



شماره ۱۱۴، بهار ۱۳۹۶

پژوهش‌های آبخیزداری

(پژوهش و سازندگی)

استخراج اتوماتیک تپه‌های بزرگ ماسه‌ای ریگ ییلان، شرق کویر لوت با استفاده از نقشه‌های خودسازمان‌ده

• امیر هوشنگ احسانی*

استادیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۳

* Corresponding Email: ehsani@ut.ac.ir

چکیده

اشکال متفاوت از تپه‌های ماسه‌ای حدود ۲۰ درصد از سطح بیابان‌های جهان را پوشانده، که ژئومورفولوژی آن‌ها همواره از دیدگاه‌های مختلف مورد توجه بوده است. روش‌های سنتی نقشه‌برداری ژئومورفولوژیک کیفی و یا بر پایه‌ی عملیات‌های میدانی، به دلیل شرایط خاص و دشوار حاکم بر بیابان‌ها بسیار زمان‌بر و پرهزینه است. به ویژه زمانی که منطقه‌ای منحصر به فرد نظیر دشت لوت شامل تپه‌های بزرگ ماسه‌ای در مقیاسی بزرگ تحت بررسی قرار گیرد، روش‌های سنتی به دلیل عدم امکان بازدید صحرایی و دسترسی به منطقه دارای دقت مطلوبی نخواهد بود. در این مطالعه تپه‌های عظیم ماسه‌ای بخش شرقی دشت لوت با توپوگرافی ویژه، به وسیله‌ی یکی از روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی تحت عنوان الگوریتم خودسازمان‌ده مطالعه گردید. در این مطالعه ابتدا ۲۲ پارامتر مورفومتریک نمای اول، نمای دوم و نمای سوم از آخرین نسخه‌ی داده‌های رقومی ارتفاعی رادار SRTM/X با گرید سایز ۱ قوس ثانیه (بزرگنمایی معادل ۳۰ متر) بر اساس برنامه‌نویسی و با کمک برازش یک سطح درجه دوم و درجه سوم محاسبه گردید. سپس پارامترهای مؤثر در طبقه‌بندی و تعداد کلاس‌های متناسب منطقه بر اساس ضرایب کمی OIF و DBI تعیین گردید. پارامترهای بهینه‌ی مورفومتریک همراه با باندهای سنجنده‌ی ETM+ به تاریخ ۲۰۰۱ جهت طبقه‌بندی با الگوریتم شبکه‌ی خودسازمان‌ده مورد استفاده قرار گرفت و نتایج با استفاده از اطلاعات موجود و نقشه‌های توپوگرافی مقایسه گردید. نتایج حاصل نشان داد که شبکه‌ی خودسازمان‌ده به عنوان یک الگوریتم نظارت نشده‌ی شبکه‌های عصبی مصنوعی در تلفیق پارامترهای مورفومتریک و داده‌های ماهواره‌ی لندست برای آنالیز لندفرم‌های بیابان با مقیاس‌ها و توان‌های تفکیک متفاوت بسیار کارآمد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: لندفرم بیابان، لوت، تپه‌های ماسه‌ای، داده‌های ماهواره‌ای، SRTM

Automatic Extraction of Mega Dune of Yealan Erg, Lut Desert by Self Organizing Maps

• Amir Houshang Ehsani

(Corresponding Author) Assistant Professor, Graduate Faculty of Environment, University of Tehran, Iran

Abstract

85 % of Total moving sands in the world are in ergs which cover about 32000 Km². Traditional qualitative methods for geomorphological surveys are based on the field observations which due to harsh condition in deserts are time and money consuming. Lut desert in eastern part of Iran includes the mega dunes which are very interesting landforms but unreachable. This paper presents a new approach using a Self Organizing Map (SOM) as an unsupervised algorithm of artificial neural networks for analysis and identification of Lut mega dunes. The latest version 1 arc second SRTM/X band DEM were re-projected 30 m UTM grid and used to generate 22 morphometric parameters of first order (e.g. slope), second order (e.g. cross-sectional curvature, maximum curvatures and minimum curvature) and third order (extreme curvature) by using a bivariate quadratic surface. The five optimum parameters are selected based on Optimum Index factor (OIF) and used in a SOM to identify morphometric features (or landform). The number of landforms was determined by Davies-Bouldin Index. The ETM+ bands of landsat satellite data also included to input data for increasing the potential of SOM to extract features. The result showed that all mega dunes could clearly be recognized and classified by this method when their width is larger than the DEM resolution. The results also demonstrate that a SOM is a very efficient tool for analyzing geomorphometric features as Aeolian landforms under a hyper-arid environmental condition.

Keywords: Desert Landforms, Lut, Mega dunes, satellite data, SRTM

مقدمه

تپه‌های ماسه‌ای، از کنش متقابل جریان باد و بستر ماسه سرچشمه می‌گیرند. اصولاً شکل و مقیاس تجمعات بادی ماسه‌ای توسط حداقل شش فاکتور میزان ماسه موجود، پراکنش اندازه دانه، انرژی، سرعت و تنوع جهت باد، پوشش گیاهی، وجود یا عدم وجود مانع توپوگرافیکی و تناوب تغییرات اقلیمی، کنترل می‌شود (K. Pye, H. Tsoar, 2009). دشت لوت، در شرق ایران با عوارض بیابانی منحصر به فرد و ویژه‌اش همواره کانون توجه بسیاری از زمین‌شناسان جهان بوده و هست. در فرهنگ عامیانه نواحی بیابانی ایران، واژه ریگ یا ریگزار به ناهمواری‌هایی اطلاق می‌شود که از تجمع انواع تپه‌های ماسه‌ای بوجود آمده باشند مانند ریگ لوت، واژه معادل خارجی که در کتاب‌های ژئومورفولوژی استفاده می‌شود واژه ارگ است. کلمه ارگ از زبان عرب در آفریقای شمالی گرفته شده است و عبارت از توده‌ای از تپه‌های ماسه‌ای فعال و عاری از پوشش گیاهی که منطقه وسیعی را در بر می‌گیرد. گسترش ارگ‌ها بسیار وسیع است، حدود ۶ درصد از کل سطح زمین را به خود اختصاص می‌دهند (K. Pye, H. Tsoar, 2009). بلندترین تپه

