می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲: خصوصیات شاخص طبقات توپوگرافیک زون A

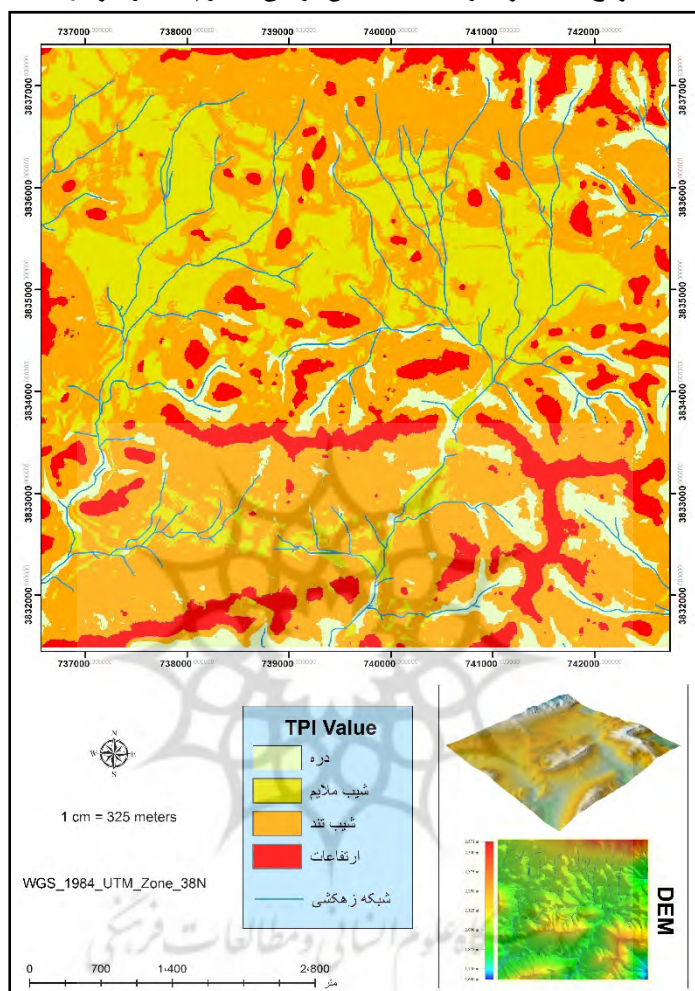
TPI	طبقه	درصد مساحت	مساحت (مترمربع)
۱	دره	۸/۵۲	۳۱۴۰۱۰۰/۹۰
۲	شیب ملایم	۲۲/۷۴	۸۳۷۷۰۳۳
۳	شیب تند	۵۷/۶۴	۲۱۲۳۶۵۹۸/۰۳
۴	ارتفاعات	۱۱/۱	۴۰۸۹۵۱۵/۹۹

