



سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال چهارم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱
Vol.4, No.2, Summer 2012

۱۹-۲۸

طبقه‌بندی نظارت‌شده لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی مناطق خشک با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریکی (نمونه موردی: منطقه مرنجاب)

سیاوش شایان^{۱*}، مجتبی یمانی^۲، منوچهر فرج‌زاده^۳، علی احمدآبادی^۴

۱. استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه تهران

۳. دانشیار گروه سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس

۴. استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱/۲۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۹/۲۸

چکیده

با توجه به اهمیت مطالعه لندفرم‌ها و پراکنش فضایی آنها در ژئومورفولوژی و سایر علوم محیطی، در این مقاله روشی کمی با استفاده از پارامترهای مورفومتریکی حاصل از مدل رقومی ارتفاع برای طبقه‌بندی لندفرم‌های مناطق خشک ارائه شده است. پارامترهای ژئومورفومتریکی استفاده شده شامل شیب، انحنا، پروفیل، انحنا طولی و انحناهای حداقل و حداکثر هستند که برای تشخیص ویژگی‌های مورفومتریکی و شکلی لندفرم‌ها مناسب‌اند و تا حد زیادی نیز با فرایندهای ژئومورفولوژیکی سروکار می‌یابند. نقشه پارامترهای ژئومورفومتریکی در ساختار رستری و با استفاده از مدل رقومی ارتفاع SRTM در منطقه کویر مرنجاب به‌دست آمد و طبقه‌بندی با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر شباهت (MLC) و نمونه‌های آموزشی برداشت شده از لندفرم‌های منطقه مطالعاتی انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده از این طبقه‌بندی، لندفرم‌های منطقه را در هفت کلاس مخروط‌افکنه، تپه‌های ماسه‌ای مختلط، عرضی و برخان، تیغه سنگی، تپه سنگی و پلایا نشان می‌دهد؛ به طوری که پلایا بیشترین گسترش را در منطقه دارد. نتایج ارزیابی آماری کلاس‌های لندفرمی نیز با سه پارامتر حداقل و حداکثر و میانگین ارائه شده است. به علاوه، ارزیابی دقت طبقه‌بندی با استفاده از نقشه پایه ژئومورفولوژی منطقه مرنجاب انجام گرفته است و نتایج نشان می‌دهند که دقت کلی طبقه‌بندی حدود ۸۱ درصد و شاخص کاپا برابر ۰/۷۳ است.

کلیدواژه‌ها: ژئومورفومتری، لندفرم، طبقه‌بندی نظارت‌شده MLC، مرنجاب.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، جلال آل احمد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، تلفن: ۸۲۸۸۴۶۱۱

۱- مقدمه

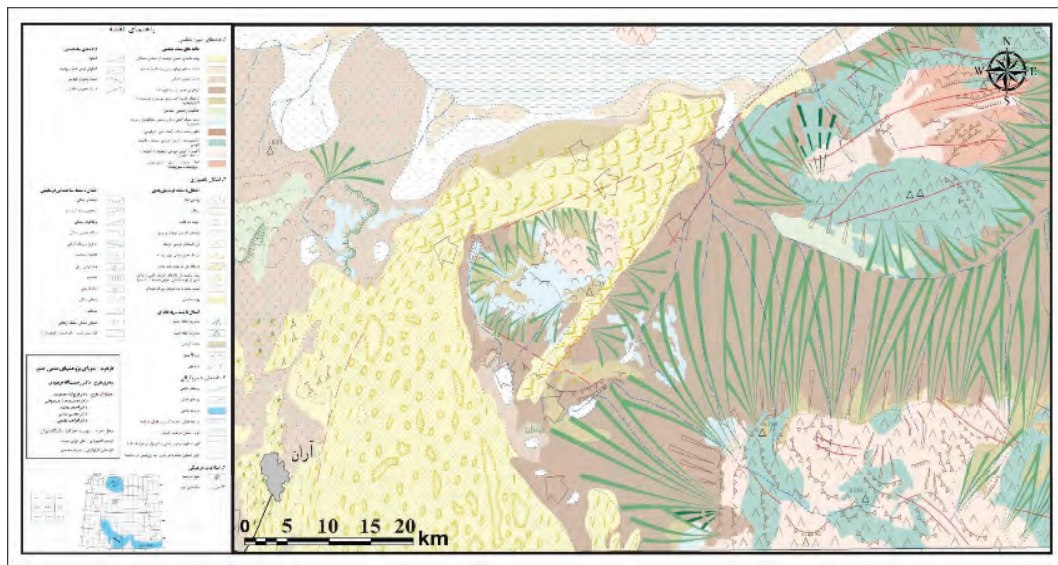
بررسی لندفرم‌ها استفاده می‌کنند. لیکن در اوایل دهه ۱۹۶۰ روش‌های کمی وارد مطالعات لندفرم‌ها شدند (Kosmas Pavlopoulos et al., 2009). در روش سنتی تشخیص لندفرم‌ها تشخیص بصری آنها از روی داده‌های سنجش از دور فاقد سرعت و دقت لازم است و از طرفی وجود مفسر متخصص نیز ضروری است. از این رو استفاده از روش‌های شناخت اتوماتیک لندفرم‌ها از روی داده‌های سنجش از دور، نوعی ضرورت می‌نماید. در ژئومورفولوژی عددی ویژگی‌های فضایی و آماری و همچنین ارتباطات و ویژگی‌های نقطه‌ای مطالعه می‌شود (Evans, 1972). طبقه‌بندی خودکار واحدهای ژئومورفولوژیکی و لندفرم‌ها عمدتاً بر پارامترهای مورفولوژیک متکی است (Giles and Franklin, 1998; Miliarsis, 2001; Bue and Stepinski, 2006). پارامترهای مورفولوژیک بیانگر مشخصات فرم و شکل سطح زمین و همچنین فرایندهای ایجادکننده آن شکل‌ها هستند (Jamieson et al., 2004). و از طرف دیگر مبنای طبقه‌بندی واحدهای فرمی در ژئومورفولوژی نظریه سلسله‌مراتبی به‌شمار می‌آیند (Ramesht, 2006).

