

طبقه بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)

(مطالعه موردی: منطقه جنوبی شهرستان داراب)

مرضیه مکرم^۱

سعید نگهبان^۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۹/۸

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۷/۲۱

چکیده

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، این لندفرم اطلاعاتی درباره ساختار خود به همراه ترکیب، بافت یا یکپارچه بودنش 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. این پژوهش سعی دارد که به طبقه‌بندی لندفرم‌های مختلف در جنوب شهرستان داراب بپردازد. پژوهش از نوع توصیفی - تحلیلی مبتنی بر روش‌های کمی، میدانی، نرم‌افزاری و مدل‌سازی است که در آن از روش شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) برای شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه استفاده شد. داده‌های ورودی در این مدل شامل شیب، انحنا عرضی، انحنا حداقل و انحنا حداکثر است. نتایج طبقه‌بندی مورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه نشان داد که منطقه شامل ۱۰ نوع لندفرم (آبراهه، دره‌های آبراهه‌های میانی، زهکش‌های مرتفع، بالا رود، دره‌های U شکل، دشت‌های کوچک، شیب‌های باز، شیب‌های بالایی، یال‌های مرتفع، یال‌های شیب میانی، قله کوه) است. بیشترین نوع لندفرم در منطقه مورد مطالعه مربوط به آبراهه (۳۲/۱۹٪) و بعد از آن قله‌ها (۲۵/۳۶٪) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ژئومورفولوژی، مورفومتری، طبقه‌بندی لندفرم، روش TPI، موقعیت توپوگرافی، شهرستان داراب.

۱- استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز M. mokarram@shirazu.ac.ir

۲- استادیار ژئومورفولوژی بخش جغرافیا- دانشگاه شیراز snegahban@shirazu.ac.ir

۱- مقدمه

می‌توان پارامترهای ژئومورفولوژی را استخراج و از آن در طبقه‌بندی لندفرم‌ها استفاده کرد. ویژگی‌های مورفومتریک به ویژگی‌های اولیه زمین از قبیل شیب، ارتفاع، انحنا، مماس، انحنا، سطح شاخص و .. بستگی دارد (گالانت و ویلستون، ۲۰۰۰). از این ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی لندفرم‌ها می‌توان استفاده نمود. شناسایی لندفرم‌ها و طبقه‌بندی زمین بر اساس آنها در علوم مختلف قابل استفاده است. شناسایی خاص‌ترین اشکال هندسی پدیده‌های ژئومرفیک، از مهمترین مواردی است که توسط طبیعت تعریف می‌شود. دو مورد از این موارد شامل شناسایی مرزها و محدوده‌های طبیعی پدیده‌های ژئومرفیک، با حداکثر تغییرات در شکل‌گیری و هندسه آنها، و دیگری اختصاص الگوریتم‌های واضح برای تفکیک عوارض مختلف سطح زمین با حداقل تعداد پارامترها می‌باشد. حداکثر تشابه در محدوده داخل هر عارضه و حداکثر اختلاف در مرز با محدوده مجاور، از موارد مهم در مدل‌ها و نظریه‌های ژئومورفولوژیکی می‌باشد.

(Hammond, 1964 و 1974 Speight.)

ونتورا و ایروین^۶ ۲۰۰۰ با استفاده از ویژگی‌های مورفومتریک لندفرم‌ها را طبقه‌بندی نمودند. نتایج این مطالعات نشان داد که طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از روش‌های خودکار دارای دقت بالایی است. همچنین مورنو و همکاران در ۲۰۰۵ طبقه‌بندی خودکار لندفرم‌ها را در محیط GIS با استفاده از ویژگی‌های مورفومتریک انجام دادند.

موسوی و همکاران در ۲۰۰۷ به این نتیجه رسیدند که با استفاده از پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت، انحنا، مماس و انحنا عمودی استخراج شده از مدل رقومی ارتفاع می‌توان پی به ویژگی لندفرم‌ها و طبقه‌بندی آنها برد. جونز^۸ و همکاران ۲۰۰۰ به این نتیجه رسیدند که فرسایش و رسوب می‌تواند تأثیرات عمده‌ای روی لندفرم‌ها و سیمای زمین داشته باشد. ویز^۹ در ۲۰۰۱ با استفاده از شاخص موقعیت