^۱ . Drainage Network

^۲ . Stream Cell Count

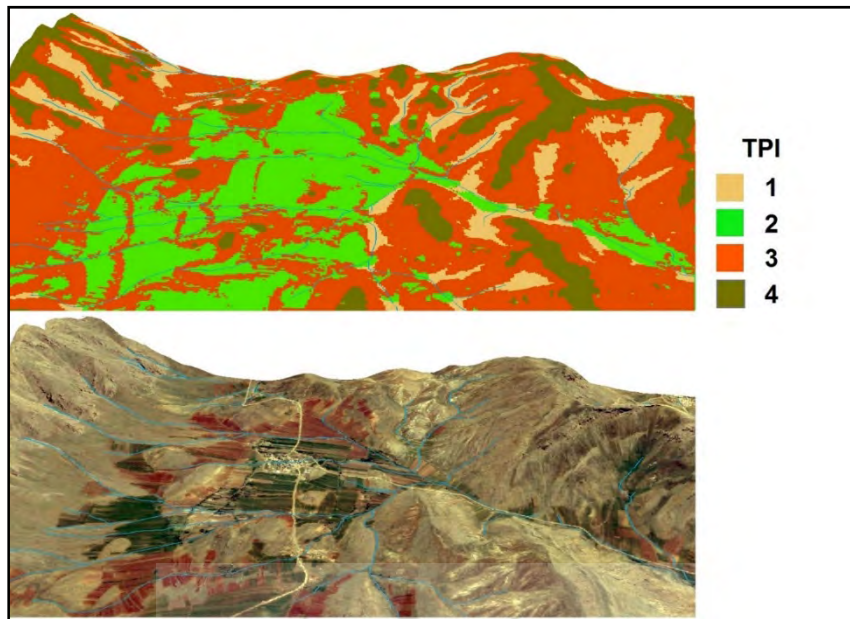
^۳ . Depression Fill Depth

با تحلیل مدل شبکه زهکشی (DN) نیز بر انطباق شبکه آبراهه‌ها بر دره‌ها و طبقه شیب ملایم دست می‌یابیم. یعنی بستر رودها در محدوده $TPI=1$ واقع شده‌اند و آبراهه‌ها با انطباق بر این لندفرم، مسیر خود را ادامه می‌دهند (شکل ۴).



شکل ۴: تحلیل شاخص موقعیت توپوگرافی در زون سنندج - سیرجان

به‌علاوه با آنالیز تصاویر ماهواره‌ای نیز بر انطباق $TPI=1$ بر دره‌ها، $TPI=2$ بر پهناهای سکونتگاهی و زراعی، $TPI=3$ بر دامنه‌های پرشیب و پوشش ضعیف گیاهی و $TPI=4$ بر بخش‌های با شیب بسیار تند و ستیخ‌ها، خواهیم رسید (شکل ۵).



شکل ۵: انطباق شاخص TPI با موقعیت حقیقی، در ناحیه پایلوت زون سنندج - سیرجان

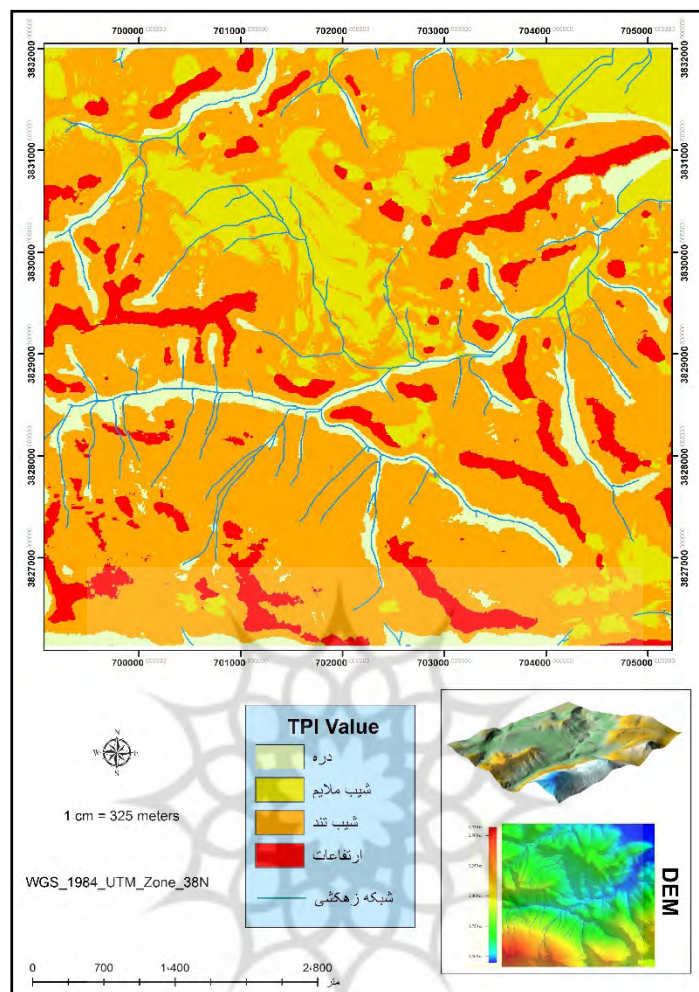
- زون زاگرس شکسته (B)

با تحلیل این منطقه به این نتیجه می‌رسیم که ۸/۰۱ درصد از مساحت پهنه، دره‌ها، ۱۵/۴۲ درصد شیب ملایم، ۶۶/۴۶ درصد شیب تند و ۱۰/۱۰ درصد ارتفاعات را شامل می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳: خصوصیات شاخص طبقات توپوگرافیک زون B