مدل‌های رقومی ارتفاعی از منابع مختلفی چون نقاط ارتفاعی، خطوط تراز و یا رادار مانند داده‌های $SRTM^2$ تهیه می‌شوند. تا کنون با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع $srtm$ که از داده‌های به‌کاررفته در این تحقیق است مطالعات زیادی در زمینه‌های مورفولوژی آتشفشان (Wright et al., 2006)، آنالیز اشکال ماسه‌ای بادی (Blumberg, 2006) مدل‌های هیدرولیکی (Ludwig and Schneider, 2006)، تحلیل‌های مورفوتکتونیکی (Grohmann et al., 2007)، طبقه‌بندی‌های توپوگرافی (Iwahashi and Pike, 2007)، و استخراج شبکه زهکشی (Ahmadabadi et al., 2009) انجام پذیرفته است.

در تمامی تعاریف ژئومورفولوژی بر مطالعه و شناسایی لندفرم‌ها تأکید شده است (Lobeck, 1939; Chorley et al., 1964; Summerfield, 1991) و نحوه پراکنش آنها از نیازهای اساسی در علم ژئومورفولوژی کاربردی و سایر علوم محیطی است و نقشه لندفرم‌ها نمایانگر اشکال سطح زمین و نیز ماهیت فرایندهایی است که در ناحیه در زمان حاضر رخ می‌نمایند (Shayan et al., 2004) تولید نقشه از لندفرم‌ها، از وظایف مهم ژئومورفولوژی است و می‌تواند نتایج مفیدی را فراهم سازد، از جمله: (۱) اطلاعاتی در زمینه منشأ پیدایش چشم‌انداز؛ (۲) ابزاری برای تفسیر فرایندهایی که دیده نمی‌شوند؛ (۳) بستری برای مشاهده الگوی توزیع فرایندهای عملکردی و ارتباط بین آنها؛ و (۴) بهبود بخشیدن نمایش ویژگی‌های سطحی زمین و در نظر داشتن ملاحظات ژئومورفولوژیکی در مدیریت سرزمین (Cook and Doornkamp, 1990). از طرف دیگر لندفرم‌ها دست‌کم دو ویژگی اساسی را در خود دارند: اول اینکه نتیجه فرایندهای ژئومورفولوژیک و زمین‌شناختی گذشته‌اند؛ و دوم مرزهایی مشخص‌اند برای تعیین قلمرو حاکمیت فرایندهایی ژئومورفولوژیک کنونی (Dehn et al., 2001). اهمیت مطالعه لندفرم‌ها به حدی است که امروزه موضوع مطالعه ژئومورفومتری^۱ - به‌عنوان زیررشته‌ای از ژئومورفولوژی- ارائه می‌شود. اندازه‌گیری کمی و کیفی لندفرم‌ها براساس آنالیز تغییرات ارتفاعی تحت تأثیر تابع فاصله است. اصل اساسی که ژئومورفومتری بر آن تأکید دارد، وجود ارتباط بین شکل ناهمواری و پارامترهای عددی مربوط به آن برای توصیف و تشریح فرایندهایی است که در تشکیل و تحول لندفرم‌ها نقش دارند. مطالعات سنتی لندفرم‌ها مبتنی بر مورفولوژی و توصیف کیفی اجزای چشم‌اندازهاست و همواره مهم‌ترین منبع اطلاعات درباره چشم‌اندازها بوده است. بیش از چند دهه، ژئومورفولوژیست‌ها از روش‌های کیفی برای توصیف و

1. Geomorphometry

2. Shuttle Radar Topography Mission



شکل ۱. نقشه ژئومورفولوژی، لندفرم، منطقه آران و بیدگل

منبع: مؤسسه جغرافیا دانشگاه تهران، ۱۳۸۱

استفاده از الگوریتم MLC در منطقه مرنجاب است. در این منطقه تنوع فرم‌های جریان (آبی و بادی) اعم از مخروط‌افکنه، پلایا، انواع تپه‌های ماسه‌ای و جز اینها به چشم می‌خورد (شکل ۱).