فرایندهای متفاوتی از قبیل حرکات تکتونیکی، فرسایش بر روی پوسته زمین اثرات قابل ملاحظه‌ای گذاشته‌اند. همچنین تغییر شرایط اقلیمی تغییرات وسیعی روی ژئومورفولوژی و هیدرولوژی برای تکامل لندفرم‌ها برجای می‌گذارد (بول، ۱۹۹۱). بنابراین فعالیت‌های تکتونیکی همراه با فرایندهای هیدرولوژی و ژئومورفولوژی و همچنین تغییرات اقلیمی منجر به تغییر در لندفرم‌ها و سیر تکاملی آنها شده است. شناسایی لندفرم‌ها در علوم مختلف از جمله زمین‌شناسی، هیدرولوژی، کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست و همچنین در جغرافیای طبیعی کاربرد دارد که از آن جهت شناخت انواع خاک‌ها، انواع کاربری‌ها و .. استفاده می‌کنند. لندفرم‌ها سطوح پیوسته‌ای از زمین را می‌پوشانند و در نتیجه بستری جهت فعالیت‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی روی سطح زمین محسوب می‌شوند. یکی از روش‌های معمول در علم ژئومورفولوژی طبقه‌بندی پدیده‌ها و عوارض زمین می‌باشد که هدف اصلی طبقه‌بندی در ژئومورفولوژی، استخراج و طبقه‌بندی تغییرات واحدهای سطح زمین (لندفرم) در اثر فعالیت‌های طبیعی است. روش‌های مختلفی برای بیان تنوع واحدهای ژئومورفیک وجود دارند که همه آنها تا حد زیادی مشابه یکدیگر هستند (ویلستون و گالات^۲، ۲۰۰۰). بر اثر تغییرات زمین‌شناسی، هیدرولوژی و پدولوژی، واحدهای مختلف زمین‌شناسی ایجاد می‌شوند (زینک^۳، ۱۹۸۸).

مدل رقومی ارتفاعی، مدلی دیجیتال یا نمایش سه‌بعدی از سطح زمین، ماه یا دیگر سیاره‌ها است که معمولاً برای نمایش ناهمواری‌های زمین و با استفاده از داده‌های ارتفاع از سطح دریا تهیه می‌شود. این مدل به منظور تجزیه و تحلیل توپوگرافی و شکل اراضی قابل استفاده است (بیشاپ و شوردر^۴، ۲۰۰۰؛ تاکر^۵ و همکاران، ۲۰۰۰).

از مشتقات مدل رقومی ارتفاع این است که از طریق آن

6- Galant and Vilston, 2000

7- Vintora And Irvin, 2000

8- Jones, 2000

9- Viz, 2001

1- Bool, 1991

2- Vilston and Galat, 2000

3- Zink, 1998

4- Bishop And Shorder, 2000

5- Taker, 2000

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۵۹)
 طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی / ۵۹

یکسانی بوده و معمولاً از جنس گرانیت، گرانودیوریت، کوارتز و تشکیلات سنگی دیگر می‌باشند (Gilbert, 1877). گیلز^۳ (۱۹۹۸) و همکاران از پارامترهای هندسی شکل (۷ متغیر مثل طبقات ارتفاعی ۲۰ متری)، توپوگرافی (۳ متغیر مثل میانگین شیب)، متغیرهای زمینی (مثل واریانس شیب)، ویژگی‌های طیفی (۴ متغیر مثل میانگین NDVI، متغیرهای طیفی (انحراف معیار NDVI). میلیارسیس^۴ (۱۹۹۹) و همکاران، از پارامترهای هندسی شیب، جهت و مدل رقومی ارتفاعی با ابعاد حدود ۹۲۵ متر و ابعاد پنجره محاسباتی ۹×۹ و روش طبقه‌بندی شبیه‌سازی رواناب و معیار گسترش نواحی استفاده نمودند. گروه‌های حاصل ۳ گروه شامل دامنه‌های دشتی، کوه‌ها، آبخیزها بود. تفکیک عوارض ژئومرفولوژیکی و تهیه نقشه‌های ژئومرفولوژی، شالوده بسیاری از مطالعات ژئومرفولوژی و کاربردهای آن می‌باشد (Evans, 1990). ال شیمی^۵ و همکاران (۲۰۰۵)، به معرفی روش‌های مختلف تهیه مدل رقومی ارتفاعی و شبیه‌سازی عوارض سطح زمین پرداخته و قابلیت‌های آنرا در زمینه‌های مختلف علوم زمین از جمله مخاطرات طبیعی، فرسایش، ژئومرفولوژی، اکولوژی، هیدرولوژی و غیره معرفی کرده است. وی همچنین نقشه‌ها و لایه‌های مختلف اطلاعاتی حاصل از تجزیه و تحلیل مدل‌های رقومی ارتفاعی را که شامل نقشه‌های شیب، جهت، تقعر، تحدب، جهت جریان و سایر پارامترهای مرفومتری را معرفی کرده است. هنگل^۶ و روتر (۲۰۰۹)، به سه مورد بدیهی که می‌توان در تفکیک عوارض سطح زمین تعریف کرد، اشاره می‌کنند. اول آنکه اشکال مختلف عوارض سطح زمین می‌تواند به مثابه تجزیه و تحلیل بر روی سطوح هندسی پیوسته از پارامتر ارتفاع باشد. دوم آنکه در یک مقیاس معین، عوارض سطح زمین ممکن است هرگز بیانگر ناپیوستگی نباشد که این ممکن است با توجه به مرزهای طبیعی عوارض ژئومرفیک، تشخیص