ماسه‌ای جهان به ارتفاع حدود ۵۰۰ متر، در بیابان لوت گزارش شده است. شاخص‌ترین ارگ‌ها از بارخانهای ساده‌ای تشکیل شده‌اند که همیشه متصل به هم بوده و بندرت از یکدیگر فاصله دارند. حداقل مساحت ارگ ۴۰ کیلومتر مربع می‌باشد، در مناطق بیابانی ایران دو ارگ بزرگ قابل تشخیص است که یکی از آنها ارگ لوت در شرق دشت لوت به وسعت ۱۰۷۶۳/۲۷ کیلومتر مربع می‌باشد (ع. درویش‌زاده، ۱۳۷۰) با تجمعی عظیم از انواع ساخت‌های ماسه بادی که به زبان محلی به آن «ریگ یلان» می‌گویند. شناسایی و برآورد دقیق این مولفه‌ها برآیندی از میزان تهدید و تخریب را در اختیار مدیران محیطی قرار می‌دهد که بررسی آنها، مناطق گوناگون را از نظر مدیریت محیطی تعیین و اولویت‌بندی می‌کند.

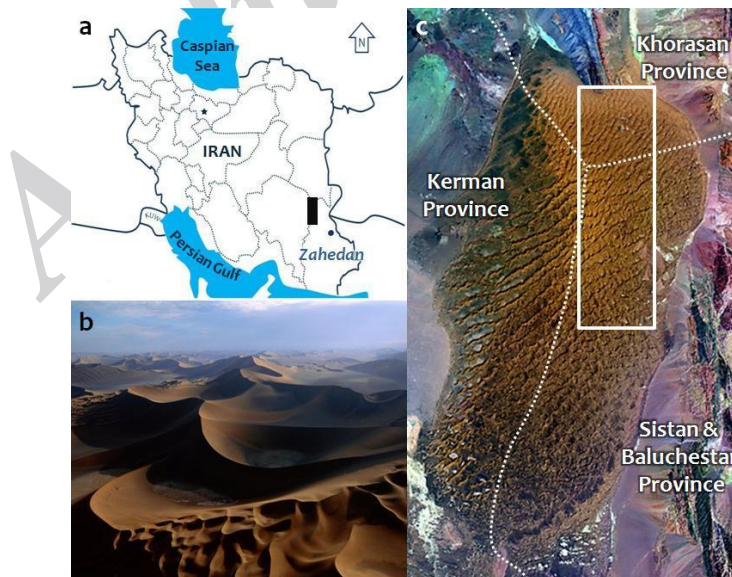
اندازه و اشکال متفاوت تپه‌های ماسه‌ای دیربازی است مورد توجه محققان ژئومورفولوژی است، نخستین اندازه‌گیری‌ها در رابطه با تپه‌های بارخانی و روابط شکل‌شناسی میان آنها توسط بگنولد و فینکل در جنوب پرو انجام شد (R.A. Bagnold; H.J. Finkel, ۱۹۵۹; R.A. Bagnold, ۱۹۴۱). از مطالعات مورفولوژیک قرن حاضر می‌توان به مطالعات هرمان و سایرمان اشاره کرد

پلایای چاه جم را نیز برشمرد (A.H. Ehsani, S.K. Alavi panah, ۲۰۰۲; A.H. Ehsani, F. Quiel, ۲۰۰۳; A.H. Ehsani, S.K. Alavi panah, ۲۰۰۹a). هدف از این مطالعه، تشخیص بهترین پارامترهای ژئومورفومتریک در مناطقی با پدیده تپه ماسه‌ای، بارزسازی و تقسیم‌بندی عوارض شرق دشت لوت با استفاده از روش نیمه خودکار نقشه‌های خودسازمانده و بهینه‌سازی آن است. از آنجا که قدم اول در آمایش سرزمین، پهنه‌بندی بر اساس توپوگرافی یا پهنه‌بندی ژئومورفولوژی است، کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی با قابلیت‌های بی‌نظیرش در این مطالعه می‌تواند راهکار اطمینان بخشی در این راستا باشد و از آنجا که ریگزارها یکی از عوامل بحران در ایران است، لزوم شناسایی و پهنه‌بندی دقیق این مناطق در مدیریت بحران منطقه بسیار حائز اهمیت است.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه جزو حوضه‌ی لوت مرکزی در جنوب شرق ایران واقع شده است. منطقه‌ی مورد مطالعه در محدوده‌ی ریگ یلان که در سه استان کرمان (شرق شهرستان شهداد)، استان سیستان و بلوچستان (شمال غرب شهرستان زاهدان) و استان خراسان (جنوب شهرستان نهبندان) در محدوده جغرافیایی بین « $30^{\circ} 44' 40''$ تا « $30^{\circ} 44' 58''$ شمالی و « $31^{\circ} 49' 44''$ تا « $31^{\circ} 49' 59''$ شرقی واقع است. ارتفاع در این منطقه بین ۶۶۷ و ۱۱۹۸ متر و شیب منطقه بین ۰/۱ و ۳۳/۳۸ درجه متغیر است. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در ایران و محدوده‌ی مورد نظر در شکل ۱ و گلباد و نمودار متوسط بارندگی ماهانه، مربوط به ایستگاه هواشناسی نصرت‌آباد در جنوب شرق منطقه‌ی مورد مطالعه، مربوط به سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۱ در شکل ۲ آورده شده است.