۲- داده‌ها و روش

۲-۱- استخراج پارامترهای ژئومورفومتری

محاسبه انواع انحنای مدول رقومی ارتفاع رستری، پیکسل به پیکسل محاسبه می‌شود و برای هر سلول یک معادله پلی‌نامیال درجه چهار به کار می‌رود (رابطه ۱) و در یک پنجره با ابعاد 3×3 محاسبه می‌شود (شکل ۲).

نیز با توجه به اینکه محاسبه انحنای در پنجره متحرک و با استفاده از هشت همسایه یک سلول انجام می‌گیرد، امکان تشخیص سلول‌ها و سطح محدب و مقعر وجود دارد.

رابطه (۱)

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$$

استخراج لندفرم‌ها که عناصر سازنده چشم‌اندازها هستند، از مدل رقومی ارتفاع با استفاده از اینها استخراج شده‌اند: روش‌های منطق فازی و طبقه‌بندی‌های نظارت‌نشده (Adediran et al., 2004; Burrough et al., 2000; Irvin et al., 1997 Brown et al., 1998; Hengl) طبقه‌بندی نظارت شده (and Rossiter 2003; Prima et al., 2006 Stepinski and Collier, 2004; Stepinski and Vilata, 2005 Dragut and Blaschke, 2006)، آماره‌های توصیفی چندمتغیره (Dikau 1989; Evans 1972)، و توابع تشخیصی (Giles, 1998). انجام شده است. همچنین ایواهاشی و پایک (2006) با استفاده از سه شاخص گرادیان شیب و تحذب موضعی و بافت سطحی (فراوانی عوارض یا فضای بین آنها) به استخراج عوارض مورفولوژیک پرداخته‌اند.

با توجه به پیشینه تحقیق ارائه‌شده، هدف این تحقیق ارائه روشی کمی بر مبنای پارامترهای ژئومورفومتریکی به منظور طبقه‌بندی لندفرم‌های با

از روابط جدول ۱ در قسمت تحلیل‌های ژئومورفومتریک نرم‌افزار LANDSERF محاسبه گردید و از آن با فرمت رستری در محیط نرم‌افزار ArcGIS خروجی گرفته شد. بنابراین در تحقیق حاضر، شاخص‌های ژئومورفومتریک به جای داده‌های چندطیفی در طبقه‌بندی به کار می‌روند.

۲-۲- طبقه‌بندی حداکثر احتمال

در این تحقیق روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی لندفرم‌ها به کار رفت و از شاخص‌های ژئومورفومتریک به عنوان ورودی این روش استفاده گردید. روش مذکور از روش‌های استاندارد طبقه‌بندی است و براساس نظریه احتمالات طرح‌ریزی شده است. روش مذکور هم به مانند دیگر روش‌ها، از توابع تفکیک تشکیل شده است که براساس آنها می‌توان سطوح تصمیم‌گیری بین کلاس‌ها را تعیین کرد (Hudson, 1987, 1785-1796) قانون تصمیم‌گیری در روش حداکثر احتمال بدین شرح است:

رابطه (۲)

$$P_i(x) = \log p(w_i) - \frac{1}{2} \log \left| \sum_i | \right|$$

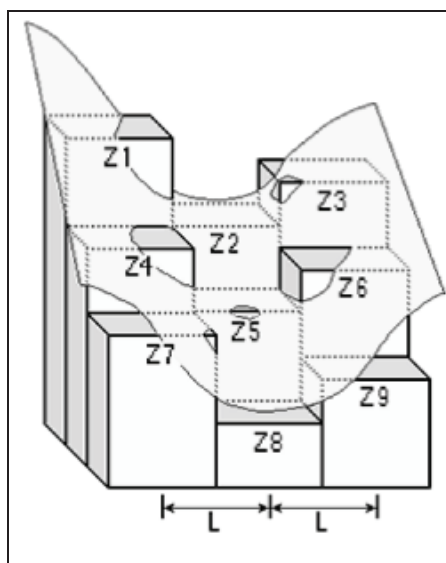
$$- \frac{1}{2} (x - u_i)^T \sum_i^{-1} (x - u_i)$$

$$P_i(x) > P_j(x)$$

جدول ۱. روابط محاسبه پارامترهای ژئومورفومتریک

پارامتر مورفومتریک	رابطه
شیب	$\arctan(\sqrt{d_2 + e_2})$
انحنای پروفیل	$n * g * (a * d^2 + b * e^2 + c * d * e) / (d^2 + e^2)(1 + (d^2 + e^2))^{1.5}$
انحنای طولی	$n * g * (a * d^2 + b * e^2 + c * d * e) / (d^2 + e^2)(1 + (d^2 + e^2))^{1.5}$
انحنای حداکثر	$n * g * (-a - b + \sqrt{(a - b) * (a - b) + c^2})$
انحنای حداقل	$n * g * (-a - b - \sqrt{(a - b) * (a - b) + c^2})$

در روابط ارائه‌شده در جدول، g: قدرت تفکیک مدل رقومی ارتفاع؛ n: ابعاد پنجره متحرک؛ a-f: ضرایب درجه دوم است.



