

کاربرد ویژگی‌های دانه‌بندی رسوبات بادی در تعیین مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای همگن براساس تحلیل‌های آماری دو و چند متغیره (مطالعه موردی: ارگ کاشان)

اصغر توکلی فرد^۱، علی‌اکبر نظری سامانی^{۲*}، هدی قاسمیه^۳ و ناصر مشهدی^۴

۱. کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۲. استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳. استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۴. استادیار مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران

* نویسنده مسئول: aknazari@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۲۱

چکیده

ارگ ریگ بلند کاشان، یکی از معدود مجموعه‌های ماسه‌ای مهم ایران به شمار می‌آید. به منظور تعیین همگنی ویژگی‌های تپه‌های ماسه‌ای مختلف در ارگ کاشان، ابتدا با استفاده از پایگاه Google earth، عکس‌های هوایی و نیز بازدیدهای میدانی، نقشه مورفولوژی منطقه مورد مطالعه تهیه شد. سپس به منظور تعیین متغیرهای آماری مختلف انواع تپه‌های ماسه‌ای، نمونه‌برداری از رسوبات بادی در اشکال مختلف تپه‌های ماسه‌ای صورت گرفت. بررسی شاخص‌های دانه‌بندی (گرانولومتری) نمونه‌ها براساس روش الک خشک انجام گرفت و با استفاده از نرم‌افزار Gradistat پارامترهای آماری از قبیل قطر میانگین، جورشدگی، کج‌شدگی، کشیدگی، d_{90} و d_{10} تعیین و مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در گروه‌بندی تپه‌ها براساس ویژگی‌های دانه‌بندی بر مبنای شاخص‌های لامبدا و ضرایب کانونیک تعیین شد. نتایج نشان داد که تنها دو متغیر جورشدگی و کشیدگی از نظر آماری توانایی جداسازی تپه‌های مختلف را دارند (با دقت حدود ۵۷٪). بنابراین با توجه به دو شاخص جورشدگی و کشیدگی طبقه‌بندی همگنی تپه‌ها به روش تحلیل خوشه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد که تپه‌های ماسه‌ای تثبیت شده (بارخانی) در گروه مجزا قرار می‌گیرند. این مسئله به دلیل تأثیر شرایط ناشی از استقرار پوشش گیاهی از یک سو و توانایی باد در حمل ذرات ریز دانه‌تر و به جای ماندن ذرات درشت‌دانه بیشتر در این مناطق است. همچنین به منظور بررسی همگنی تپه‌های ماسه‌ای به روش آنالیز دو متغیره، نمودارهای بایوپلات ترسیم و مشخص شد شاخص‌هایی همچون d_{90} و d_{10} نیز به طور گرافیکی و بصری قابلیت تفکیک را دارا هستند ولی از نظر آماری چنین نیست. نتایج نشان‌دهنده قابلیت روش‌های چند متغیره در طبقه‌بندی تپه‌های ماسه‌ای است. آنچه مسلم است استفاده از روش‌های چند متغیره می‌تواند به طور کمی تپه‌های ماسه‌ای را طبقه‌بندی کرد و نظرات کارشناسی را به حداقل رساند.

واژگان کلیدی: تپه‌های ماسه‌ای؛ مورفومتری؛ ارگ کاشان؛ فرسایش بادی؛ تحلیل چندمتغیره.

مقدمه

عبارتند از: همواری نسبی، نبود پوشش گیاهی مناسب، وزش بادهای غالب و وجود سازندهای سست آبرفتی. این شرایط در مناطق پست مرکزی و جلگه‌های ساحلی

فرسایش بادی، یکی از مظاهر فرایندهای فرسایش در مناطق خشک است. مهم‌ترین عوامل ایجاد فرسایش بادی

مطالعات صورت گرفته طی ۸۰ سال گذشته نشان داده است که توزیع اندازه‌ی ذرات در تپه‌های ماسه‌ای، به عنوان فاکتور بسیار مهم در مرفولوژی و فرآیندهای مورفودینامیکی تپه‌ها عمل می‌کنند. در این زمینه می‌توان به مطالعات Bagnold (1937)؛ Bagnold and Barndorff-Nielsen (1980)؛ Tsoar (1986)؛ Tsoar (1990) و Pye & Lancaster (1995) اشاره کرد. بنابراین، اندازه ذرات ماسه که بیان کننده‌ی تاریخچه‌ی گسترش ارگ‌ها هستند، به عنوان یک فاکتور مهم در نظر گرفته می‌شوند (Wang *et al*, 2002). نتایج پژوهش‌های گذشته، نشان داده است که متغیرهای مربوط به اندازه‌ی ذرات در تپه‌های ماسه‌ای مختلف، ارتباط خیلی نزدیکی با پارامترهایی از قبیل فرایندهای دینامیک تپه، وجود ماسه، پوشش گیاهی و فاصله‌ی حمل از منطقه منشأ ماسه دارد (Wang *et al*, 2002). در زمینه‌ی توزیع اندازه‌ی ذرات ماسه در تپه‌های ماسه‌ای مختلف مطالعات بسیاری صورت گرفته شده است (Wang *et al*, 2002). از قبیل بررسی‌های انجام شده در تپه‌های خطی (Bagnold, 1941؛ Lancaster, 1986؛ Watson, 1986)؛ (Livingstone *et al*, 1999؛ Livingstone, 1987)؛ تپه‌های هلالی شکل (Vincent, 1984؛ Watson, 1986) و شکل (Lancaster, 1989b, 1995) و سایر تپه‌های ماسه‌ای. احقاقی (۱۳۸۶) در مطالعات خود در رابطه با تکامل خصوصیات رسوب در تپه‌های تثبیت شده و تثبیت نشده در ارگ کاشان گزارش کرد که به دلیل وجود پوشش گیاهی و افزایش ماده آلی در تپه‌های تثبیت شده، دانه‌بندی این تپه‌ها نسبت به تپه‌های تثبیت نشده (فعال) تغییر کرده است (احقاقی، ۱۳۸۶).

با توجه به این که تاکنون مطالعات زیادی در ایران و جهان در مورد ماسه‌های بادی به انجام رسیده است، در این تحقیق نیز تلاش شده است تا با بررسی ویژگی‌های دانه‌بندی رسوبات بادی و براساس تحلیل‌های آماری دو و چند متغیره، میزان همگنی تپه‌های ماسه‌ای واقع در ارگ ریگ بلند کاشان، مورد بررسی قرار گیرد.

جنوب ایران وجود داشته و ماسه زارهای عظیم که در این مناطق به طور پراکنده تشکیل شده است، به دلیل وجود همین شرایط است. ماسه‌های بادی همواره به عنوان یکی از مخاطره‌های محیطی محسوب می‌شوند. زیرا انتقال ماسه‌های روان، تهدیدی جدی برای مناطق مستقر در حاشیه‌ی توده‌های عظیم ماسه‌ای، به شمار می‌رود (احمدی، ۱۳۸۵).