که تپه‌های ماسه‌ای مراکش را مورد مطالعه قرار دادند (H.J. Herrman, G. Sauerman, ۲۰۰۰). بلومبرگ کاربرد مدل رقومی ارتفاع SRTM را در مطالعه تپه‌های ماسه‌ای بیابانی ترکیبی و پیچیده نشان داد (D.J. Bolumberg, ۲۰۰۶). دانیل و هوگز در سال ۲۰۰۷ به مطالعه مورفولوژی بارخان‌های استرالیا پرداختند (J. Daniell, M. Hughes, ۲۰۰۷). هوجنهورتز و بارشین از GDEM برای مطالعه مورفومتریک تپه‌های ماسه‌ای جهانی استفاده کردند (C.H. Hugenholtz, T.E. Barchyn, ۲۰۱۰). در سال ۲۰۱۱ مورن و همکارانش فلات تبت مرکزی به وسعت ۲۸۰۰۰ کیلومتر مربع را با استفاده از تصاویر +ETM و مدل رقومی ارتفاع ۹۰ متری SRTM و تصاویر گوگل ارث طبقه‌بندی ژئومورفولوژی کردند و آن را به چهار پهنه تقسیم کردند (B. Moren et al, ۲۰۱۱). از آخرین مطالعات میتوان به تحقیقی اشاره کرد که در سال ۲۰۱۰ توسط بیشاپ انجام شده است، وی ارگ ربع الخالی در عربستان سعودی را مورد بررسی و آنالیز ژئومورفومتریک قرار داد و با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع GDEM و SRTM به اثرات قابل توجه اقلیم بر این پدیده ژئومورفولوژیک پی‌برد و به بررسی آن پرداخت (M. Bishop, ۲۰۱۰). در باب استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی در مبحث ژئومورفولوژی کمی، احسانی و همکاران در سال ۲۰۰۸ لندفرم‌های بخش مرکزی بیابان لوت را با استفاده از الگوریتم شبکه‌ی خودسازمانده طبقه‌بندی کردند (A.H. Ehsani, F. Quiel, ۲۰۰۸a). آنها تأثیر اندازه توان تفکیک بر بارزسازی عوارض مورفولوژیک در مدل رقومی ارتفاع SRTM و کاربرد آن در پهنه‌بندی نیز مورد بررسی قرار دادند (A.H. Ehsani, F. Quiel, ۲۰۰۸b; ۲۰۱۰). از ترکیب داده‌های SRTM و +ETM با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی می‌توان به استفاده از این ترکیب در آنالیز منظر در مسائل اکولوژیکی اشاره کرد، در بررسی داده‌های +ETM در مناطق بیابانی می‌توان تحقیق در

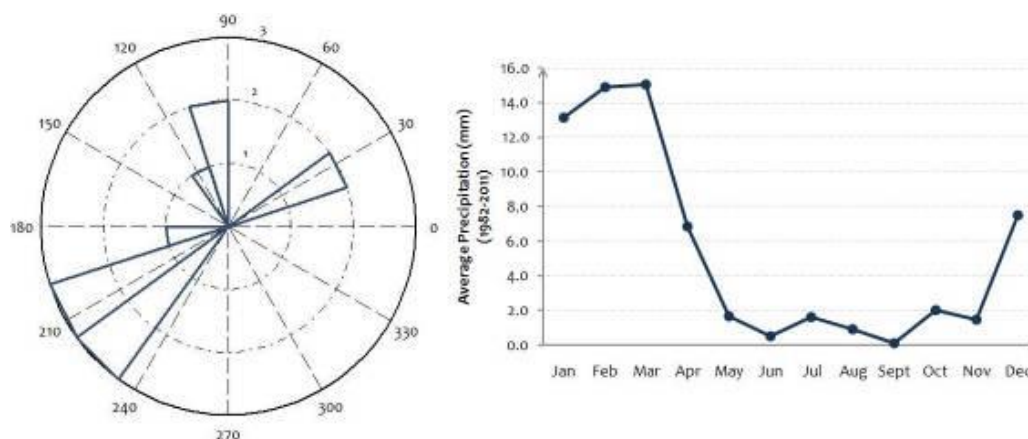


شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در ایران (a)، تصویری نزدیک از ارگ یلان و بلندترین تپه‌های ماسه‌ای جهان (b)، محدوده‌ی ارگ لوت و منطقه‌ی مورد مطالعه (ارگ یلان) در مرز سه استان کرمان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی (تصویر لندست ۷، سال ۲۰۰۱) (c)

روش تحقیق

مانند دیگر آنالیزهای ژئومورفولوژی کمی مدل‌های رقومی ارتفاع به عنوان مبنای کار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به این منظور آخرین نسخه‌ی ۳ داده SRTM/X با گرید سایز ۱ آرک ثانیه (رزولوشن معادل ۳۰ متر)، توان تفکیک تابش سنج ۸ bit، و دقت عمودی RMSE ۱۰ متر به سیستم تصویر UTM تبدیل گردید (شکل ۳). این داده در بعضی مناطق از ارگ

یلان دارای خطا و نوفه بالاست، به همین دلیل تنها از بخش دقیق آن در این مطالعه استفاده شده است. برای استخراج لایه‌های مورفومتریکی متفاوت از مدل رقومی ارتفاع از نرم‌افزار برنامه‌نویسی متلب (MATLAB ۲۰۱۰) استفاده شده است و در رابطه با پهنه‌بندی از آخرین نسخه‌ی IDRISI Taiga استفاده شده است.



شکل ۲- نمودار متوسط بارندگی ماهانه (سمت راست) و گلباد (سمت چپ) مربوط به سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۱ مربوط به ایستگاه نصرت‌آباد در جنوب شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه در شهرستان زاهدان

نورون است، وزن نورون مقدار ضرایب وزنی از ورودی به گره خروجی در زمان است، بردار ورودی و زمان یادگیری است. نورونی که دارای کمترین مقدار فاصله، با بردار یا داده ورودی باشد نورون برنده محسوب می‌شود. در مرحله‌ی نهایی صفحه نقشه توپولوژیک نورون‌ها در کنار هم قرار گرفته‌اند. نورون‌های اطراف نورون برنده در این صفحه متناسب با فاصله قرارگیری‌شان نسبت به نورون برنده در نقشه توپولوژیک تصحیح می‌شوند. تصحیح نورون‌های مجاور نورون برنده بر اساس رابطه زیر انجام می‌گیرد:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \text{eta}(t) * (x_i(t) - w_{ij}(t)) \quad (2)$$

که در این رابطه، همان ضریب بهره است که بتدریج در طول زمان کاهش می‌یابد. اندازه‌ی شعاع همسایگی، نیز بتدریج کاهش می‌یابد و بدین صورت محدوده بالاترین فعالیت یا تأثیر نورون برنده بر روی نورون‌های مجاورش مرتباً کاهش می‌یابد. با اعمال این رابطه مقادیر وزنی نورون‌های مجاور به مقادیر وزنی نورون برنده شبیه‌تر می‌شوند. وقتی پس از انجام تصحیحات نقشه توپولوژیک به پهنه‌های همگن تقسیم شود شبکه آموزش دیده شده است (A.H. Ehsani, F. Quei, 2008a; M. Forootan et al. 2011).