شکل ۲. نمایش شماتیک پارامترهای مورد استفاده در محاسبه انحنای

با توجه به اینکه سطوح پیوسته را با مدل داده رستری می‌توان نمایش داد لذا امکان مشتق‌گیری ریاضی در هر مکان وجود دارد. در عمل، به دلیل اینکه سطوح پیوسته مثلاً با مدل‌های رقومی ارتفاع به صورت گسسته با سلول‌ها نمایش داده می‌شوند، مشتق‌گیری به مفهوم واقعی ریاضی امکان‌پذیر نیست؛ ولی با محاسبه اختلاف بین ارزش‌های سلول‌های مجاور با برآزش چند جمله‌ای با سلول‌های واقع در یک پنجره می‌توان آنها را برآورد کرد (Alimohammadi, 2008). در این تحقیق با به کارگیری ۵ شاخص ژئومورفومتریک اقدام به طبقه‌بندی لندفرم‌ها شد و شاخص‌ها با استفاده

Accuracy Assessment نرم‌افزار پردازش تصویر ERDAS IMAGINE برای طبقه‌بندی حداکثر احتمال و ارزیابی دقت طبقه‌بندی به کار رفت. همچنین به منظور ارزیابی دقت از نقشه پایه ژئومورفولوژی آران و بیدگل - تهیه‌شده در مؤسسه جغرافیای دانشگاه تهران - استفاده شد و برای مؤلفان بروزرسانی و کنترل‌شده نیز کارآمدی داشت.

۳- بحث و بررسی

مدل‌های رقومی ارتفاع، مفیدترین ابزارهای نمایش پستی و بلندی‌های سطح زمین‌اند. این مدل‌ها مبتنی بر داده‌های رستری‌اند که در آنها ارزش هر سلول نمایشگر ارتفاع آن است. بنابراین ساختار ماتریسی آن امکان انجام محاسبات مشتق اول و دوم را فراهم می‌کند. در اینجا به منظور طبقه‌بندی لندفرم‌های منطقه مرنجاب، ابتدا پارامترهای ژئومورفومتریکی محاسبه شد. شکل سطح زمین را به صورت کمی نمایش می‌دهد و بیانگر مشخصات فرم و شکل سطح زمین است. به عنوان مثال در انحنا طولی، مقدار منفی برابر تقعر یا تورفتگی سلول را نشان می‌دهد و مقدار مثبت، تحدب در سلول را. مقدار صفر نیز نشان‌دهنده سطح صاف است (شکل ۳). همچنین دره‌ها یا مناطق همگرا در شاخص انحنا حداقل (شکل ۳)، دارای کمترین مقدار و در شاخص انحنا حداکثر (شکل ۳) دارای بیشترین مقدار هستند ولی در مورد خط‌الرأس‌ها و مناطق واگرایی برعکس است. در بین شاخص‌های استخراج شده شیب مشتق اول و چهار پارامتر انحنا عرضی، طولی، حداقل و حداکثر براساس مشتق‌گیری درجه دوم به دست آمده است که مقادیر هر کدام نمایانگر ویژگی‌های شکلی لندفرم‌هاست.

X: در کلاس i قرار می‌گیرد اگر و فقط اگر

$P_i(x)$: احتمال وجود x در کلاس i

$P(w_i)$: احتمال اولیه کلاس i است و این، میزان

محتمل بودن وقوع کلاس i را در منطقه مورد نظر نشان می‌دهد.

همچنین برای معرفی نمونه‌های آموزشی در طبقه‌بندی، ابتدا نقشه ژئومورفولوژی پایه آران و بیدگل از طریق پیمایش میدانی بروزرسانی و رقومی‌سازی گردید و سپس در منطقه مرنجاب از هر لندفرم موجود، ۵ نمونه آموزشی برای انجام طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال مشخص گردید و به نرم‌افزار اراداس^۱ ارائه شد.

۲-۳- ارزیابی دقت طبقه‌بندی

به منظور ارزیابی دقت طبقه‌بندی و نقشه خروجی لندفرم‌ها دو روش مرسوم در اعتباریابی متقاطع به کار رفته‌اند؛ دقت کلی و شاخص کاپا. دقت کلی از نسبت پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده به کل پیکسل‌ها به دست آمد و رابطه ۳ به منظور محاسبه شاخص کاپا به کار گرفته شد:

$$K = \frac{\phi_1 - \phi_2}{1 - \phi_2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\phi_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m p_{ii} \quad \phi_2 = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^m p_{i.} \times p_{.i}$$

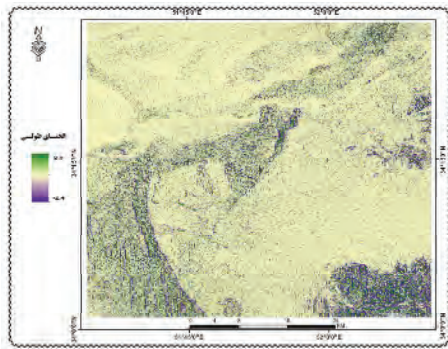
در رابطه مذکور، K شاخص کاپای کلی، P_{ii} عناصر قطر اصلی، و m تعداد کلاس‌هاست.