همواره فرسایش در طبیعت به طور طبیعی و حتی بدون دخالت انسان نیز انجام می‌پذیرد ولی فعالیت‌های انسان باعث تشدید آن می‌گردد (بافکار و مجردی، ۱۳۸۸). باد سیالی است که حدود ۲۸ درصد از خشکی‌های جهان را تحت سیطره‌ی خود دارد (Webb *et al*, 2006). عوامل مختلفی از قبیل شدت و مدت وزش باد، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، توپوگرافی منطقه، وضعیت پوشش گیاهی و... در ایجاد فرسایش بادی و تخریب‌های ناشی از آن دخالت دارند، به طوری که کلیه‌ی این عوامل در ارتباط باهم بوده و به اتفاق منجر به افزایش یا کاهش شدت فرسایش بادی در یک منطقه می‌شوند (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹). هنگامی که سرعت باد از یک آستانه‌ی مشخص بیشتر شود (سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی)، منجر به ایجاد توفان می‌گردد و در نتیجه فعالیت تخریبی آن آغاز می‌شود (Hangen, 1991). نتیجه‌ی دینامیک باد، حمل ذرات خاک یا رسوب است که براساس شدت فرسایش یا رسوب‌گذاری، منجر به ایجاد و تکامل اشکال مختلف ناهمواری‌های بیابانی می‌شود (مشهدی و احمدی، ۱۳۸۹).

ماسه، عموماً رسوبی است که توسط باد منتقل می‌شود (معمتمد، ۱۳۷۹). منظور از تثبیت تپه‌های ماسه‌ای، جلوگیری از حرکت و انتقال ماسه‌های روان است و ایجاد پوشش گیاهی روی تپه‌های ماسه‌ای، بهترین روش برای تثبیت آنها است (احقاقی، ۱۳۸۶). یکی از ویژگی‌های مهم رسوبات بادی، خصوصیات مربوط به دانه‌بندی ذرات ماسه است که به روش‌های گوناگون و برای مقاصد مختلف، در بیشتر مطالعات مربوط به مناطق خشک و بیابانی از قبیل ارگ‌ها، مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد (احمدی و محمدخان، ۱۳۸۵).

■ مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

ارگ ریگ بلند کاشان، یکی از مجموعه‌های پیچیده‌ی تپه‌های ماسه‌ای مهم ایران به شمار می‌آید. این مجموعه‌ی ماسه‌ای، که در شرق کاشان واقع شده است، درست مجاور دریاچه‌ی نمک قرار گرفته و دارای قوس‌های هلالی شکل است که تحدب آن به سمت غرب است. طول تحدب خارجی آن با در نظر گرفتن پیش-تپه‌های ماسه‌ای شمال غربی، حدود ۱۱۵ کیلومتر و طول قوس داخلی آن، حدود ۶۰ کیلومتر است. ارگ کاشان، از امتداد قوس جنوبی به مجموعه‌ی ماسه‌ای ارگ اردستان می‌پیوندد و تا شمال ناپین به صورت یک رشته‌ی باریک به عرض متوسط حدود ۶ تا ۸ کیلومتر و طول بیش از ۲۴۰ کیلومتر امتداد می‌یابد، به طوری که به سمت جنوب شرق و مشرق، انسجام و پیوستگی خود را از دست می‌دهد. ارگ کاشان در مختصات جغرافیایی $33^{\circ}45'$ تا $34^{\circ}15'$ عرض شمالی و $51^{\circ}30'$ تا $51^{\circ}45'$ طول شرقی قرار گرفته است (یمانی، ۱۳۷۹).

روش پژوهش

در این پژوهش، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Google earth و نیز عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی، نقشه‌ی مرفولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه گردید. سپس به منظور تعیین متغیرهای آماری مختلف در انواع تپه‌های ماسه‌ای، نمونه‌برداری از رسوبات بادی در اشکال مختلف تپه‌های ماسه‌ای صورت پذیرفت. بدین صورت که با احداث یک تا سه ترانسکت فرضی در تپه‌های مختلف ارگ نمونه‌برداری انجام شد. در هر ترانسکت فرضی، حدود ده نمونه رسوب به فواصل تقریباً صد متر برداشت شد. برای انجام آزمایش‌های فیزیکی-شیمیایی، نمونه‌های به وزن یک کیلوگرم برداشت گردید. شاخص‌های دانه‌بندی (گرانولومتری) نمونه‌ها، براساس روش الک خشک^۱ (آنالیز الک^۲) انجام گرفت (مشهدی و احمدی، ۲۰۱۰). بدین صورت که ابتدا بقایای گیاهی و ذرات اضافی موجود در نمونه‌های رسوب جدا گردید.

سپس با استفاده از الک‌های ۲۰۰۰، ۱۰۰۰، ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵، ۶۳، ۵۳ و کمتر از ۵۳ میکرون، از هر نمونه ۱۰۰ گرم به مدت ۱۰ دقیقه الک شد و محتوی رسوب باقی‌مانده بر روی هر الک به دقت وزن گردید. به منظور تعیین دقیق‌تر پارامترهای آماری مورد مطالعه، ترتیب الک‌ها به گونه‌ای انتخاب گردید که قطر سوراخ‌های الک‌های پایینی، تقریباً نصف قطر سوراخ‌های الک بالایی باشد (Maghsudi et al., 2010). سپس شاخص‌های دانه‌بندی فولک و وارد (۱۹۵۷) با استفاده از نرم‌افزار Gradstat^۳ و پارامترهای آماری از قبیل قطر میانگین^۴ (M_z)، جورشدگی^۵ (σ_I)، کج‌شدگی^۶ (SK_I)، کشیدگی^۶ (K_G)، d_{10} و d_{90} تعیین گردیدند. در این خصوص روابط ۱ تا ۴ استفاده شد. در این روابط، پارامترهای ϕ_{16} ، ϕ_{50} ، ϕ_{84} ، ϕ_{95} ، ϕ_{5} و ϕ_{25} به ترتیب عبارتند از: مقدار فی (ϕ) در فراوانی ۱۶، ۵۰، ۸۴، ۹۵، ۵ و ۲۵ درصد روی منحنی درصد فراوانی تجمعی (احمدی، ۱۳۸۵).

$$M_z = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}) / 3 \quad (1)$$

$$\sigma_I = [(\phi_{84} - \phi_{16}) / 4] + [(\phi_{95} - \phi_{5}) / 6] \quad (2)$$

$$SK_I = [(\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}) / 2(\phi_{84} - \phi_{16})] + [(\phi_{5} + \phi_{95} - 2\phi_{50}) / 2(\phi_{95} - \phi_{5})] \quad (3)$$

$$K_G = (\phi_{95} - \phi_{5}) / 2(44 - (\phi_{75} - \phi_{25})) \quad (4)$$

در این پژوهش به منظور تعیین همگنی تپه‌های ماسه‌ای و همچنین تعیین مهم‌ترین متغیر آماری مؤثر در گروه‌بندی تپه‌ها، بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، طبقه‌بندی خوشه‌ای و نیز تحلیل تابع تشخیص به همراه طبقه‌بندی داده‌ها بر مبنای توابع کانونی عمل شد. در واقع با استفاده از متغیرهای مربوط به ویژگی رسوبات، از یک طرف مهم‌ترین متغیرهای معنی‌دار که بتوانند تپه‌های ماسه‌ای مختلف را از یکدیگر جدا کند تعیین شد و از طرف دیگر، تپه‌ها بر اساس متغیرهای مذکور گروه‌بندی شدند.