توپوگرافی طبقه‌بندی اتوماتیک لندفرم‌ها را انجام داد و به این نتیجه رسید که این روش بسیار آسان تر و دقیق تر از روش‌های معمولی برای طبقه‌بندی لندفرم‌ها است. مباحث ژئومرفومتری در ایران، بسیار نوپا بوده و تاکنون مطالعه جامعی در این زمینه انجام نشده است. البته بصورت موردی مطالعاتی در زمینه پارامترهای ژئومرفومتری، در زمینه یاردانگ‌های عظیم لوت صورت گرفته است (احسانی، ۱۳۸۹). در خارج از ایران مطالعات زیادی در زمینه تفکیک و شناسایی لندفرم‌ها صورت گرفته است. دیموند^۱ و همکاران (۱۹۹۵)، از پارامترهای هندسی جهت شیب، تقسیم‌بندی ارتفاعی (محاسبه شده بوسیله شیب و ارتفاع) و فاصله از آبراهه، استفاده کردند. مدل رقومی ارتفاعی مورد استفاده، با ابعاد ۱۲/۵ متر و ۲ متر و ابعاد پنجره محاسباتی ۳×۳ بود. روش طبقه‌بندی شامل تفکیک نواحی جهات جغرافیایی با تقسیم توزیع ارتفاعی یا فاصله از آبراهه بوده و گروه‌های حاصل شامل ۷ طبقه (دامنه‌های اصلی، دامنه‌های فوقانی، دامنه‌های تحتانی، دامنه‌های بالایی یا پایینی بخش‌های فوقانی، دامنه‌های بالایی یا پایینی بخش‌های تحتانی)، بدست آمد. ایروین^۲ (۱۹۹۷) و همکاران از پارامترهای هندسی ارتفاع، شیب، مقدار تشعشعات خورشیدی (جهت)، انحنا (مقطع)، تانژانت انحنا، مدل رقومی ارتفاعی با ابعاد ۱۰ متر، و ابعاد پنجره محاسباتی ۳×۳، برای هر ناحیه زهکشی، و روش طبقه‌بندی نظارت نشده یا طبقه‌بندی فازی متغیرها استفاده نموده و گروه‌های حاصل شامل ۸، ۱۰ و ۱۲ طبقه از روش طبقه‌بندی، یا ۱۴ طبقه از روش فازی، بود. مطالعات مناطق دشتی دارای سابقه طولانی در مطالعات ژئومرفولوژی می‌باشند، روش‌ها و طبقه‌بندی‌های مختلفی نیز برای تفکیک و طبقه‌بندی انواع دشت‌ها ارائه شده است. براساس یکی از آنها، دشت‌ها را بطور کلی می‌توان به دو دسته مختلف تقسیم نمود، سطوح دشتی شکل گرفته در مناطق با مقاومت کمتر سنگ بستر در محل تماس با شیب‌های تندتر و دشت‌های سنگی که دارای سنگ‌شناسی