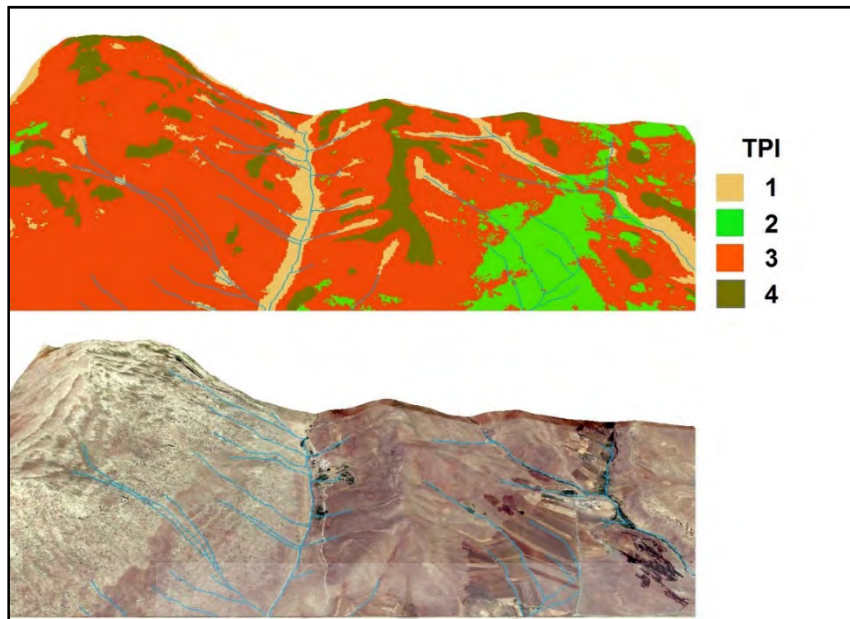
TPI	طبقه	درصد مساحت	مساحت (مترمربع)
۱	دره	۸/۰۱	۲۹۵۰۸۵۹/۳۱
۲	شیب ملایم	۱۵/۴۲	۵۶۸۲۸۰۳/۵۶
۳	شیب تند	۶۶/۴۶	۲۴۴۸۷۴۶۹/۳۶
۴	ارتفاعات	۱۰/۱	۳۷۲۲۱۱۵/۷۱

با بررسی مدل شبکه زهکشی نیز انطباق شبکه آبراهه‌ها بر دره‌ها و طبقه شیب ملایم حاصل می‌گردد. یعنی بستر آبراهه‌ها در محدوده $TPI=1$ واقع شده‌اند و با پیروی از این شکل توپوگرافیک، در جریان خواهند بود. به‌علاوه واکاوی تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی بر تطبیق $TPI=1$ بر دره‌ها، $TPI=2$ بر بخش‌های مسکونی و کشاورزی، $TPI=3$ بر دامنه‌های با شیب تند و پوشش گیاهی تنک و $TPI=4$ بر گستره‌های با شیب بسیار تند و ستیغ‌ها، صحنه می‌گذارد (شکل ۴).



شکل ۶: تحلیل شاخص موقعیت توپوگرافی در زون زاگرس شکسته

در این زون نیز مشابه زون قبلی، با بررسی تصاویر ماهواره‌ای بر انطباق $TPI=1$ ، بر دره‌ها، $TPI=2$ ، بر گستره‌های انسان‌ساخت و زراعی، $TPI=3$ ، بر دامنه‌های دارای شیب تند و پوشش کم گیاهی و $TPI=4$ ، بر بخش‌های با شیب بسیار تند و نواحی مرتفع‌تر، خواهیم رسید (شکل ۵).