3. Mean

4. Sorting

5. Skewness

6. Kurtosis

1. Dry sieve

2. Sieve Analysis

ماسه‌ای و تعیین متغیرهای مشخص‌کننده تپه‌های همگن به روش آنالیز دو متغیره، ابتدا نمودارهای بایوپلات (نمودارهای مبتنی بر ۲ متغیر در محورهای افقی و عمودی) ترسیم شد. سپس با استفاده از طبقه‌بندی خوشه‌ای سلسله مراتبی^۱ همگنی تپه‌های مختلف بررسی و متغیرهای مشخص‌کننده‌ی همگنی تپه‌ها تعیین گردید.

■ نتایج

در نمونه‌برداری از رسوبات بادی موجود در تپه‌های ماسه‌ای مختلف، ۷۵ نمونه رسوب جمع‌آوری گردید که در شکل ۱، نقشه‌ی مرفولوژی و نیز نقاط برداشت نمونه‌های رسوب از تپه‌های ماسه‌ای مختلف نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۱، نتیجه گرفته می‌شود که انواع تپه‌های ماسه‌ای موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه عبارتند از: تپه‌های تثبیت شده، (تپه‌های تثبیت شده بیشتر از نوع بارخانی هستند و سطح کوچکی خطی) تپه‌های عرضی، تپه‌های مرکب، تپه‌های طولی، خوشه‌ی سیلک و بوکلیه‌ی بارخان. سفره ماسه‌ای و اراضی کشاورزی و مسکونی، دیگر عوارضی است که در شکل ۱ نشان داده شده است. بازدیدهای صحرائی و استفاده از پایگاه Google Earth نشان داد که تپه‌های تثبیت شده در حاشیه‌ی ارگ، تپه‌های خطی در جنوب ارگ و تپه‌های عرضی در بخش شمال شرق (نزدیک دریاچه‌ی نمک) قرار گرفته‌اند.

بنابراین به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که تپه‌های ماسه‌ای موجود در شمال، مرکز و جنوب ارگ به ترتیب عبارتند از تپه‌های عرضی، تپه‌های مرکب و تپه‌های خطی (تپه‌های تثبیت شده در جنوب ارگ، از نوع تپه‌های خطی می‌باشد که در شکل ۱، در گروه تپه‌های تثبیت شده قرار گرفته‌اند). در بخش کوچکی در جنوب ارگ نیز (اطراف ابوزیدآباد)، بوکلیه‌ی بارخان مشاهده شد که در حال گسترش و تشکیل تپه‌های بارخانی است. در جدول ۱، ویژگی‌های آماری متغیرهای مورد مطالعه نشان داده شده است.

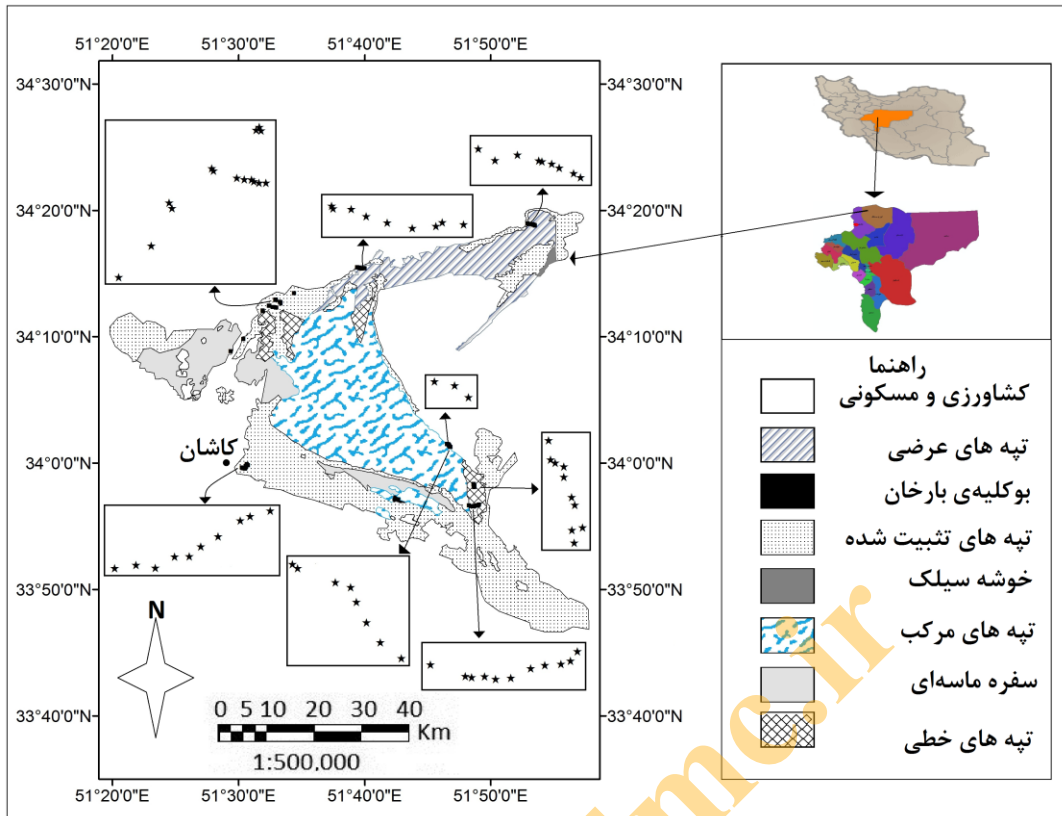
اصولاً استفاده از روش‌های چند متغیره در علوم محیطی و به‌ویژه ژئومرفولوژی کمی سابقه‌ی دیرینه دارد (فریفته، ۱۳۷۱) و با استفاده از آن‌ها می‌توان در شناسایی مهم‌ترین فاکتورها و همچنین گروه‌بندی متغیرهای مؤثر بر یک فرایند، بسیار کارا و مفید عمل کرد. تحلیل تشخیص به عنوان یکی از روش‌های چند متغیره عبارت است از به دست آوردن ترکیبی خطی از متغیرهای مستقل که بتواند تعدادی از گروه‌های از پیش تعیین شده را از هم تفکیک کند. تفکیک گروه‌ها با دادن وزن‌های مناسب به هر یک از متغیرها براساس حداکثر کردن واریانس بین گروهی نسبت به واریانس درون گروهی انجام می‌شود. ترکیب خطی در تحلیل تشخیص که به تابع تشخیص نیز معروف است، از رابطه‌ی ۵ به دست می‌آید:

$$Z_{jk} = a + W_1 X_{1k} + W_2 X_{2k} + \dots + W_n X_{nk} \quad (5)$$

که در آن، Z_{jk} ؛ نمره Z تابع تشخیص لازم برای مشاهده (فرد، شی، مورد...) k ام، a ؛ عرض از مبدا، W_i ؛ وزن متغیر مستقل X_{ik} ؛ متغیر مستقل k ام برای مشاهده k ام است.