خصوصیات اولیه زمین که قابل مطالعه‌اند آن دسته پارامترهایی هستند که از مشتق درجه اول سطح زمین استخراج شده‌اند. مشتق درجه دوم سطح

مدل کوهن یا نقشه‌های خودسازمان‌ده گونه‌ای از شبکه‌های عصبی مصنوعی، یک مدل نظارت نشده و نوعی شبکه‌ی عصبی تطبیقی است. این گونه از شبکه‌های عصبی مصنوعی بر یادگیری رقابتی استوارند که داده‌های با ابعاد بالا، پیچیده و غیرخطی را در دسته‌های مجزا سازماندهی می‌کند و یک نقشه با ابعاد کم ایجاد می‌کند. در این مدل نورون‌های لایه خروجی شبکه عصبی، در برنده یا فعال شدن با یکدیگر رقابت می‌کنند و در هر مرحله در این رقابت فقط یک نورون پیروز می‌شود. در مرحله‌ی اول یعنی تعیین نورون برنده مقادیر اولیه برای ضرایب وزنی بصورت تصادفی تعیین می‌شود، در مرحله‌ی بعد داده‌های واقعی ورودی که دارای مقادیر پارامترهای هستند و تعداد این پارامترها در داده ورودی برابر با تعداد وزن‌های تصادفی موجود در هر نورون است به شبکه وارد می‌شوند و برای تعیین نورون برنده یا نورونی که دارای بیشترین شباهت مقادیر وزنی با پارامترهای داده ورودی است، داده ورودی با نورون‌های شبکه مقایسه می‌شود. مبنای درجه شباهت داده ورودی با نورون اختلاف بین وزن‌های نورون با پارامترهای متناظر آن در داده ورودی است. فاصله‌ی بین داده‌برداری ورودی و مقادیر وزن متناظر با آن در هر نورون، توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$d_j = \sum_{i=0}^{n-1} [x_i(t) - w_{ij}(t)]^2 \quad (1)$$

دیگر پارامترهای این رابطه عبارتند از که فاصله وزن داده ورودی و وزن

نیز انحراف استاندارد ورودی k است. در نهایت مقادیر OIF حاصله را از ترکیبات سه تایی های متفاوت را رتبه بندی می کنیم. هر چه ارزش این ضریب بیشتر باشد نشان دهنده این است که ترکیب قویتر، حاوی اطلاعات بیشتر و تکرار کمتر است [۱۵].

۲-۲-۴- ضریب داویس - بولدین یا ضریب دی - بی
در این مقاله انتخاب تعداد کلاسهای بهینه بر اساس ضریب دی-بی صورت گرفت. این ضریب اینگونه تعریف می شود:

$$DB = \frac{1}{n} \sum_{i=1, i \neq j}^n \max \left(\frac{\sigma_i + \sigma_j}{d(c_i, c_j)} \right) \quad (4)$$

که در آن $d(c_i, c_j)$ فاصله بین مرکز دو کلاس و یا به عبارتی تفاوت میانگین های این دو گروه و به ترتیب قطر گروه i و j ، یا به عبارتی فاصله اقلیدسی دورترین عضوهای گروههای i و j می باشند. استدلال این ضریب این است که در یک گروه بندی بهینه، فاصله دسته ها باید هر چه بیشتر از هم باشد ولی دسته ها در درون خودشان پخش و پراکنده نباشند، به عبارتی دسته ها در درون خود جمع و جور باشند و با دیگر گروهها اختلاف معنی دار داشته باشند.

نتایج

نتایج حاصل از رتبه بندی پارامترها برای ده پارامتر اول به روش فاکتور ضریب بهینه در جدول ۱ آورده شده. نتایج دی-بی در منطقه نیز که در شکل ۴ آورده شده است نشان داد که هشت پهنه ی ژئومورفولوژی بهینه ترین تعداد در این منطقه است.

مربوط به محدب و مقعر بودن سطح زمین است که طور کلی شامل انواع انحنای می شود.

برای به دست آوردن فاکتوری که مکان هایی را با انحنای خیلی زیاد، یا انحنای حدی از هر دو گونه ای انحنای نشان دهد، باید منطقی با غایت مقادیر انحنای افقی نشان داده شود، واحد این فاکتور $m-2$ است که نیاز به تعریف یک معادله ی جبری درجه سه دارد. معادله ی جبری درجه سوم برای سطح زمین را فلورینسکی در سال ۲۰۰۹ ارائه داد.

برای استخراج ثابت های معادله با بالاترین درجه یعنی سه، حداقل سائز پنجره ی محاسبه گر قابل استفاده 5×5 است. کلاً ۲۲ پارامتر مورد استفاده در این مطالعه را می توان برحسب معادله ی سطح زمینی که از آن استخراج می شوند به ۴ دسته پارامترهای درجه صفر، درجه یک، درجه دو و درجه سه تقسیم کرد، لازم به ذکر است که برای محاسبه هر کدام از این پارامترها از معادله سطح زمین با درجه ای استفاده کردیم که بر طبق مطالعات فلورینسکی در سال ۲۰۰۹، کمترین خطا را به ما می دهد، یعنی استفاده از معادله ی درجه دو برای پارامترهای مورفومتریکی درجه یک و استفاده از معادله ی درجه سه برای کلیه انحنای و پارامترهای درجه دو و سه در نظر گرفته شده است (M. Forootan et al., 2011).