شکل ۷: انطباق شاخص TPI با موقعیت حقیقی، در ناحیه پایلوت زون زاگرس شکسته

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه در مطالعات گذشته و حتی در زمان آموزش‌های دانشگاهی تشخیص لندفرم‌ها با تأکید بر معادلات و روش‌های نیمه اتوماتیک بوده، یا اینکه طبقه‌بندی‌ها با استفاده از معادلات جبری تعیین و یا با استفاده از طبقه‌بندی‌های پیشنهادشده روتین بوده است، لذا شرایط واقعی انطباق لندفرم‌ها و توانایی شبیه شدن مدل DEM طی معادلات به لندفرم واقعی و شعاع محاسبات پیکسل‌های همسایه یا در نظر گرفته نشده و یا کمتر به آن توجه شده است. با این اوصاف در این پژوهش دقت و طبقات مدل TPI ابتدا با توجه به شرایط واقعی (داده‌های میدانی) و در درجه بعدی متناسب با رزولوشن DEM سنجیده می‌شود. انتخاب دو ناحیه در دو زون ساختمانی و مورفولوژی متفاوت و نتایج به‌دست‌آمده با توجه به شرایط محیطی نشان از قابل‌اعتماد بودن روش به‌کاربرده شده در تحقیق حاضر و کاربردی بودن آن دارد. با توجه به فقدان داده‌های دقیق ارتفاعی (قدرت تفکیک بالا) استفاده از این مدل قطعاً باید با دقت بالایی انجام شود. در مورد DEM موجود در این تحقیق و شناخت دقیق از منطقه، طبقه‌بندی با روش Dickson & Beier صحیح و منطبق با شرایط طبیعی و واقعی محدوده مورد مطالعه باشد. تأیید این مطلب از شباهت لندفرم‌های به‌دست‌آمده با لندفرم‌های مشاهداتی به دست می‌آید و این نتیجه با توجه به بضاعت و قدرت تفکیک لایه رقمی ارتفاعی موجود، بسیار مناسب است.

از طرف دیگر نیز سرویس جنگل ایالات متحده (USDA Forest Service)، برنامه تعاونی جنگلداری McIntire-Stennis و هیئت تحقیقات جنگل آریزونا نیز در مبحث تشخیص لندفرم‌ها بر طبقه‌بندی دیکسون و بیر تأکید مضاعف دارند (جنز و همکاران، ۲۰۱۱، ۴۹). از نتایج ارزشمند تحقیق توصیه احتیاطی در مورد تفاسیر لندفرم‌ها است که اگر با استفاده از مدل‌های SPC^۱ و LC^۲ انجام شوند باید با رعایت ملاحظات و بررسی‌های میدانی جهت سنجش صحت‌وسقم آن صورت پذیرد. علت این امر در ماهیت زیاد بودن طبقات به‌دست‌آمده و استواری آنالیز بر ارقام پیکسل‌ها واقع شده است. در کنار این موارد مطالعات اخیر (طرح ۳ طبقه جنز و همکاران در سال ۲۰۱۱) به‌صورت ضمنی بر کاهش طبقات تأکید دارند. با این اوصاف استفاده از مدل Dickson & Beier (۴ طبقه) در دو زون زاگرس شکسته و چین-

^۱. Slope Position Classification

^۲. Landform Classification

خورده با تنوع ژئومورفولوژیک بیشتر جهت واکاوی استفاده شد و مقادیر $TPI=1$ ، بر دره‌ها، $TPI=2$ ، بر قسمت‌های سکونتگاهی و زراعی، $TPI=3$ ، بر دامنه‌های با شیب تند و پوشش اندک گیاهی و $TPI=4$ ، بر قسمت‌های با شیب بسیار تند و ارتفاعات مطابقت بسیار مناسبی برقرار می‌نماید. در هر دو ناحیه نیز بخش‌های با شیب تند بیشترین سهم مکانی از هر دو زون (پایلوت) را در بر گرفته است و سپس شیب‌های ملایم و ارتفاعات و در نهایت دره‌ها نیز کمترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند.