تحلیل تشخیص، روشی مناسب برای آزمون این فرض است که آیا میانگین‌های گروهی یک مجموعه متغیرهای مستقل برای دو گروه یا بیشتر برابر است. برای این منظور تحلیل تشخیص هر یک از متغیرهای مستقل را در وزن مربوط ضرب کرده و آنها را با هم جمع می‌کند. نتیجه این کار یک نمره Z تشخیص مرکب برای هر یک از مشاهده‌های (واحد کاری) در تحلیل می‌باشد. با متوسط‌گیری از نمرات تشخیص تمام افراد موجود در هر گروه تپه‌ها، میانگین آن شکل از تپه بدست می‌آید و به مرکز ثقل معروف است. بر پایه مقایسه مراکز ثقل، فاصله و اختلاف گروه‌ها در طول بعد تابع مورد نظر نشان می‌دهد.

همان‌طور که ذکر گردید، بعد از تعیین مهم‌ترین متغیرهایی که اختلاف بین تپه‌های ماسه‌ای مختلف را نشان می‌دهد، گروه‌بندی تپه‌های ماسه‌ای بر اساس متغیرهای مذکور به دو روش منحنی‌های دوتایی (بایوپلات) و تحلیل خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. در واقع به منظور بررسی همگنی تپه‌های



شکل ۱. نقشه‌ی مرفولوژی دشت ریگ بلند کاشان و نقاط برداشت نمونه‌های رسوب

شده و تثبیت نشده دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد می‌باشد. همچنین متغیر کشیدگی یا پخش‌شدگی در تپه‌های غیرفعال با تپه‌های طولی، مرکب و بوکلیه‌ی بارخان و نیز متغیر کج‌شدگی یا چولگی فقط بین تپه‌های بوکلیه‌ی بارخانی و بارخان تثبیت شده در سطح ۹۵٪، اختلاف معنی‌دار دارند.

با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون توکی، معنی‌دار بودن اختلاف متغیرهای مورد مطالعه در تپه‌های ماسه‌ای مختلف مورد بررسی قرار گرفت که در جدول ۲، نشان داده شده است. توجه به جدول ۲، نتیجه گرفته می‌شود که متغیرهای قطر میانگین، جورشدگی، d_{10} و d_{90} در تپه‌های تثبیت

جدول ۱. ویژگی‌های آماری متغیرهای مورد مطالعه

متغیرهای مورد مطالعه						
d_{90}	d_{10}	کشیدگی	کج‌شدگی	جورشدگی	قطر میانگین	
۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	تعداد نمونه‌های موجود
.	تعداد نمونه‌های از دست رفته
۳۱۴/۷۰	۱۱۸/۸۳	۱/۰۱۳۶	۰/۰۲۴۷	۱/۴۶۷	۱۸۵/۴۸۸	میانگین
۱۳/۸۱۸	۲/۰۸	۰/۰۲۹۱۸	۰/۰۱۱۷۴	۰/۰۳۰۵	۲/۵۰۱۲	خطای استاندارد میانگین
۱۱۹/۶۷۴	۱۸/۰۷	۰/۲۵۲۶۹	۰/۱۰۱۶۸	۰/۲۶۴۶	۲۱/۶۶۱	خطای انحراف معیار
۱۴۳۲۲/۰۵۶	۳۲۶/۵۴	۰/۰۶۴	۰/۰۱۰	۰/۰۷۰	۴۶۹/۲۲	واریانس
۵۷۴/۷۰	۶۱/۵۳	۰/۹۶	۰/۵۲	۱/۰۷	۱۰۹/۰۰	دامنه تغییرات
۲۳۲/۲۰	۷۴/۳۷	۰/۷۴	-۰/۲۳	۱/۲۴	۱۵۲/۱۰	بیشترین
۷۷۹/۹۰	۱۳۵/۹۰	۱/۷۰	۰/۳	۲/۳۱	۲۶۱/۱۰	کمترین