3- Giles, 1988

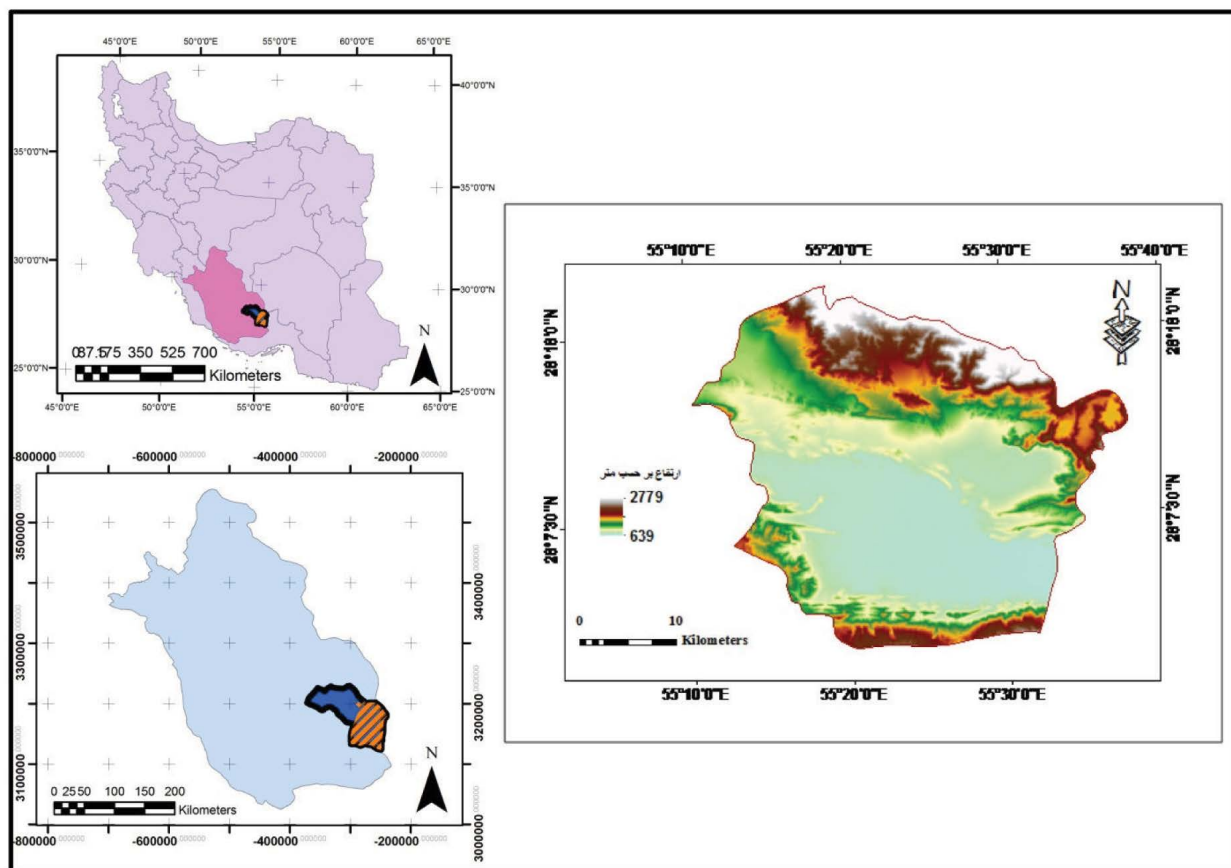
4 . Milardsis, 1999

5- . Elshimi, 2005

6- . Hankel, 2009

1- . Dymond

2- Irvin, 1997



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

همکاران در سال ۱۳۹۱ انجام شد. در این مطالعه شاخص موقعیت توپوگرافی ارتفاع هر نقطه در مدل رقومی ارتفاع را با متوسط نقاط اطراف مقایسه کرده و برای هر منطقه مقادیر کمی بین ۱- تا ۱ را ارائه می‌دهد. بر این اساس تعداد هشت نوع لندفرم در منطقه شناسایی شد. در این پژوهش با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی به طبقه بندی لندفرم‌های نیمه جنوبی شهرستان داراب پرداخته شده است.

۲- محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب شهرستان داراب در عرض جغرافیایی ۲۸°۰۰' تا ۲۸°۲۰' شمالی و طول جغرافیایی ۵۵°۱۰' تا ۵۵°۳۷' شرقی واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۰۸۵ کیلومتر مربع می‌باشد. این منطقه که از لحاظ ژئومورفولوژیکی در زاگرس جنوبی واقع شده است از نظر تقسیمات سیاسی، شامل بخش‌های فورگ و رستاق می‌باشد.

داده شود. سوم اینکه این ناپیوستگی‌ها و سایر ویژگی‌های عوارض سطح زمین، نتیجه فرآیندهای مرفومتری می‌باشد که اغلب تحت تأثیر نیروی ثقل است. استخراج ویژگی‌های زمین‌شناسی اغلب در این ناپیوستگی‌ها مؤثر است.

چارتین^۱ و همکاران (۲۰۱۱)، طبقه‌بندی لندفرم‌ها را با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و ضخامت خاک در جنوب غربی پاریس در فرانسه انجام دادند. نتایج نشان داد که با استفاده از علم مرفومتری می‌توان لندفرم‌ها را طبقه بندی و خاک‌های منطقه را بر اساس ضخامت از یکدیگر متمایز نمود. ارزیابی کارایی شاخص‌های ژئومورفومتریکی به روش وود در طبقه بندی لندفرم‌های مناطق خشک توسط شایان و همکاران (۱۳۹۱) انجام گردیده است. طبقه‌بندی و تفکیک لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی بر اساس مدل رقومی ارتفاع با رزولیشن ۳۰ متر توسط علیجانی و

1- Chartin, 2011

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۶۱)
 طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی / ۶۱

تابعی با ۹ سلول در یک پنجره مرتب شده به شرح زیر را
 انتخاب کرد:

Z ₁	Z ₂	Z ₃
Z ₄	Z ₅	Z ₆
Z ₇	Z ₈	Z ₉

$$a = (z_1 + z_2 + z_4 + z_6 + z_7 + z_9)6g^2 - (z_2 + z_5 + z_8)/3g^2$$

$$b = (z_1 + z_2 + z_3 + z_7 + z_8 + z_9)6g^2 - (z_4 + z_5 + z_6)/3g^2$$

$$c = (z_3 + z_7 - z_1 - z_9)4g^2$$

$$d = (z_3 + z_6 + z_9 - z_1 - z_4 - z_7)6g^2$$

$$e = (z_1 + z_2 + z_3 - z_7 - z_8 - z_9)6g$$

۲-۳- روش TPI

برای جداسازی لندفرم‌های منطقه از مدل رقومی ارتفاع
 با رزولیشن ۳۰ متر در نرم افزار GIS استفاده شد. تعداد ۱۰
 نوع لندفرم بر اساس TPI یا شاخص موقعیت توپوگرافی
 شناسایی شد (Weiss, 2006).

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.

$$TPI_i = Z_0 - \sum_{n-1} Z_n/n \quad \text{معادله (۳)}$$

که

Z₀ = ارتفاع نقطه مدل تحت ارزیابی

Z_n = ارتفاع از شبکه

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

ترکیب TPI در مقیاس کوچک و بزرگ اجازه می‌دهد تا
 انواع اشکال ایجاد شود (جدول ۱).

برای طبقه‌بندی بهتر می‌توان در بین کلاس‌ها نیز
 طبقه‌بندی به صورت دستی انجام داد تا یک طبقه‌بندی بهینه
 برای چشم انداز منطقه مورد مطالعه داشته باشیم. شاخص
 موقعیت توپوگرافی، ارتفاع هر پیکسل در مدل رقومی
 ارتفاع را با پیکسل مشخص اطراف آن پیکسل مقایسه
 می‌کند (نگاره ۲).