به منظور انتخاب پارامترهای ورودی مناسب با کمترین همبستگی از روش فاکتور ضریب بهینه استفاده گردید بر اساس این فاکتور بهترین ورودی ها که بیشترین میزان اطلاعات (بیشترین مجموع انحراف معیار) و کمترین همبستگی را دارند اولویت بندی می شوند.

$$OIF = \frac{Std_i + Std_j + Std_k}{|Corr_{i,j}| + |Corr_{j,k}| + |Corr_{i,k}|} \quad (3)$$

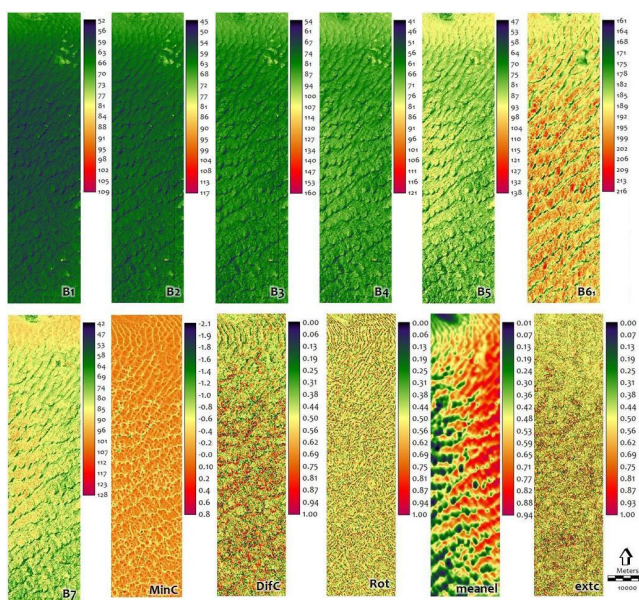
در این فرمول، انحراف استاندارد ورودی i ، انحراف استاندارد ورودی j و

جدول ۱- پارامترهای بهینه ی مورفومتریکی بر اساس فاکتور ضریب بهینه

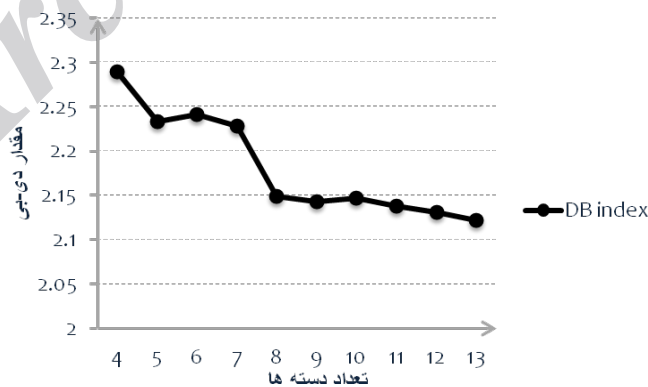
رتبه	پارامترها	ارزش فاکتور ضریب بهینه
۱	کمینه ی انحنای	۹۲/۳۹
۲	اختلاف انحنای	۸۴/۶۲
۳	چرخش	۵۱/۷۲
۴	متوسط ارتفاع	۴۶/۷۴
۵	انحنای سطح	۴۴/۵۷
۶	انحنای مقطع عرضی	۴۱/۴۶
۷	انحنای افقی	۳۹/۹۵
۸	انحنای عمودی	۳۹/۳۳
۹	بیشینه ی انحنای	۳۸/۶۲
۱۰	متوسط انحنای	۳۷/۶۲

شده شکل ۵ ملاحظه می‌شود، کلاس دماغه شیب که حدود ۳۲ درصد از منطقه را تشکیل می‌دهد، اصولاً اصلی‌ترین و برجسته‌ترین بخش تپه‌های ماسه‌ای بارخانی و اثرات موج (ریپل مارک) و زیبارها است، دارای بیشترین مقادیر (نرمال شده) در کلیه پارامترهاست که بخش بالا و قوس‌دار تپه‌های ماسه‌ای را تشکیل می‌دهد. که همان منطقه‌ی برخاست یا اثر است، که منطقه رو به باد است و اصطلاحاً به آن شیب استاس می‌گویند، این منطقه در تپه‌های ماسه‌ای ریپل مارک یا اثرات موج دارای بیشترین وسعت است یا تقریباً تمام آن‌ها را در بر دارد و در مورد تپه‌های ستاره‌ای به دلیل ساختار آن‌ها که دارای وجوه بیشتری با شیب تند هستند دارای درصد کمتری است.

پهنه‌بندی با استفاده از ۱۲ لایه یعنی ۷ پارامتر ژئومورفومتری انتخاب شده در مراحل قبل و ۷ باند سنجنده‌ی ETM+ برای ۸ طبقه که در مبحث دی-بی بهترین تعداد طبقه در نظر گرفته شده بود، انجام گرفت. لازم به ذکر است که طبقه‌بندی با دقیق‌ترین تنظیم الگوریتم خودسازمانده در نرم‌افزار ایدرسی یعنی لایه‌ی خروجی با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ و فاصله نمونه‌گیری بین سطر و ستون ۱ و ۱ انجام پذیرفت که در این شرایط مقدار خطای کمی‌سازی این پهنه‌بندی ۰/۰۳۴۷ و تعداد دوره تکرار شبکه ۱۲۴۳۱۴۴ بوده است. شکل ۵ نقشه‌ی پهنه‌بندی شده حاصله را نشان می‌دهد، شکل ۶ نمودار دوعدی پارامترهای مورفومتریک را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نقشه طبقه‌بندی