جدول ۲. معنی دار بودن اختلاف متغیرهای مورد مطالعه در تپه‌های ماسه‌ای مختلف

تپه‌های ماسه‌ای (I)	تپه‌های ماسه‌ای (J)	فطر میانگین	جورشدگی	d10	d90	چولگی	کشیدگی
تثبيت شده (بارخانی)	عرضی	۲۴/۸۷*	۰/۴۲*	-۲۶/۴۵۴۵*	۲۵۸/۹۰۹۵*	۰/۰۶۴۶	۰/۰۹۵۱
	طولی	۳۰/۰۲*	۰/۵۴*	-۳۰/۸۱۹۳*	۲۹۴/۹۹۶۵*	۰/۰۴۴۷	۰/۳۶۹۲*
	مرکب	۳۲/۳۹*	۰/۵۶*	-۳۰/۴۶۱۳*	۳۰۷/۸۰۶۷*	۰/۱۰۰۸	۰/۳۹۹۰*
	بوکلیه بارخان	۳۳/۱۶*	۰/۵۵*	-۲۸/۱۷۳۸*	۳۰۷/۹۸۴۶*	۰/۱۲۶۰*	۰/۳۷۸۲*
عرضی	تثبيت شده	-۲۴/۸۷*	-۰/۴۲*	۲۶/۴۵۴۵*	-۲۵۸/۹۰۹۵*	-۰/۰۶۴۶	-۰/۰۹۵۱
	طولی	۵/۱۵	۰/۱۲	-۴/۳۶۴۸	۳۶/۰۸۷	-۰/۰۲	۰/۲۷۴۱*
	مرکب	۷/۵۱	۰/۱۴	-۴/۰۰۶۸	۴۸/۸۹۷۲	۰/۰۴۳۴	۰/۳۰۳۹*
	بوکلیه بارخان	۸/۲۸	۰/۱۳	-۱/۷۱۹۳	۴۹/۰۷۵۱	۰/۰۶۱۴	۰/۲۸۳۱*
طولی	تثبيت شده	-۳۰/۰۲*	-۰/۵۴*	۳۰/۸۱۹۳*	-۲۹۴/۹۹۶۵*	-۰/۰۴۴۷	-۰/۳۶۹۲*
	عرضی	-۵/۱۵	-۰/۱۲	۴/۳۶۴۸	-۳۶/۰۸۷	۰/۰۲۰۰	-۰/۲۷۴۱*
	مرکب	۲/۳۶	۰/۰۲	۰/۳۵۸۰	۱۲/۸۱۰۲	۰/۰۶۴۳	۰/۰۲۹۸
	بوکلیه بارخان	۳/۱۳	۰/۰۹۰	۲/۶۴۵۵	۱۲/۹۸۸۱	۰/۰۸۱۴	۰/۰۰۹
مرکب	تثبيت شده	-۳۲/۳۹*	-۰/۵۵۷۴*	۳۰/۴۶۱۳*	-۳۰۷/۸۰۶۷*	-۰/۱۰۰۸	-۰/۳۹۹۰*
	عرضی	-۷/۵۱	-۰/۱۳۶۸	۴/۰۰۶۸	-۴۸/۸۹۷۲	-۰/۰۴۳۴	-۰/۳۰۳۹*
	طولی	-۲/۳۶	-۰/۰۱۷۲	-۰/۳۵۸	-۱۲/۸۱۰۲	-۰/۰۶۳۴	-۰/۰۲۹۸
	بوکلیه بارخان	۰/۷۷	-۰/۰۰۸۲	۲/۲۸۷۵	۰/۱۷۷۹	۰/۰۱۸	-۰/۰۲۰۷
بوکلیه بارخان	تثبيت شده	-۳۳/۱۶*	-۰/۵۴۹۲*	۲۸/۱۷۳۸*	-۳۰۷/۹۸۴۶*	-۰/۱۲۶۰*	-۰/۳۷۸۲*
	عرضی	-۸/۲۸	-۰/۱۲۸۶	۱/۷۱۹۳	-۴۹/۰۷۵۱	-۰/۰۶۱۴	-۰/۲۸۳۱*
	طولی	-۳/۱۳	-۰/۰۰۹	-۲/۶۴۵۵	-۱۲/۹۸۸۱	-۰/۰۸۱۴	-۰/۰۰۹
	مرکب	-۰/۷۶	۰/۰۰۸۲	-۲/۲۸۷۵	۰/۱۷۷۹	-۰/۰۱۸	۰/۰۲۰۷

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد

متغیر جورشدگی و کشیدگی توانایی جداسازی تپه‌های مختلف را دارند.

با بر اساس نتایج جدول تحلیل تابع تشخیص که بر اساس شکل‌های مختلف تپه تهیه شده است (جدول ۳)، تنها دو تابع کانونیک معنی‌دار شده‌اند. همچنین تنها دو

جدول ۳. شاخص و بیلکس لامبدا بر اساس جدول تابع تشخیص

گام	متغیر وارد شده	شاخص و بیلکس لامبدا							
		آماره	df1	df2	df3	آماره	مقدار F		
۱	جورشدگی	۰/۲۹۰	۱	۴	۷۰	۴۲/۷	۴	۷۰	معنی‌داری
۲	جورشدگی و کشیدگی	۰/۲۰۶	۲	۴	۷۰	۲۰/۷	۸	۱۳۸	معنی‌داری

متغیر فوق قادرند با دقت ۰/۷۵، به خوبی تپه‌های مختلف را گروه‌بندی کنند (جدول ۴). همچنین نتایج طبقه‌بندی به روش تحلیل خوشه‌ای توسط دو شاخص جورشدگی و کشیدگی در شکل ۲ منعکس شده است.

جدول ۳ نشان می‌دهد که از بین متغیرهای مورد مطالعه فقط دو شاخص جورشدگی و کشیدگی تابعی را ارائه می‌کند که بر اساس آن امکان طبقه‌بندی شکل‌های مختلف تپه‌ها وجود دارد. همچنین نتایج طبقه‌بندی به روش ارزیابی متقابل، نشان‌دهنده این است که دو

C A S E	0	5	10	15	20	25
Label Num	+-----+-----+-----+-----+-----+					
A	B					
4	7	--+				
5	9	--+-----+-----+-----+-----+-----+				
3	6	--+		+-----+-----+-----+-----+-----+		
2	4	-----+-----+-----+-----+-----+				
5	8	-----+-----+-----+-----+-----+		+-----+-----+-----+-----+-----+		
2	5	-----+-----+-----+-----+-----+				
1	1	-----+-----+-----+-----+-----+				
1	3	-----+-----+-----+-----+-----+		+-----+-----+-----+-----+-----+		
1	2	-----+-----+-----+-----+-----+				

ستون A: ۱- تپه‌های تثبیت شده (بارخانی) ۲- تپه‌های عرضی ۳- تپه‌های خطی ۴- تپه‌های مرکب ۵- بوکلیه‌ی بارخان
 ستون B: شماره‌گذاری بر اساس تعداد ترانسکت‌های ایجاد شده (۱، ۲، ۳): تپه‌های تثبیت شده ۴، ۵: تپه‌های عرضی ۶: تپه‌های خطی
 ۷: تپه‌های مرکب ۸، ۹: بوکلیه‌ی بارخان

شکل ۲. نمودار درختی آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی بر اساس متغیرهای جورشدگی و کشیدگی

مطالعه (به جز چولگی) بیشترین دامنه‌ی تغییرات را دارند. همچنین مشاهده می‌شود که دامنه‌ی تغییرات در تپه‌های طولی، مرکب و بوکلیه‌ی بارخان تقریباً یکسان می‌باشد. همچنین با توجه به شکل ۴، مشاهده می‌شود که متغیرهای مربوط به تپه‌های تثبیت شده با شیب نسبتاً زیادی در سایر تپه‌های ماسه‌ای (تپه‌های فعال)، تغییر می‌کند که حاکی از وجود اختلاف در ویژگی بین این تپه‌ها می‌باشد. به عنوان مثال مشخص می‌شود که تپه‌های تثبیت شده نسبت به تپه‌های تثبیت نشده، قطر میانگین بیشتر و جورشدگی کمتر دارند.