۳- روش تحقیق

۳-۱- مقیاس

با توجه به اینکه مقیاس در مطالعه لندفرم بسیار مهم است،
 ابتدا از روش توزیع چند جمله‌ای برای تعیین بهترین مقایسه
 به منظور تفکیک لندفرم‌ها استفاده شد (Wood 1996).

وود^۱ (۱۹۹۶) سائزهای مختلف برای محاسبه مقیاس
 به کار برد. در این روش از مشتقات شیب و انحنا برای
 طبقه‌بندی مقیاس‌ها استفاده کرد. بر طبق نتایج فلورینسکی^۲
 (۱۹۹۸) و اسپچمیدت^۳ و همکاران (۲۰۰۳) حداقل مربعات
 برای یک تابع چند جمله‌ای درجه دوم مناسب است:

معادله (۱)

$$\begin{pmatrix} \sum x_i^4 \sum x_i^2 y_i^2 & 0 & 0 & 0 & \sum x_i^2 & \sum x_i^2 \\ \sum x_i^2 y_i^2 \sum x_i^4 & 0 & 0 & 0 & \sum x_i^2 & \sum x_i^2 \\ 0 & 0 & \sum x_i^2 y_i^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sum x_i^2 y_i^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sum x_i^2 & 0 \\ \sum x_i^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & N \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum z_i x_i^2 \\ \sum z_i y_i^2 \\ \sum z_i x_i y_i \\ \sum z_i x_i \\ \sum z_i y_i \\ \sum z_i \end{pmatrix}$$

N تعداد سلول در اندازه پنجره‌ها انتخاب شده، و مجموع
 محاسبه شد. از مختصات سلول (xi, yi, zi)، کاربر باید یک
 پنجره مناسب برای استخراج ویژگی‌های هندسی که مرتبط با
 ویژگی چشم اندازها و مقیاس است انتخاب کند، اگر جزئیات
 خوبی از چشم انداز مورد نیاز باشد باید اندازه پنجره را کوچکتر
 در نظر گرفت.

با توجه به اندازه میانگین هر یک از عناصر (چاله‌ها، قله‌ها و
 ...) برای مناطق مطالعاتی متفاوت باید اندازه پنجره‌های مختلفی
 را انتخاب کرد. نتایج حاصل از این روش نقشه‌های شیب، با
 انحنای مختلف در یک مقیاس خاص جهانی است (شتمیتو^۴ و
 همکاران، ۲۰۰۳ شریو^۵ و همکاران، ۲۰۰۲).

به عنوان مثال اندازه پنجره ۳×۳ که تا حدودی بوسیله
 ترتیبی از داده‌ها در یک شبکه مربعی ساده شده در زیر
 نشان داده شده است. (بیونز، ۱۹۷۹). ایوانز یک ضریب ۶ برای

1- Wood, 1996
 2- Florinski, 1998
 3- Eschmidet, 2003
 4- Eshtemito, 2003
 5- Sherive,

جدول ۲: طبقه‌بندی لندفرم‌ها بر اساس روش TPI

نوع لندفرم	توصیفات
Canyons, Deeply Incised Streams	آبراهه
Midslope Drainages, Shallow Valleys	دره‌های آبراهه‌های میانی
Upland Drainages, Headwaters	زهکش‌های مرتفع، بالا رود
U-shaped Valleys	دره‌های U شکل
Plains Small	دشت‌های کوچک
Open Slopes	شیب‌های باز
Upper Slopes, Mesas	شیب‌های بالایی
Local Ridges/Hills in Valleys	یال‌های مرتفع
Mid slope Ridges, Small Hills in Plains	یال‌های شیب میانی
Mountain Tops, High Ridges	یال‌های مرتفع، قله کوه

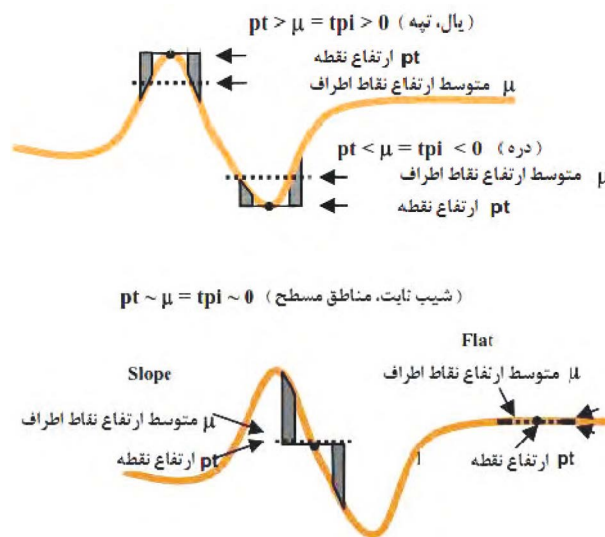
جدول ۱: طبقه بندی انواع لندفرم‌ها بر اساس شاخص موقعیت توپوگرافی