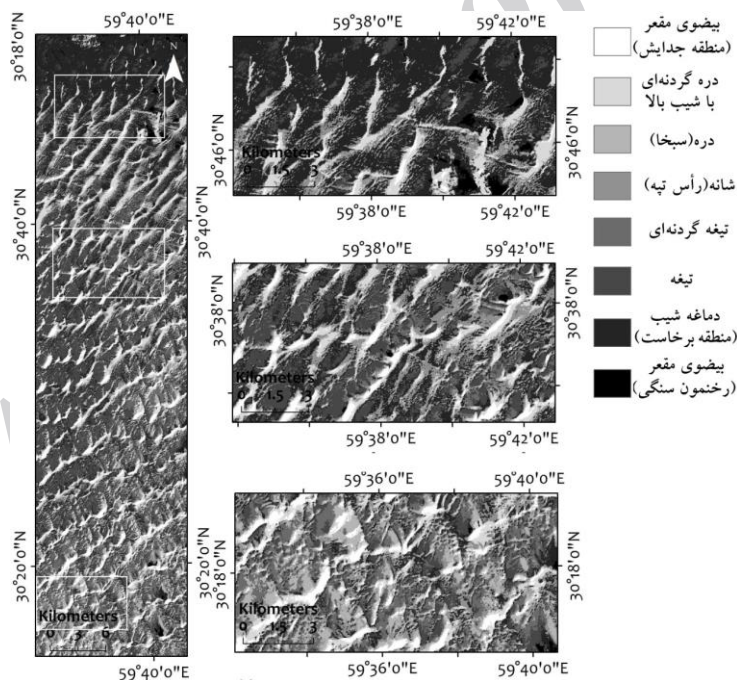
شکل ۳- باندهای لندست ETM+ به ترتیب باندهای ۱ تا ۷ (۲۰۰۱) و لایه‌های ژئومورفومتریک انتخابی: کمینه انحنا (MinC)، اختلاف انحنا (DifC)، انحنای چرخشی (Rot)، متوسط ارتفاع (meanel) و انحنای حدی (extC)



شکل ۴- نوسان‌های ضریب دی-بی در منطقه‌ی ریگ یلان

ولی در تیغه، برجستگی و تحدب در وسعت پیوسته کمتری قابل تشخیص است و باعث ایجاد یک جدایش یا دیواره نسبتاً بلند بین دو عارضه دیگر می‌شود. به طور کلی همان‌طور که در جدول نیز قابل مشاهده است تیغه ارتفاع بالاتری نسبت به تیغه گردنه ای دارد. گروه ۴ یا شانه نیز در گروه‌ها بعد از دماغه شیب دارای بالاترین میزان هر پارامتر با شدتی کمتر است. انحنا عمودی مثبت و انحنا سطحی منفی باعث ایجاد این منطقه شده که نزدیک به ۲۱ درصد از منطقه را تشکیل می‌دهد. همان‌طور که در شکل منطقه قابل ملاحظه است، غالب بودن بادهای ۱۲۰ روزه از شمال غرب به جنوب شرق در فرم‌گیری بارخان‌ها و تپه‌ها بسیار مؤثر بوده است. بویژه در ابتدا یا بخش شمالی ارگ (شکل ۵). وجود تیغه‌های کوهستانی مرتفع در مشرق قسمتهای انتهایی ارگ علاوه بر افزایش رطوبت، باعث کاهش اثر این بادها و ایجاد تپه‌های ستاره‌ای با شکل‌های پیچیده‌تر شده، که میزان دماغه شیب و تیغه گردنه‌ای کمتری نسبت به تپه‌های یکنواخت ابتدای ارگ دارند و به تدریج بر میزان دره یا پیشانی شیب و تیغه و تپه‌های هرمی (قورد) افزوده می‌شود (شکل ۵) و حالت نرم و یکنواختی تپه‌ها و اثرات موج به تدریج کم می‌شود. این تغییرات از ابتدا تا انتهای ارگ به خوبی در نقشه کل منطقه در شکل ۵ نشان داده شده است.

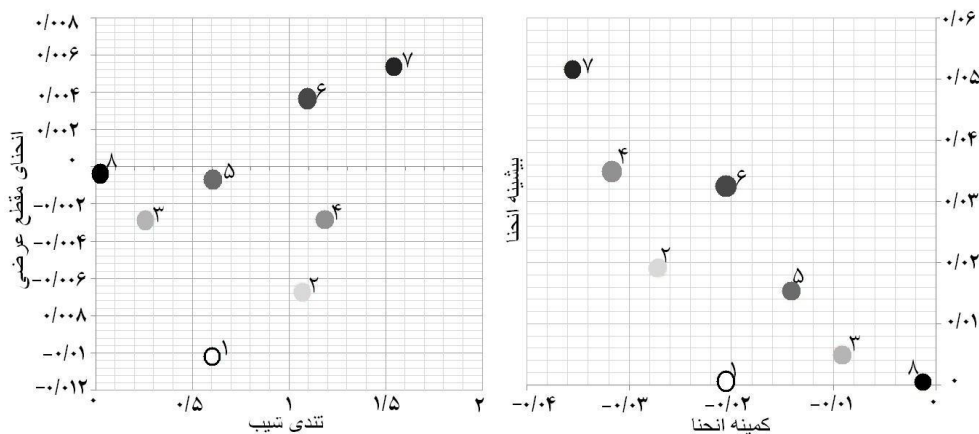
دماغه شیب نسبت به کلاس ۱ یا بیضوی مقعر که همان شیب پشت به باد یا لی است، تندی شیب بسیار ملایم‌تری دارد. کلاس ۱ یا منطقه سایه یا جدایش دارای بالاترین میزان شیب در بین دیگر کلاس‌هاست که برحسب زاویه اثر، جهت و سرعت باد میزان شیب آن تغییر می‌کند، که تقریباً ۵ درصد از منطقه را در بردارد. کلاس ۲ منطقه دره گردنه ای با شیب و ارتفاع زیاد است که در لبه تپه ماسه‌ای و در نوک منطقه سایه قرار دارد، که ۱۲ درصد از منطقه را در بردارد، در اصطلاح به آن لبه تپه نیز گفته می‌شود. این منطقه بسته به شرایط محیطی متفاوت می‌تواند با راس تپه یا کلاس ۴ یکی شود و یا اینکه در دو گروه مجزا قرار داشته باشد که بستگی به قدرت و سرعت باد و سن تپه ماسه‌ای دارد کلاس ۳ منطقه ای است که در صد کمی از منطقه را تشکیل می‌دهد، حدود ۴ درصد، بخشهایی با حالت دره یا پیشانی شیب است که در بخش‌های جنوبی ارگ یعنی قسمتی که جهات باد متفاوت‌تر است بیشتر قابل مشاهده هستند. کلاس ۸ منطقه رخنمون سنگی است که در آن تپه ماسه‌ای دیده نمی‌شود و ساختاری متفاوت از ارگ دارد، که به دلیل حجم بالای ماسه و یکنواختی نسبی این سرزمین، حدود یک درصد و کمترین مساحت را در این منطقه به خود اختصاص داده. تیغه‌ها یعنی گروه‌های ۶ و ۷ دارای مقدار کمینه انحنا منفی و بیشینه انحنا مثبت هستند، در تیغه گردنه‌ای وسعت پیوسته منطقه بیشتر و تحدب نسبت به اطراف کمتر است