با توجه به شکل ۲ و جدول ۵، مشاهده می‌شود که ترانسکت‌های مربوط به تپه‌های تثبیت شده (۱، ۲ و ۳) در یک گروه و همچنین ترانسکت‌های ۶، ۷ و ۹ در یک گروه و ترانسکت‌های ۴، ۵ و ۸ در دسته‌ای دیگر قرار گرفته‌اند. با استفاده از نرم‌افزار SPSS، نمودار میانگین متغیرهای مورد مطالعه (شکل ۴) و نیز نمودار جعبه‌ای آنها در انواع تپه‌های ماسه‌ای (شکل ۳) ترسیم گردید که دامنه‌ی تغییرات را به خوبی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳، نتیجه گرفته می‌شود که در تپه‌های تثبیت شده (بارخانی و خطی)، متغیرهای مورد

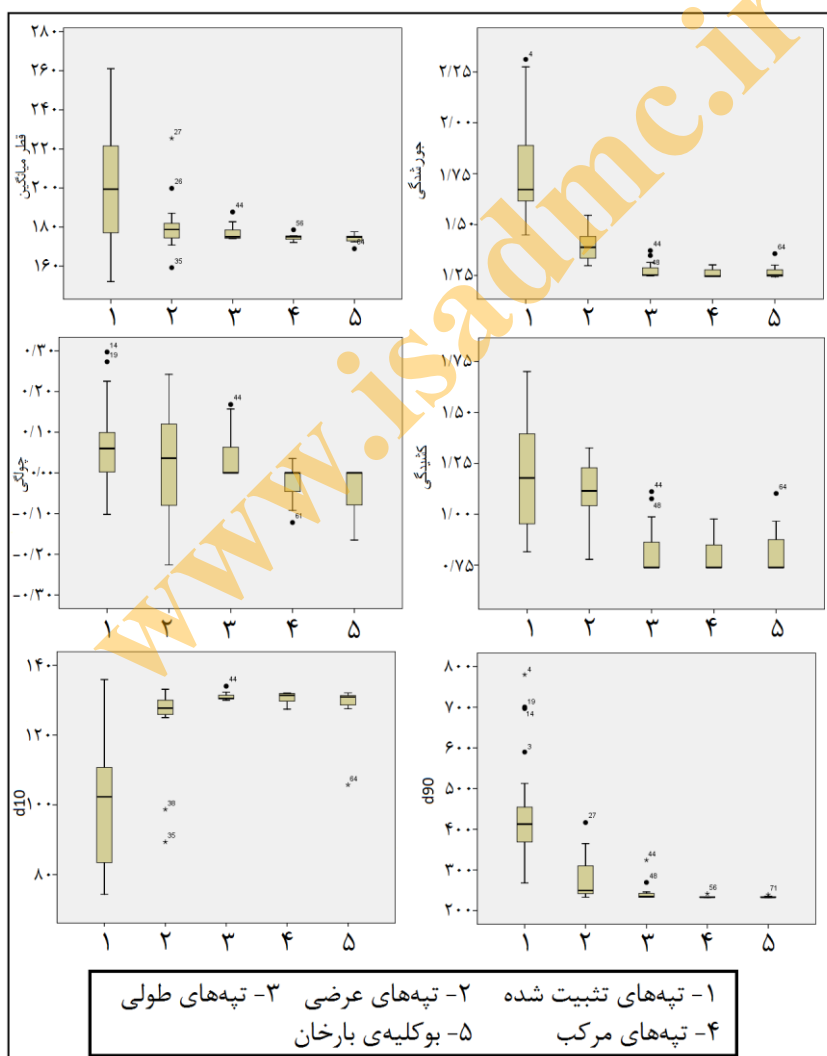
جدول ۴. نتیجه ارزیابی متقابل برای طبقه بندی تپه‌ها بر پایه دو شاخص جورشدگی و کشیدگی

مجموع	عضویت در گروه					کد تپه	تعداد
	۵	۴	۳	۲	۱		
۲۵	۰	۰	۰	۵	۲۰	۱	
۱۸	۰	۰	۴	۱۴	۰	۲	
۱۱	۰	۸	۰	۳	۰	۳	
۸	۰	۶	۲	۰	۰	۴	
۱۳	۰	۸	۴	۱	۰	۵	
۱۰۰	۰	۰	۰	۲۰	۸۰	۱	ارزیابی متقابل
۱۰۰	۰	۰	۲۲/۳	۷۷/۸	۰	۲	
۱۰۰	۰	۷۲/۷	۰	۲۷/۳	۰	۳	%
۱۰۰	۰	۷۵	۲۵	۰	۰	۴	
۱۰۰	۰	۶۱/۵	۳۰/۸	۷/۷	۰	۵	

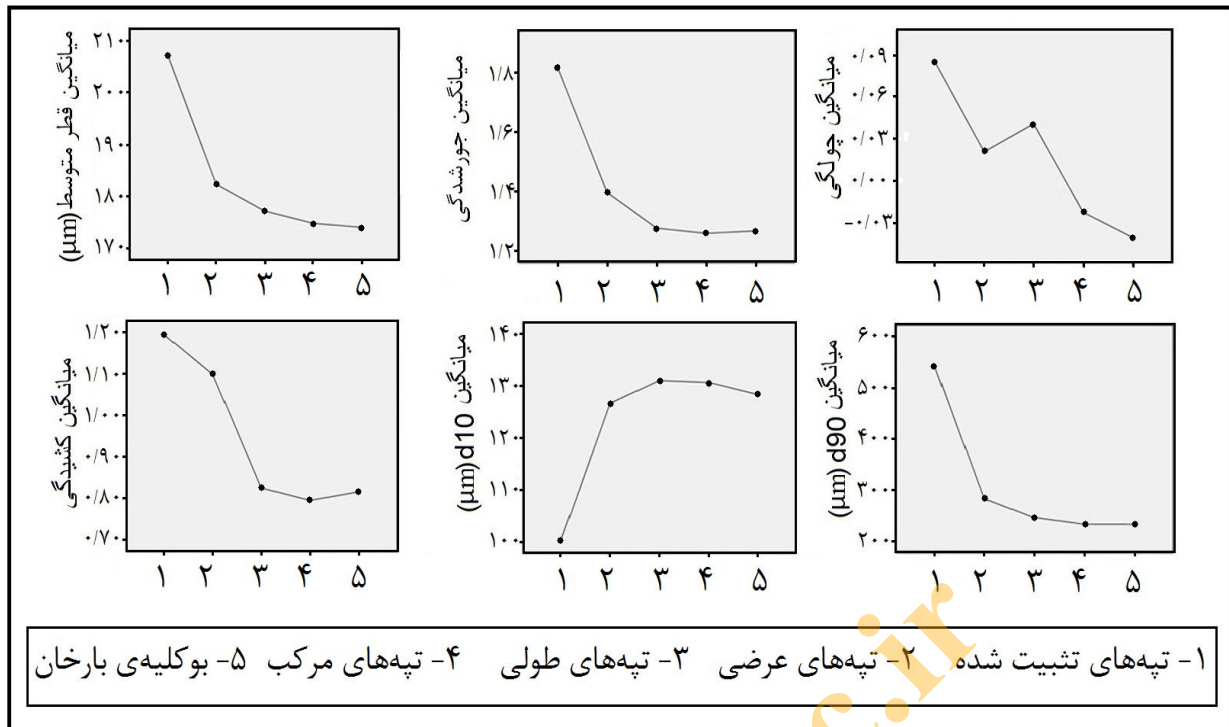
۵۷٪ از اعضای اولیه صحیح طبقه بندی شده‌اند و ۵۳٪ از اعضا در طبقه بندی متقابل صحیح طبقه بندی شده‌اند