مقدار TPI	نوع لندفرم
$TPI \leq -1$	دره‌های باریک، آبراهه‌ها
$-1 < TPI < 1$	زهکش‌های شیب میانی، دره‌های کم عمق
$TPI \geq 1$	زهکش‌های مناطق مرتفع
$TPI \leq -1$	دره‌های U شکل
$-1 < TPI < 1$, $Slope \leq 5^\circ$	دشت
$-1 < TPI < 1$, $Slope > 5^\circ$	شیب‌های باز
$TPI \geq 1$	شیب‌های بالایی، مساه
$TPI \leq -1$	یال‌های موضعی، تپه‌های موجود در دره
$-1 < TPI < 1$	یال‌های شیب میانی، تپه‌های کوچک موجود در دشت
$TPI \geq 1$	قله کوه، یال‌های مرتفع

۴- نتایج

نتایج حاصل از اعمال تابع توزیع چند جمله‌ای جهت انتخاب بهترین مقیاس به منظور تفکیک لندفرم‌ها در نگاره‌های ۳ و ۴ زیر نشان داده شده است. با توجه به نگاره‌های شماره ۳ و ۴ مشخص می‌شود که از دو پنجره 3×3 (حدافل مقیاس) و 10×10 (حداکثر مقیاس) به منظور تهیه نقشه TPI و در نهایت تهیه نقشه لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه استفاده شد. این دو مقیاس با توجه به کوچکتر بودن مقادیر RMSE نسبت به دیگر مقیاس‌ها انتخاب شده است.

نتایج نشان می‌دهد که مقادیر TPI منطقه مورد مطالعه بین -78 تا 102 برای مقیاس 3×3 و -209 تا 243 برای مقیاس 10×10 است. با توجه به اینکه مقدار RMSE برای مقیاس 3×3 کمتر از مقیاس 10×10 می‌باشد از این مقیاس برای استخراج لندفرم‌های محدوده مورد مطالعه استفاده شد. همانطور که در نگاره ۵ نشان داده شده است، مناطق مرتفع مانند یال و تپه‌ها دارای مقادیر TPI نزدیک به صفر هستند. همچنین مناطق مسطح یا مناطقی با تغییرات شیب کم دارای مقادیر TPI صفر و یا منفی می‌باشند. هر کدام از لندفرم‌های طبقه بندی شده بخشی از منطقه را در بر می‌گیرند که در نگاره ۵ نشان داده شده است.



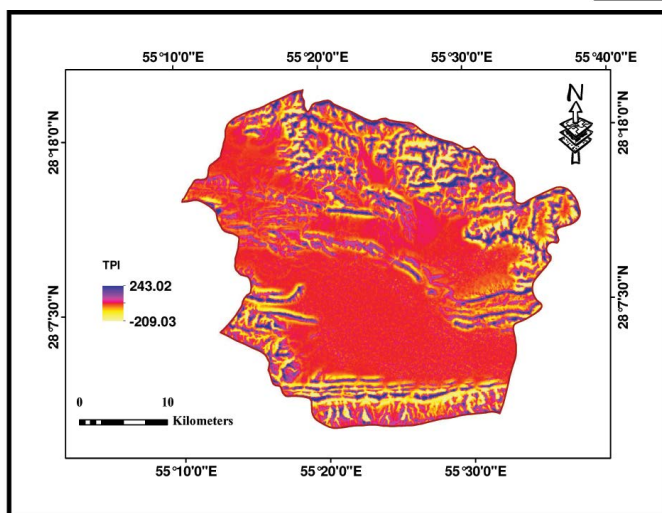
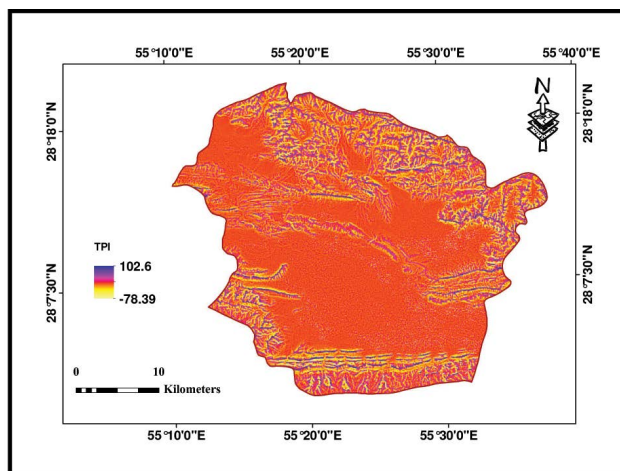
نگاره ۲. نمایش شاخص موقعیت توپوگرافی (Weiss, 2006)

مقادیر مثبت TPI نشان دهنده مناطقی است که بالاتر از نقاط اطراف قرار گرفته (تپه‌ها) و مقادیر منفی TPI نشان دهنده مناطقی است که پایین‌تر از اطرافشان هستند (دره‌ها). مقادیر صفر و نزدیک صفر نیز نشان دهنده مناطق مسطح (جایی که شیب نزدیک صفر است) یا مناطقی با شیب ثابت هستند.