منابع

- شایان، سیاوش، احمدآبادی، علی، یمانی، مجتبی، فرج‌زاده اصل، منوچهر و احسان ا. کبیر، ۱۳۹۱، ارزیابی کارایی شاخص‌های ژئومورفومتریک به روش وود در طبقه‌بندی لندفرم‌های مناطق خشک (مطالعه موردی: کویر مرنجاب)، فصلنامه مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش، دوره ۱۶، ش ۱.
- شایان، سیاوش، یمانی، مجتبی، فرج‌زاده اصل، منوچهر و علی احمدآبادی، ۱۳۹۱، طبقه‌بندی نظارت‌شده لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی مناطق خشک با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک (نمونه موردی: منطقه مرنجاب)، سنجش‌ازدور و GIS ایران، سال ۴، ش ۲.
- مکرم، مرضیه و سعید نگهبان، ۱۳۹۳، طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) (مطالعه موردی: منطقه جنوبی شهرستان داراب)، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۳، ش ۹۲.
- مکرم، مرضیه و سعید نگهبان، ۱۳۹۴، طبقه‌بندی لندفرم‌ها بر اساس شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) و ارتباط آن با ویژگی‌های زمین‌شناسی در حوضه آبخیز حکان (شهرستان چهارم)، فصلنامه فرسایش محیطی، سال ۵، ش ۱.
- مکرم، مرضیه، ۱۳۹۳، استفاده از روش فازی به منظور طبقه‌بندی لندفرم‌های ویرایش شده در ارتفاعات زاگرس، استادراهنما: عبدا. سیف، پایان‌نامه دکتری، رشته جغرافیا، دانشگاه اصفهان: دانشکده جغرافیا، اصفهان.
- Alijani, Zohreh and Fereydoun Sarmadian. 2015. The role of slope and parent material in the formation of landform, *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 10(30): 2989-2994.
- Barka, Ivan. Vladovič, Jozef and František, Máliš. 2011. Landform Classification and its Application in Predictive Mapping of Soil and Forest Units, *GIS Ostrava*, 1: 23. – 26.
- De Reu, Jeroen. Bourgeois, Jean. Bats, Machteld. Zwertvaegher, Ann. Gelorini, Vanessa. De Smedt, Philippe. Chu, Wei. Antrop, Marc. De Maeyer, Philippe. Finke, Peter. Van Meirvenne, Marc. Verniers, Jacques and Philippe Crombé. 2013. Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes, *Geomorphology*, Vol.186:39-49.
- Dickson, B. and P. Beier. 2006. Quantifying the influence of topographic position on cougar (*Puma concolor*) movement In Southern California, USA. *The Zoological Society of London. Journal of Zoology*. doi: 10.1111/j.1469-7998.2006.00215.x
- Guisan, A., S. B. Weiss, A. D. Weiss 1999. GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology*, 143: 107-122.
- Iampietro, P., and R. Kvitek. 2002. Quantitative seafloor habitat classification using GIS terrain analysis: Effects of data density, resolution, and scale. In *Proceedings of the 22nd Annual ESRI User Conference*. San Diego, CA, July 8-12.
- Jenness, Jeff. 2006. *Topographic position index. Version 1.3a*. (accessed November 2009) Jenness Enterprises.
- Jenness, Jeff. Brost, Brian and Paul Beier. 2011. *Land Facet Corridor Designer*, USDA Forest Service Rocky Mountain Research Station McIntire-Stennis Cooperative Forestry Program Arizona Board of Forest Research: 110 p.
- Jones, K.B., D.T. Heggem, T.G. Wade, A.C. Neale, D.W. Ebert, M.S. Nash, M.H. Mehaffey, K.A. Hermann, A.R. Selle, S. Augustine, I.A. Goodman, J. Pedersen, D. Bolgrien, J.M. Viger, D. Chiang, C.J. Lin, Y. Zhong, J. Baker And R.D. Van Remortel.

2000. *Assessing Landscape Conditions Relative to Water Resources in the Western United States: A Strategic Approach*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 64: 227 – 245.
- Mokarram, Marzieh and Majid Hojati. 2016. *Comparison of Landform Classifications of Elevation, Slope, Relief and Curvature with Topographic Position Index in the South of Bojnoord*, *ECOPERSIA*, Vol. 4(2): 1343-1359.
 - Mokarram, Marzieh. Roshan, Gholamreza and Saeed Negahban. 2015. *Landform classification using topography position index (case study: salt dome of Korsia-Darab plain, Iran)*, *Earth Syst. Environ*, 1:40.
 - Paron, P., Vargas, R. 2007. *Landform of Selected Study Areas in Somaliland and Southern Somalia. Integrated Landform Mapping Approach at semi-detailed scale using Remote Sensing and GIS techniques*. *FAO-SWALIM. Project Report L-02. Nairobi, Kenya*.
 - Seif, Abdollah. 2014. *Using Topography Position Index for Landform Classification (Case study: Grain Mountain)*, *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci.*, Vol 3 [11]: 33-39
 - Tagil, Sermin and Jenness, Jeff. 2008. *GIS-Based Automated Landform Classification and Topographic, Land cover and Geologic Attributes of Landforms Around the Yazoren Polje, Turkey*, *Journal of Applied Science*, vol. 8, Issue 6, p.910-921.
 - Weiss, A. 2001. *Topographic Position and Landforms Analysis*. *Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA*.
 - Zwoliński, Zbigniew and Eстера Stefańska. 2015. *Relevance of moving window size in landform classification by TPI*, *Geomorphometry*, 5p.