۲-۴- داده‌های تحقیق

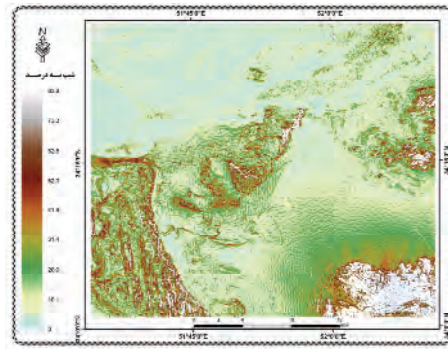
به منظور استخراج شاخص‌های ژئومورفومتریکی منطقه مرنجاب از مدل رقومی ارتفاع SRTM منطقه - با قدرت تفکیک اسمی ۹۰ متر - استفاده گردیده و به کارگیری نرم‌افزارهای ژئومورفومتریکی - MICRODEM- LANDSERF شاخص‌های ژئومورفومتریکی استخراج شده و بخش‌های Supervised Classification و

1. Erdas Imagine

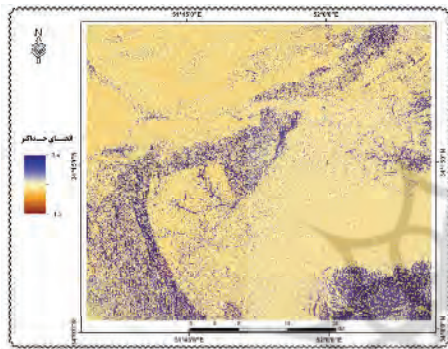
سیاوش شایان و همکاران



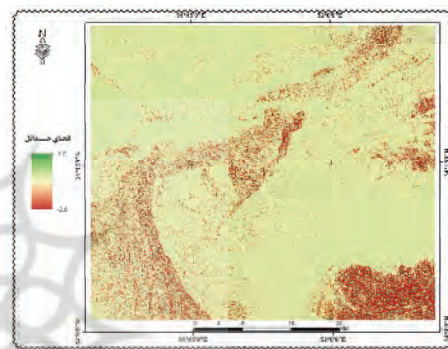
شکل ۳ (ب). پارامتر انحنای طولی



شکل ۳ (الف). پارامتر شیب به درصد



شکل ۳ (د). پارامتر انحنای حداکثر



شکل ۳ (ج). پارامتر انحنای حداقل

شکل ۳. شاخص‌های مورفومتریک مشتق اول و دوم

است. بنابراین شاخص‌های کمی ژئومورفومتریک که بیانگر شکل سطح زمین هستند امکان شناسایی اشکال سطحی زمین را به صورت کمی فراهم می‌سازند و رویکرد اتوماسیون را در شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها میسر می‌کند.

به‌عنوان مثال در منطقه مرنجاب لندفرم برخان نسبت به تپه‌های ماسه‌ای عرضی دارای شیب میانگین مشابهی هستند. این به تنهایی شناسایی دو فرم را ممکن نمی‌کند ولی از طریق شاخص‌های ژئومورفومتریک دیگر اعم از میانگین انحنای حداقل یا حداکثر که در آن دو فرم مذکور اختلاف زیادی دارند، امکان شناسایی و تفکیک وجود دارد (جدول ۲).

به منظور ارزیابی کمی - شکلی لندفرم‌های موجود در منطقه مرنجاب پس از استخراج شاخص‌های ژئومورفومتریک مقادیر میانگین و حداکثر و حداقل برای هر کلاس لندفرمی به دست آمد که به نظر می‌رسد می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی کمی لندفرم‌ها در منطقه خشک باشد (جدول ۲). نتایج ارزیابی کمی نشان می‌دهد که لندفرم‌های مخروط‌افکنه، دشت‌سر و پلایا دارای شیب حداقل صفر هستند ولی در شیب حداکثر مخروط‌افکنه ۱۱/۵؛ دشت‌سر ۱۴ و پلایا ۷/۸۳ درجه‌اند و از نظر شیب میانگین نیز به ترتیب دارای ۱/۶۸-۲/۴۲ و ۰/۶۳ درجه هستند. از طرف دیگر میانگین انحنای حداکثر در مخروط‌افکنه ۰/۰۴۲؛ دشت‌سر ۰/۰۵۲ و پلایا ۰/۰۵۱