جدول ۵. جدول آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی بر اساس متغیرهای جورشدگی و کشیدگی

نوع تپه	ترانسکت	گروه
تثبیت شده (بارخانی و خطی)	۱	۱
	۲	۱
	۳	۱
عرضی	۴	۲
	۵	۲
خطی	۶	۳
	۷	۳
مرکب	۸	۲
	۹	۳



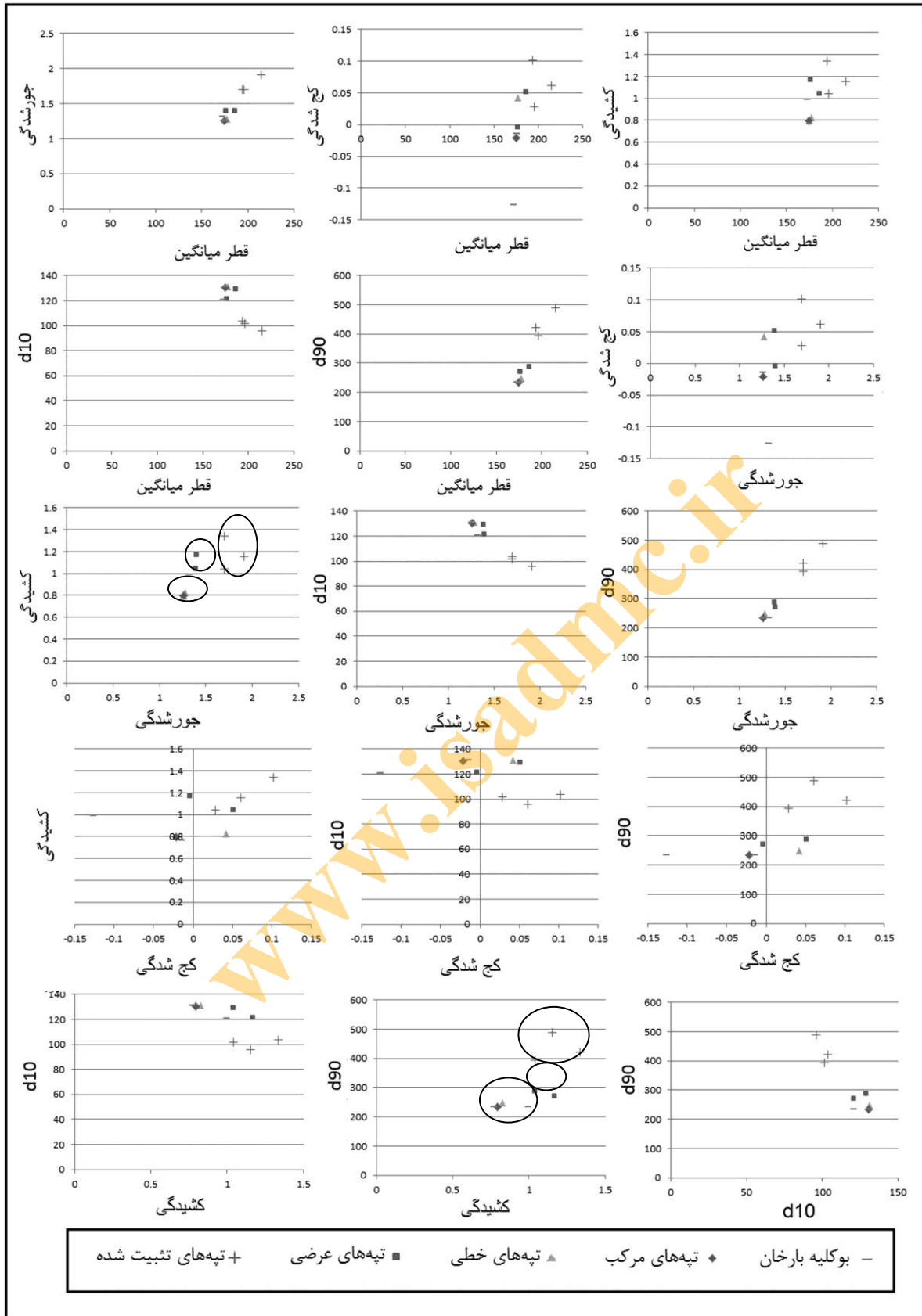
شکل ۳. نمودار جعبه‌ای متغیرهای مورد مطالعه در انواع تپه‌های ماسه‌ای



شکل ۴. مقایسه‌ی میانگین متغیرهای مورد مطالعه در انواع تپه‌های ماسه‌ای

(بایوپلات) برای تعیین تپه‌های ماسه‌ای همگن در شکل ۵ نشان داده شده است. بر پایه نتایج آنالیز نمودارهای دوتایی (بایوپلات) مشخص شد که نمودارهایی که بر اساس شاخص‌های جورشدگی و کشیدگی، d_{10} و d_{90} هستند به طور گرافیکی بهتر توانسته‌اند تپه‌های مختلف را از یکدیگر جدا کنند. نتایج نشان داد که آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی همچون آنالیز چند متغیره، متغیرهای کشیدگی و جورشدگی به صورت بهتری تپه‌های ماسه‌ای همگن را مشخص می‌کند. زیرا نتایج طبقه‌بندی تپه‌ها با در نظر گرفتن دو متغیر فوق، نشان داد که تپه‌های تثبیت شده در گروه یک، تپه‌های عرضی در گروه دو و تپه‌های خطی و مرکب در گروه سه قرار می‌گیرند. همچنین ویژگی‌های دانه‌بندی دو ترانسکت ایجاد شده در تپه‌های بوکلیه‌ی بارخان، شبیه به تپه‌های عرضی و خطی می‌باشد.