بر اساس مقادیر TPI یک طبقه بندی برای لندفرم صورت گرفته است که به صورت جدول شماره ۲ می‌باشد:

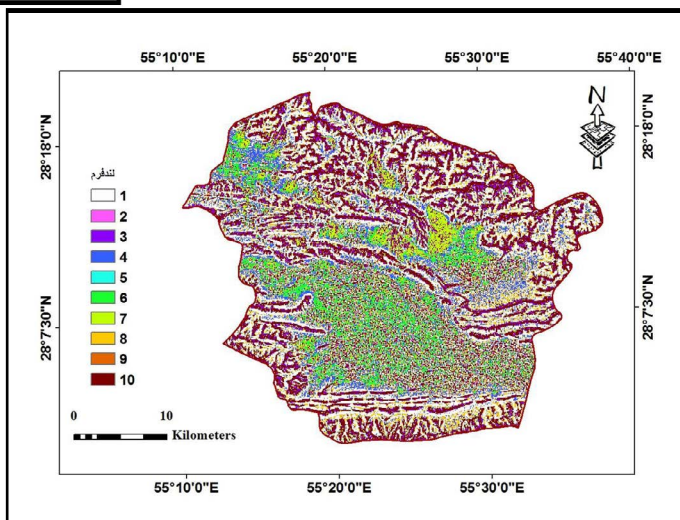
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
 طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی / ۶۳

نگاره ۳: نقشه TPI منطقه مورد مطالعه (۳×۳)



نگاره ۴: نقشه TPI منطقه مورد مطالعه (۱۰×۱۰)

نگاره ۵: نقشه لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه



مناطق مسطح و پست دارای ارتفاع کمتری نسبت به نقاط اطرافشان می‌باشند. میزان مساحت هر یک از لندفرم‌ها بر حسب کیلومتر مربع در جدول زیر آمده است:

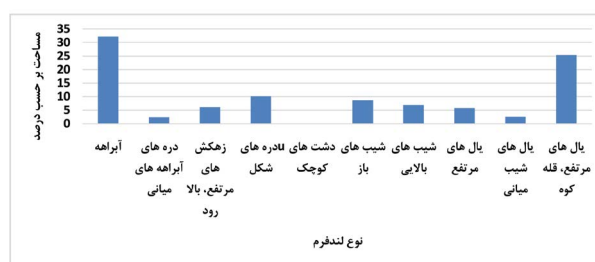
با توجه به نگاره ۵ مشخص می‌شود که لندفرم‌های واقع در مناطق مرتفع دارای مقادیر ارتفاعی بیشتری نسبت به نقاط اطرافشان می‌باشند. همچنین لندفرم‌های تعیین شده در

جدول ۳: مساحت هر یک از لندفرم‌ها در منطقه مورد مطالعه - نتیجه گیری

نوع لندفرم	مساحت بر حسب کیلومتر مربع
۱ آبراهه	۳۴۹/۳۱
۲ دره‌های آبراهه‌های میانی	۲۵/۴۷
۳ زهکش‌های مرتفع، بالا رود	۶۶/۵۳
۴ دره‌های U شکل	۱۰۹/۴۷
۵ دشت‌های کوچک	۰/۴۷
۶ شیب‌های باز	۹۴/۰۳
۷ شیب‌های بالایی	۷۵/۰۹
۸ یال‌های مرتفع	۶۲/۱۲
۹ یال‌های شیب میانی	۲۷/۲۸
۱۰ یال‌های مرتفع، قله کوه	۲۷۵/۲۴
مجموع	۵۰۲۹/۰۹

شاخص موقعیت توپوگرافی کاملاً وابسته به مقیاس است و با توجه به مقیاس مطالعاتی نوع لندفرم‌های جدا شده فرق می‌کند. مروج و همکاران ۲۰۱۲ گزارش نمودند که استفاده از روش‌های خودکار جداسازی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها نسبت به روش‌های معمول می‌تواند پارامترهای مورد نیاز را با جزئیات بیشتر و دقیق‌تر متناسب با موقعیت توپوگرافی منطقه ارائه نماید که می‌تواند در مطالعات مختلف به محققین کمک شایانی نماید.

برایان و همکاران ۱۹۹۸ نیز بیان نمودند که طبقه بندی خودکار لندفرم‌ها و انتخاب پارامترهای زمین را به راحتی می‌توان در مناطقی که دارای توپوگرافی و ژئومورفولوژی مشابه هستند مورد آزمایش قرار داد. در این پژوهش با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی به طبقه‌بندی لندفرم‌های نیمه جنوبی شهرستان داراب پرداخته شد و نتایج نشان داد که مقادیر TPI منطقه مورد مطالعه بین ۷۸- تا ۱۰۲ برای مقیاس ۳×۳ و ۲۰۹- تا ۲۴۳ برای مقیاس ۱۰×۱۰ بوده که مناطق مرتفع مانند یال و تپه‌ها دارای مقادیر نزدیک به صفر بوده و مناطق مسطح یا مناطقی با تغییرات شیب کم دارای مقادیر منفی بوده که نشان دهنده مناطق پست مثل دره‌ها و آبراهه‌ها می‌باشد. نتایج نشان داد که ده نوع لندفرم به نام‌های آبراهه، دره‌های آبراهه‌های میانی، زهکش‌های مرتفع، بالا رود، دره‌های U شکل، دشت‌های کوچک، شیب‌های باز، شیب‌های بالایی، یال‌های مرتفع، یال‌های شیب میانی، یال‌های مرتفع، قله کوه در منطقه شناسایی شد. همچنین با توجه به نتایج مشخص شد که لندفرم‌های واقع در مناطق مرتفع مانند تپه‌ها دارای مقادیر ارتفاعی بیشتری نسبت به نقاط اطرافشان می‌باشند. همچنین لندفرم‌های تعیین شده در مناطق مسطح و پست مانند دشت‌ها و گودال‌ها دارای ارتفاع کمتری نسبت به نقاط اطرافشان می‌باشند. بنابراین از این نوع طبقه بندی لندفرم‌ها می‌توان به عنوان یک الگو برای طبقه بندی و تعیین لندفرم‌ها در مناطق مختلف استفاده نمود.