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی شده نهایی منطقه مورد مطالعه با تعداد ۸ پهنه توسط الگوریتم نقشه خودسازمانده. (A) قسمت شمالی ارگ با اثرات موج بیشتر در مقیاس بزرگتر که بالا بودن درصد دماغه شیب در آن به وضوح پیداست، (B) قسمت مرکزی شامل تپه‌های عرضی و تپه‌های مرتفع با درصد بالای تیغه گردنه ای در بخش بالای تپه‌ها، (C) قسمت انتهایی ارگ که اثرات کاهش باد غالب و افزایش تیغه و دره به خوبی در آن قابل مشاهده است

ارگ دیده می‌شوند. پس به طور کلی بر ضخامت و پیچیدگی تپه‌ها و تنوع جهت باد به ترتیب از ابتدا تا انتهای ارگ (شمال به جنوب) افزوده می‌شود و از تپه‌های موج به تپه‌های مرکب و پیچیده می‌رسیم، یعنی از کلاس ۷ یا منطقه نسبتاً یکنواخت دماغه شیب به تدریج کاسته و به وسعت تیغه‌های گردنه‌ای افزوده می‌شود و به تدریج با پیچیده شدن ناهمواریها درصد تیغه و تیغه گردنه‌ای وسعت بیشتری را به خود اختصاص می‌دهند و از وسعت بخش تپه ای و یکنواخت دماغه شیب یا منطقه بر خاست به تدریج کاسته می‌شود.

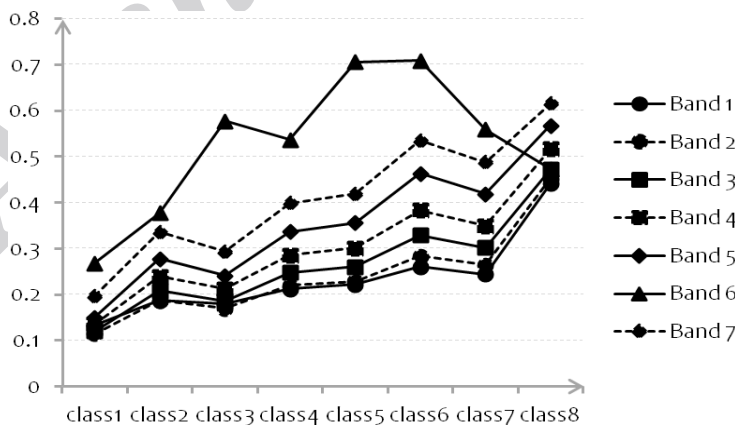
اصولا ارگ لوت از نظم خاصی تبعیت می‌کند، در ابتدای ارگ رسوبات و تپه‌های ماسه‌ای آرام‌تر هستند، و بیشتر اثرات یا تپه‌های موج دیده می‌شوند به تدریج تپه‌های بارخانی و از پشت هم قرارگیری آنها تپه‌های عرضی، و در انتهای منطقه تپه‌های مجتمع و مرکب و با ضخامت زیاد دیده می‌شود، میزان رطوبت هم به تدریج از ابتدا به انتهای ارگ افزوده می‌شود، مرتفع‌ترین اشکال ناهمواری یا همان هرمهای ماسه‌ای که از ترکیب سیف و بارخان در یک رژیم چند جهت حاصل می‌شود، مکانیزم بسیار پیچیده‌ای دارند که در جنوب



شکل ۶- نمودارهای دو بعدی عوارض در مورد پهنه‌های جدا شده ارگ یلان

منطقه به خود اختصاص داده است و کمترین وزن را در شکل مورفولوژی بیضوی مقرر داشته است، که در منطقه جدایش یا سایه در کلاس ۱ و رخنمون سنگی در گروه ۸ قابل مشاهده است (شکل ۷).

میزان اختلاف انحنا در مرکز منطقه نسبت به ابتدا و انتهای آن به دلیل بالغ شدن بارخان‌ها و اثر یک جهت باد بیشتر است و میزان نظم و یکنواختی جهت دره‌ها و تپه‌ها یا به عبارتی شیارها و آبراهه‌ها از شمال به جنوب به تدریج کاسته می‌شود. باند ۶ سنجنده ETM وزن بیشتری را در قسمتهای تیغه‌ای