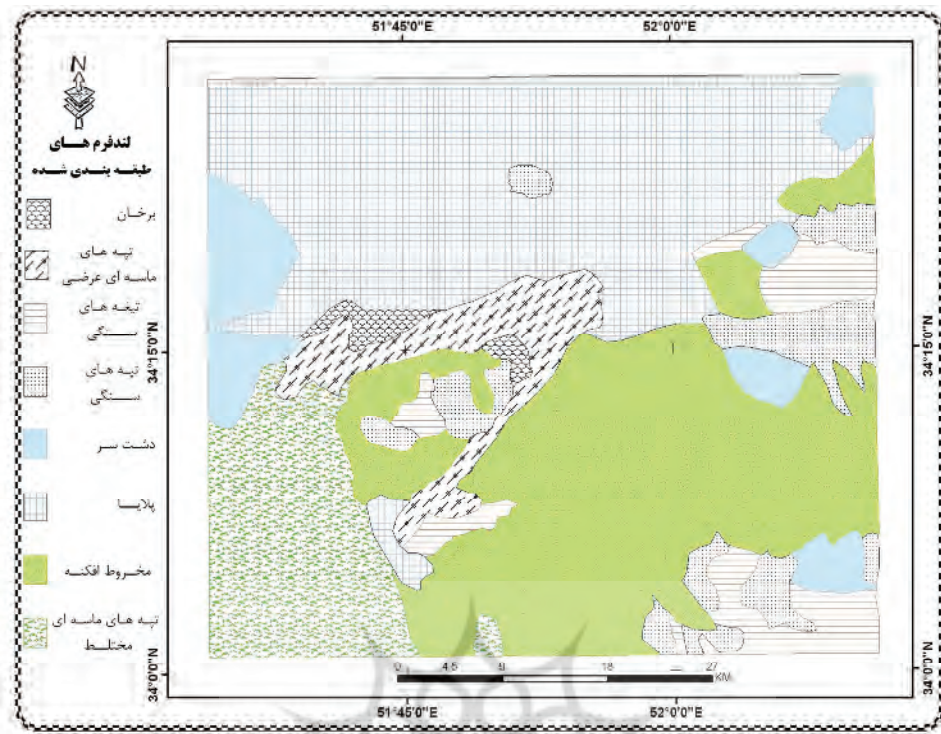
طبقه‌بندی نظارت‌شده لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی مناطق خشک با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک

جدول ۲. مقادیر کمی شاخص‌های مورفومتریک لندفرم‌ها در مناطق مطالعاتی

لندفرم	پارامتر	شیب		انحنای پروفیل		انحنای طولی		انحنای طولی		انحنای طولی		انحنای طولی		انحنای طولی	
		حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین
مخروط‌افکنه	۰	۱۱/۵	۱/۶۸	-۰/۲۳	۰/۳۸۴	-۰/۰۰۴	-۰/۶۵۳	۱/۰۵۸	-۰/۰۰۱	-۰/۲۸۶	۱/۰۸۶	۰/۰۴۲	-۰/۷۳۸	۰/۳۹۲	-۰/۰۴۲
تپه‌های ماسه‌ای مختلط	۰	۱۸/۴	۳/۴	-۰/۴۵۳	۰/۵۳۷	۰/۰۰۱	-۰/۶۵۳	۱/۰۵۸	-۰/۰۰۱	-۰/۵۷۵	۱/۶۳۲	۰/۱۲۷	-۱/۴۳۲	۰/۵۹۱	-۰/۱۲۳
برخان	۰	۱۳/۲۴	۱/۶۷۳	-۰/۲۳۰	۰/۲۳۱	-۰/۰۰۱	-۰/۶۵۶	۰/۶۴۲	-۰/۰۰۳	-۰/۳۱۳	۰/۸۸۵	۰/۰۷۵	-۰/۸۱۳	۰/۳۸۱	-۰/۰۷۴
تپه‌های ماسه‌ای عرضی	۰	۱۲/۴۱	۲/۴۰۱	-۰/۳۰۰	۰/۲۸۷	-۰/۰۰۱۳	-۰/۸۲۸	۰/۷۹۲	-۰/۰۰۳۸	-۰/۴۷۶	۱/۱۷۸	۰/۱۱۸	-۰/۸۶۳	۰/۵۰۱	-۰/۱۱۶
تیغه سنگی	۰/۱	۳۹/۴۸	۷/۶۹	-۰/۶۲۹	۰/۸۷۴	-۰/۰۰۴۷	-۱/۹۹۱	۲/۸۶۹	-۰/۰۱۴۵	-۱/۱۸۸	۳/۳۸۳	۰/۲۳۰	-۲/۷۵۲	۱/۶۶۵	-۰/۲۲۰
دشت‌سر	۰	۱۴	۲/۴۲	-۰/۱۳۸	۰/۱۹۷	-۰/۰۰۲	-۰/۳۹۵	۰/۵۴۴	-۰/۰۰۰۶	-۰/۱۵۲	۰/۶۴۶	۰/۰۵۲	-۰/۴۹۳	۰/۳۸۷	-۰/۰۵۴
تپه سنگی	۰	۳۱/۰	۶/۲۱	-۰/۷۳۵	۰/۹۴۵	-۰/۰۱۱	-۲/۴۳	۲/۶۳۸	-۰/۰۳۲	-۱/۱۲۱	۳/۰۶۵	۰/۲۰۹	-۲/۸۴۸	۱/۱۹۴	-۰/۲۱۲
پلایا	۰	۷/۸۳	۰/۶۳	-۰/۳۶۷	۰/۳۸۳	۰	-۱/۰۲۶	۱/۰۷۴	۰	-۰/۶۲۶	۱/۱۶۶	۰/۰۰۵۱	-۱/۱۵۷	۰/۶۳۲	-۰/۰۵۰