نمودار ۱: درصد مساحت هر یک از لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه

همانطور که در نمودار ۱ مشخص شده است، ده نوع لندفرم به نام‌های آبراهه، دره‌های آبراهه‌های میانی، زهکش‌های مرتفع، بالا رود، دره‌های U شکل، دشت‌های کوچک، شیب‌های باز، شیب‌های بالایی، یال‌های مرتفع، یال‌های شیب میانی، یال‌های مرتفع، قله کوه در منطقه شناسایی شد.

لندفرم‌های آبراهه بیشترین بخش منطقه را تشکیل داده و لندفرم‌های غالب منطقه محسوب می‌شوند و توزیع مناسبی در قسمت‌های مختلف دارد ولی لندفرم‌های دشت کوچک با حداقل مساحت فقط بخش محدودی از منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
 طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی / ۶۵

delineation in semi detailed soil survey procedure, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Ir . African Journal of Agricultural Research Vol. 7(17), pp. 2592-2600, 5 May, 2012.

11- [10] Mousavi, SR. Fallah, A. Abbasnejad, RA. and Shabani, M. (2007). The Aster DEM Generation for geomorphometric analysis of central alborz mountains, Iran. www.isprs2007ist.itu.edu.tr/18.pdf.

12- Tucker, GE. Catani, F. Rinaldo, A. and Bras, RL. (2001). Statistical analysis of drainage density from digital terrain data. *Geomorphology*, 36: 187-202.

13- Ventura, SJ. And Irvin, BJ. (2000). Automated landform classification methods for soil landscape studies, In: D.J.

14- Weiss, A. (2006). Topographic Position and landforms Analysis. Poster presentation, ESRI user Conference, San Diego, C.A.

15- Wilson and J.C. Gallant (Editors), *Terrain Analysis: Principles and Applications*. John Wiley & Sons, INC, New York, pp. 267-290.

16- Wilson, JP. And Gallant, JC. (2000). *Terrain analysis, principles and applications*. ISBN 0-471-32188-5, John Wiley and Sons, Inc.

17- Zink, JA. (1988). *Physiography & Soils*. ITC Lecture Notes. Enschede, The Netherlands.

منابع و مآخذ

۱- شایان، احمدآبادی، یمانی، فرج‌زاده اصل، کبیر؛ سیاوش، علی مجتبی، منوچهر، احسان الله؛ ۱۳۹۱؛ ارزیابی کارایی شاخص‌های ژئومورفومتریک به روش وود در طبقه‌بندی لندفرم‌های مناطق خشک (مطالعه موردی: منطقه مرنجاب). *مدرس علوم انسانی - برنامه ریزی و آمایش فضا دوره شانزدهم*. شماره ۱ (پیاپی ۷۵).

2- Bishop, MP. and Schroder, JF. (2000). Remote sensing and geomorphometric assessment of topographic complexity and erosion dynamics in the Nanga Parbat massif. *Geological Society London, Special Publication*, 170: 181-199.

3- Brabyn, L. (1998). GIS analysis of macro landform. Department of geology, University of Waikato, Hamilton, New Zealand. Proceeding of the Spatial Information Research Centers. Presented at the 10th Colloquium of the Spatial Information Research Centers, University of Otago, New Zealand, 16-19 November.

4- Bull, W. B. (1991). *Geomorphic response to climatic change*. Oxford University Press, New York.

5- Dehn, M. Holger, G. and Richard, D. (2001). Principles of semantic modeling of landform structures, *Computer and science*, 27: 1005-1010.

6- Etzelmüller, B. and Sulebak, JR. (2000). Developments in the use of digital elevation models in periglacial geomorphology and glaciology, *Physische Geographie*, p. 41.

7- Gallant, JC. And Wilson, DJ. (2000). Primary topographic attributes. In: D.J. Wilson and J.C. Gallant (Editors), *Terrain Analysis: Principles and Applications*. John Wiley & Sons, INC, New York, pp. 51-85.

8- Hugget, R. and Cheesman, J. (2002). *Topography and the environment*. Pearson Education Limited, Harlow.

18- <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp>.

9- Jones, K. and Bruce et al. (2000). Assessing Landscape Conditions Relative to Water Resources in the Western United States: A Strategic Approach. *Environmental Monitoring And Assessment*, 64: 227-245.

10- Moravej, K. and Karimian Eghball, M. (2012). Comparison of automated and manual landform