شکل ۷- نمودار تغییرات وزن باندهای مختلف ETM+ در طبقات مختلف ژئومورفولوژیک منطقه

نتیجه گیری

دشت لوت با عوارض ریخت‌شناسی منحصر به فرد و ویژه‌اش همواره کانون توجه بسیاری از زمین‌شناسان جهان بوده و هست. در این تحقیق پارامترهای مورفومتریک و داده‌های ماهواره‌ای ترکیب گردید تا واحدهای مورفومتریک تپه‌های ماسه‌ای با تاکید بر واحدهای همگن مورفولوژیکی استخراج گردد. شبکه خودسازمانده منجر به کاهش چند بعدی داده‌ها به یک لایه خروجی شامل ۸ واحد نقشه گردید. این واحدهای نقشه بر اساس خصوصیات مورفومتریک طبقه‌بندی گردیدند. مطالعه فوق پتانسیل بالای روش پیشنهادی بر اساس استخراج اطلاعات مربوط به عوارض زمین را نشان داد که می‌تواند در مدل‌های ژئوآکوسیستمی و ژئومورفولوژیکی کاربرد داشته باشد. این روش نیاز به مطالعات صحرایی را به میزان زیادی کاهش داده و می‌تواند به عنوان یک روش جایگزین برای روش‌های زمانبر سنتی و دستی باشد. خروجی این تحقیق در مقایسه با دیگر مطالعات انجام گرفته دقیق‌تر و مطمئن‌تر است، اما نتایج این تحقیق ارتباط زیادی به مقیاس و کیفیت مدل رقومی ارتفاعی و وضعیت توپوگرافی دارد. ارزیابی این روش در سایر محیطها با شرایط و مقیاسهای متفاوت داده‌ها نیاز به بررسی بیشتری دارد. پدیده‌ها و عوارض ژئومورفولوژیک وابسته به مقیاس هستند، بدین معنی که خصوصیات و ماهیت آن‌ها بسته به توان تفکیک (رزولوشن) و محدوده فضایی مورد محاسبه، متفاوت می‌باشد. نتایج حاصل نشان داد که شبکه‌ی خودسازمانده به عنوان یک الگوریتم نظارت نشده شبکه‌های عصبی مصنوعی برای آنالیز عوارض ژئومورفومتریک با مقیاس‌ها و بزرگنمایی‌های متفاوت داده‌ها در مناطق مختلف بسیار کارآمد می‌باشد. افزایش رزولوشن و کاهش اندازه پنجره محاسباتی امکان دستیابی به اطلاعات جزئی‌تر را فراهم می‌کند، در حالی که افزایش پنجره‌های محاسباتی و رزولوشن کمتر باعث طبقه‌بندی عوارض در مقیاس منطقه‌ای می‌گردد. شبکه خودسازمانده پتانسیل بالایی در تلفیق اطلاعات پارامترهای مورفومتریک و داده‌های ماهواره لندست برای آنالیز لندفرم‌های مناطق بیابانی نشان داد. علی‌رغم ماهیت تصادفی الگوریتم خودسازمانده، نتایج حاصله به شرطی که شبکه به تعداد دوره‌های کافی (حداقل ۱۰۰۰ دور) آموزش ببیند، مستقل از مقادیر تصادفی اولیه بردارهای وزنی نوروها می‌باشد. بنابراین این روش قابل تکرار و استفاده در شرایط یکسان می‌باشد.

سیاسگزاری

این مقاله بر گرفته از طرح پژوهشی مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه تهران - مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان به شماره‌ی ۷۳۱۴۹۳۱۰/۱/۳ انجام شده است که به این وسیله از حمایت‌های مالی تشکر می‌گردد.

منابع

- 1- Darvish zadeh, A., Iran Geology. Amir kabir Publication, Tehran.
- 2- Bagnold, R.A, (1941), The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. Methuen, London.
- 3- Bishop, (2010), "Nearest neighbor analysis of mega-barchanoid dunes, Ar Rub al Khali, sand sea: The application of geographical indices to the understanding of dune field self-organization, maturity and environmental change, *Geomorphology*, vol. 120, no. 3-4, pp. 186-194.
- 4- 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*, vol. 100, no. 2, pp. 179-189.
- 5- Daniell, J., Hughes, M, (2007), The morphology of barchan-shaped sand banks from western Torres Strait, northern Australia, *Sedimentary Geology* 202: 638-652.
- 6- Ehsani, A. H., Alavi Panah, S. K., (2002), Study and evaluation of ETM+ bands for differentiating spectral units of marginal playa, *Technical and Scientific surveying Journal*, Vol 7, Issue 53, pp 5-10.
- 7- Ehsani, A.H., 2003, Mapping of geomorphological facies of playa using Landsat 7 satellite data (ETM+) (Case study; Chejam playa, Iran). SPIE 10 th International Symposium Remote Sensing, 8-12 September 2003, Barcelona, Spain.
- 8- Ehsani, A. H., & Quiel, F. (2008). Application of self organizing map and SRTM data to characterize yardangs in the Lut desert, Iran. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3284-3294.
- 9- Ehsani, A.H., and Quiel, F., (2008), Geomorphometric feature analysis using morphometric parameterization and artificial neural networks, "*Geomorphology*", Vol 99, Issues 1-4, Pages 1-
- 10- Ehsani, A. H., and Quiel, F., (2009), A semi-automatic method for analysis of landscape elements using shuttle radar topography mission and Landsat ETM+ data. "*Computers & Geosciences*", Vol 35, Issues 2, Pages 373-389.
- 11- Ehsani, A. H., and Quiel, F., (2009), Self Organizing Maps for Multi-Scale Morphometric Feature Identification Using Shuttle Radar

2011, Antalya, Turkey.

15- Herrmann, H.J., Sauerman, G, (2000), The shape of dunes. *Physical A* 283: 24–30.

16- Moren, B., Heyman J. and Stroeven. A., (2011), Glacial geomorphology of the central Tibetan Plateau, *Journal of maps*, 115, 125,

17- Hugenholtz, C. H. and Barchyn T. E., “Spatial analysis of sand dunes with a new global topographic dataset: new approaches and opportunities,” *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 35, no. 8, pp. 986-992, 2010.

18- Pye, K., Tsoar. H., (2009), *Aeolian Sand and Sand Dunes*, Springer, Berlin, Germany.

Topography Mission (SRTM) Data. “Geocarto International”, Volume 24, Issue 5, Pages 335 – 355.

12- Ehsani, A. H., and Quiel, F., (2010), Effect of SRTM Resolution on Morphometric Feature Identification Using Neural Network -Self Organizing Map, “Geoinformatica”.

13- Finkel, H.J, (1959), The barchans of southern Peru. *Journal of Geology* 67: 614–647.

14- Forootan, M., Kompanizare, M., Ehsani, A.H., (2011) Semi-Automatic Morphometric Land Surface Segmentation of an Arid Mountainous Area by Using DEM and Self Organizing Maps (SOM) Method, *Geoinformation for disaster management 2011*, 3-8 May