شکل ۴) که دارای ویژگی‌های شکلی یکسانی هستند تفکیک لندفرم‌ها به‌خوبی انجام نگرفته و این خود موجب شده است که بخشی از مخروط‌افکنه جزء پلایا طبقه‌بندی گردد. به نظر می‌رسد برای حل این مسئله، بتوان در مطالعات آتی از داده‌های چندطیفی استفاده کرد. پس از تهیه نقشه لندفرم با استفاده از الگوریتم MLC بر مبنای شاخص‌های ژئومورفولوژیک و به منظور ارزیابی دقت، ماتریس خطا تشکیل شد و دقت طبقه‌بندی برای هر کلاس لندفرمی (پیکسل‌های تشکیل‌دهنده هر لندفرم) مشخص گردید. بدین منظور محدوده‌های لندفرم به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی انجام شده با محدوده‌های لندفرم رقومی شده از نقشه پایه ژئومورفولوژی منطقه آران و بیدگل مقایسه گردید و از این طریق خطاها در طبقه‌بندی معلوم شد و نتایج نشان داد که بیشترین خطا در مناطق مرزی لندفرم‌ها رخ داده است. همچنین ارزیابی دقت حاکی از آن است که روش ارائه‌شده با دقت کلی ۸۱ درصد و شاخص کاپای ۰/۷۳ توانسته است لندفرم‌ها را در منطقه مرنجاب شناسایی و طبقه‌بندی کند و بنابراین به نظر می‌رسد که می‌تواند جایگزینی مناسب یا مکمل برای رویکرد سنتی تفسیر بصری در شناسایی لندفرم‌ها باشد.

با استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتریک و روش طبقه‌بندی حداکثر شباهت، لندفرم‌های منطقه مرنجاب در هشت کلاس طبقه‌بندی گردید. شکل ۴ نقشه طبقه‌بندی لندفرم‌ها را نشان می‌دهد که پس از اعمال طبقه‌بندی، برداری شده است. برای انجام طبقه‌بندی، نمونه‌های آموزشی از هر کلاس لندفرمی با استفاده از نقشه لندفرم تهیه شده از منطقه ارائه گردید. نتایج حاصل از طبقه‌بندی مشخص می‌سازد که لندفرم پلایا با حدود ۹۳۷ کیلومترمربع بیشترین وسعت را دارد و پس از آن مخروط‌افکنه با ۸۵۸ کیلومتر مربع و تپه‌های ماسه‌ای مختلط با ۳۲۶ کیلومترمربع مساحت جای می‌گیرند. ناگفته نماند که در منطقه مرنجاب برخان‌ها با ۳۱ کیلومترمربع کمترین مساحت را اشغال کرده‌اند. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، شکل لندفرم مخروط‌افکنه به‌علت اینکه از چندین مخروط‌افکنه دامنه‌ای متصل به هم تشکیل شده است و از طرف دیگر به دلیل پوشیده بودن قسمتی از آن با تپه‌های ماسه‌ای، دارای شکل مثلثی کلاسیک نیست. نتایج تحقیق نشان می‌دهد اعمال طبقه‌بندی روی شاخص‌های ژئومورفومتریک توانسته است به‌خوبی کلاس‌ها را از هم تفکیک کند؛ ولی در مناطق مرزی لندفرم‌هایی مانند مخروط‌افکنه و پلایا (بخش مرکزی



شکل ۴. نقشه برداری شده لندفرم‌های حاصل از طبقه‌بندی به روش MLC

۴- نتیجه‌گیری

امروزه رویکرد سنتی تفسیر بصری در شناسایی لندفرم‌ها به علت عدم دقت و نیز وقت‌گیر بودن و وابستگی نتایج به تفسیر مفسر، کارایی و سرعت لازم را ندارد. این تحقیق با رویکرد اتوماسیون در شناسایی و طبقه‌بندی اشکال سطحی زمین، روشی کمی را ارائه می‌کند که با استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتریک و الگوریتم طبقه‌بندی MLC لندفرم‌های منطقه خشک و کویری مرنجاب را با لندفرم‌های متنوع آبی و بادی شناسایی و طبقه‌بندی کرده است. نتایج تحقیق نشان داد روش ارائه‌شده توانسته است با دقت کلی ۸۱ درصد و شاخص کاپای ۰/۷۳ لندفرم‌ها را طبقه‌بندی کند. به گونه‌ای که پلایا و مخروط‌افکنه و تپه‌های ماسه‌ای بیشترین گسترش را دارد و برخان کمترین مساحت را در منطقه در بر گرفته است.

۵- منابع

- Adeiran, A.O., Parcharidis, I., Poscolieri, M. & Pavlopoulos, K., 2004, **Computer-Assisted Discrimination of Morphological Units on North-central Crete (Greece) by Applying Ultivariate Statistics to Local Relief Gradients**, *Geomorphology*, 58, PP. 357–370.
- Ahmadabadi, A. Fathnia, A. Vaghefi, M. Salimi, S., 2009, **Assignment Threshold of Basin River Extraction using Digital Elevation Model**, Forth conference of Soil and Water management, Bahonar University.
- Alimohammadi, A., 2008, **Fundamentals of Informations Systems and Sciences**, SAMT.

- Blumberg, D.G., 2006, **Analysis of Large Aeolian (wind-blown) Bedforms Using the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Digital Elevation Data**, Remote Sensing of Environment, 100, PP. 179- 189.
- Brown, D.G., Lusch, D.P. & Duda, K.A., 1998, **Supervised Classification of Types of Laciated Landscapes Using Digital Elevation Data**, Geomorphology, 21, PP. 233-250.
- Bue, B.D. and Stepinski, T.F., 2006, **Automated Classification of Landforms on Mars**, Computers & Geosciences, 32(5), PP. 604-614.
- Burrough, P.A., Van Gaans, P.F.M. & MacMillan, R.A., 2000, **High-resolution Landform Classification Using Fuzzy K-means**, Fuzzy Sets and Systems, 113, PP. 37-52.
- Chorley, R.J., Dunn, A.J., Beckinsale, R.P., 1964, **The History of the Study of Landforms**, V.1. Methuen, London, 678 pp.
- Cooke, R.U., Doornkamp, J.C., 1990, **Geomorphology in Environmental Management**, Clarendon Press, Oxford, 410 pp.
- Dehn, M., Gärtner, H., Dikau, R., 2001, **Principles of Semantic Modeling of Landform Structures**, Computers & Geosciences 27, PP. 1005-1010.
- Dikau, R., 1989, **The Application of a Digital Relief Model to Landform Analysis in Gomorphology**, In: Raper, J., Editor, Three Dimensional Applications in Geographical information Systems, Taylor & Francis, London, PP. 51-77.
- Dragut, L. & Blaschke, T., 2006, **Automated classification of landform elements using Bjectbased Image Analysis**, Geomorphology, 81, PP. 330-344.
- Evans, I.S., 1972, **General Geomorphology, Derivatives of Altitude and Descriptive Statistics**, In R.J. Chorley (Ed.), Spatial Analysis in Geomorphology PP. 17-90. London: Methuen & Co. Ltd.
- Fisher, P., Wood, J., & Cheng, T., 2004, **Where is Helvellyn? Fuzziness of Multiscale Landscape Morphometry**, Transactions of the Institute of British Geographers, 29, PP. 106-128.
- Giles, P.T., and Franklin, S.E., 1998, **An Automated Approach to the Classification of the Slope Units Using Digital Data**, Geomorphology, 21 (3-4), PP. 251-264.
- Giles, P.T., 1998, **Geomorphological Signatures: Classification of Aggregated Slope Unit Objects from Digital Elevation and Remote Sensing Data**, Earth Surface Processes and Landforms, 23, PP. 581- 594.
- Grohmann, C.H., Riccomini, C., & Alves, F.M., 2007, **SRTM-based Morphotectonic Analysis of the Pocos de Caldas Alkaline Massif**, Southeastern Brazil, Computers & Geosciences, 33, PP. 10-19.
- Guth, P.L., 2006, **Geomorphometry from SRTM: Comparison to NED**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 72, PP. 269-278.

- Hengl, T., & Rossiter, D.G., 2003, **Supervised Landform Classification to Enhance and Replace Photo-interpretation in Semi-detailed Soil Survey**, Soil Science Society of America Journal, 67, PP. 1810-1822.
- Hudson W.D., 1987, **Evaluation of Several Classification Schemes for Mapping Forest Cover Types in Michigan**, International journal of remote sensing, Vol. 8, No. 12, PP. 1785-1796.
- Iwahashi, J., & Pike, R.J., 2007, **Automated Classifications of Topography from DEMs by an Unsupervised Nested-means Algorithm and a Three-part Geometric Signature**, Geomorphology, 86, PP. 409-440
- Jamieson, S.S.R., Sinclair, H.D., Kirstein, L.A., Purves, R.S., 2004, **Tectonic Forcing of Longitudinal Valleys in the Himalaya: Morphological Analysis of the Ladakh Batholith**, North India, Geomorphology 58, PP. 49-65.
- Kosmas Pavlopoulos Niki Evelpidou Andreas Vassilopoulos, 2009, **Mapping Geomorphological Environments**; Springer.
- Lobeck, A.K., 1939, **Geomorphology**, McGraw-Hill, New York, 731 pp.
- Ludwig, R. & Schneider, P., 2006, **Validation of Digital Elevation Models from SRTM X-SAR for Applications in Hydrologic Modeling**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 60, PP. 339-358.
- Prima, O.D.A., Echigo, A., Yokoyama, R. & Yoshida, T., 2006, **Supervised Landform Classification of Northeast Honshu from DEM-derived Thematic Maps**, Geomorphology, 78, PP. 73-386.
- Ramesht Mohammad Hossein, 2006, **Symbols and Images in Geomorphology**, SAMT.
- Shayan, S. Mollameheralizadeh, F. Jannati, M., 2004, **Efficiency Remote Sensing Data in Produce Landform Maps and Its Role in Environmental Planning**, Human Sciences modares, Period 9, Num 4, PP. 80-49.
- Stepinski, T.F. & Vilalta, R., 2005, **Digital Topography Models for Martian Surfaces**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2, PP. 260-264.
- Summerfield, M.A., 1991, **Global Geomorphology**, Longman, Harlow, 537 pp.
- Wright, R., Garbeil, H., Baloga, S.M., & Mouginiis-Mark, P., 2006, **An Assessment of Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Data for Studies of Volcano Morphology**, Remote Sensing of Environment, 105, PP. 41-53.