با توجه به شکل ۳، نتیجه گرفته می‌شود که در تپه‌های تثبیت شده، متغیرهای مورد مطالعه (به جز چولگی) بیشترین دامنه‌ی تغییرات را دارند. همچنین مشاهده می‌شود که دامنه‌ی تغییرات در تپه‌های طولی، مرکب و بوکلیه‌ی بارخان تقریباً یکسان می‌باشد. همچنین با توجه به شکل ۴، مشاهده می‌شود که متغیرهای مربوط به تپه‌های تثبیت شده با شیب نسبتاً زیادی در سایر تپه‌های ماسه‌ای (تپه‌های فعال)، تغییر می‌کند که حاکی از وجود اختلاف در ویژگی بین این تپه‌ها می‌باشد. به عنوان مثال مشخص می‌شود که تپه‌های تثبیت شده نسبت به تپه‌های تثبیت نشده، قطر میانگین بیشتر و جورشدگی کمتر دارند. به طور کلی مشاهده می‌شود که نتایج جدول ۱، شکل‌های ۳ و ۴ با یکدیگر همخوانی داشته و متفاوت بودن ویژگی‌های تپه‌های فعال و غیر فعال را نشان می‌دهد. همچنین نتایج روش تجزیه نمودار دو متغیره



شکل ۵. منحنی‌های بایوپلات مربوط به رسوبات بادی تپه‌های مختلف

■ بحث و نتیجه‌گیری

این تحقیق به منظور بررسی ویژگی‌های دانه‌بندی رسوبات بادی در ارگ کاشان و کاربرد آنها در تعیین تپه‌های ماسه‌ای همگن صورت پذیرفت. نتایج به دست آمده از آنالیز دانه‌بندی تپه‌های ماسه‌ای مختلف نشان داد که متغیرهای قطر میانگین، جورشدگی، d_{10} و d_{90} در تپه‌های تثبیت شده (بارخانی و خطی) و تثبیت نشده دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد می‌باشد. به عنوان مثال میانگین قطر متوسط در تپه‌های تثبیت شده (بارخانی و خطی)، تپه‌های عرضی، تپه‌های خطی، تپه‌های مرکب و بوکلیه‌ی بارخان به ترتیب برابر $۲۰۱/۳۷$ ، $۱۸۱/۳۸$ ، $۱۷۷/۲۶$ ، $۱۷۴/۹۰$ و $۱۷۳/۳۰$ میکرومتر به دست آمد. به طور کلی نتایج دانه‌بندی حاکی از آن است که ویژگی‌های تپه‌های ماسه‌ای تثبیت شده متفاوت از تپه‌های فعال می‌باشد. بررسی‌های انجام شده در منطقه تاکلیماکان نیز نشان دهنده واگرایی توزیع اندازه ذرات در تپه‌های ماسه‌ای مختلف ارگ است (Wang et al., 2002). به طوری که ماسه‌ها از حاشیه‌ی شمالی به سمت مرکز ریزدانه‌تر بوده و از مرکز ارگ به سمت حاشیه‌ی جنوبی درشت‌دانه‌تر هستند (Wang et al., 2002).

بررسی مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در گروه‌بندی تپه‌ها براساس ویژگی‌های دانه‌بندی بر مبنای شاخص ویلکس لامبدا انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که تنها دو متغیر جورشدگی و کشیدگی توانایی جداسازی تپه‌های مختلف را دارند. همچنین نتایج طبقه‌بندی به روش ارزیابی متقابل، نشان داد که این دو متغیر می‌توانند با دقت ۵۷٪، تپه‌های مختلف را گروه‌بندی کنند. در واقع این متغیرها بستگی بسیار زیادی به دامنه‌ی تغییرات دارند و از آنجا که تغییرات دانه‌بندی رسوبات بادی در تپه‌های ماسه‌ای فعال و غیرفعال بسیار زیاد می‌باشد، این متغیرها به خوبی بیان‌کننده‌ی این تغییرات است. نمودارهای جعبه‌ای ترسیم شده نیز نشان داد که در تپه‌های تثبیت شده، متغیرهای مورد مطالعه (به جز چولگی) بیشترین دامنه‌ی تغییرات را دارند. بررسی دامنه‌ی تغییرات مربوط به متغیرهای d_{10} و d_{90} در تپه‌های تثبیت شده مشخص می‌گردد که دامنه‌ی تغییرات d_{10} و d_{90} به ترتیب

نشان‌دهنده‌ی فرایندهای تثبیت ماسه و فرایندهای پس از تثبیت و بهبود ساختمان خاک (رفاهی، ۱۳۷۸) می‌باشند که به ترتیب مبین فراوانی بیشتر ذرات درشت دانه و ذرات سیلت و رس در تپه‌های تثبیت شده می‌باشد.

همچنین در مطالعه‌ی دیگری در ارگ کاشان مقدار فراوانی ذرات سیلت و رس به همراه مواد آلی در تپه‌های غیر فعال بیشتر گزارش شده است (احقایی، ۱۳۸۶).

طبقه‌بندی تپه‌های مختلف بر اساس دو متغیر مذکور و به روش آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی، نشان داد که تپه‌های غیرفعال و نیز تپه‌های عرضی در گروه‌های مجزا قرار می‌گیرد. همچنین تپه‌های خطی و مرکب به دلیل همگنی ویژگی‌های دانه‌بندی در یک گروه می‌باشد. با توجه به فعالیت بسیار زیاد بوکلیه‌ی بارخانی، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ویژگی‌های دو ترانسکت احداث شده در این تپه‌ها شبیه به تپه‌های عرضی و خطی است. با توجه به اینکه تپه‌های بوکلیه‌ی بارخان مطالعه شده، در نزدیکی تپه‌های مرکب (متشکل از تپه‌های طولی و عرضی) قرار داشتند، بنابراین می‌توان به صحت نتایج به دست آمده از این گروه‌بندی پی برد.

نتایج آنالیز دو متغیره از طریق ترسیم منحنی‌های بایوپلات و گروه‌بندی آنها به روش آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی نیز نتایج آنالیز چند متغیره را تأیید نمود و نشان داد که متغیرهای جورشدگی و کشیدگی می‌توانند براساس همگنی ویژگی‌های دانه‌بندی، تپه‌های ماسه‌ای مختلف را گروه‌بندی کنند. مقایسه این یافته‌ها با مطالعات انجام شده در منطقه‌ی آسیای میانه دهد (Wang et al., 2002) که با بهره‌گیری از منحنی‌های بایوپلات و شاخص‌های اندازه ذرات ماسه نشان می‌دهد که جدا کردن توزیع اندازه ذرات ماسه در تپه‌های ماسه‌ای مختلف بر پایه‌ی روش‌های چند متغیره می‌تواند نتایج قابل قبول‌تری نسبت منحنی‌های ارائه. همچنین برای پژوهش‌های آینده می‌توان قابلیت سایر شاخص‌های مورفومتری تپه‌های ماسه‌ای مانند مقدار زبری توپوگرافی، انحنا‌ی دامنه‌های رو به باد و پشت به باد به همراه شاخص‌های دانه‌بندی مورد بررسی قرار گیرد.

■ منابع

۱. احقاقی، آ. (۱۳۸۶). تکامل خصوصیات خاک در تپه‌های ماسه‌ای تثبیت شده و تثبیت نشده (منطقه مورد مطالعه ریگ بلند کاشان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲. احمدی، ح. (۱۳۸۵). ژئومرفولوژی کاربردی جلد ۲ بیابان - فرسایش بادی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۳. احمدی، ح.، و محمدخان، ش. (۱۳۸۵). مقایسه ویژگی‌های اندازه ماسه در ارگ‌های ساحلی و داخلی. مجله بیابان، ۱(۱۱۱)، ۲۱۱-۲۲۴.
۴. بافکار، ع.، و مجردی، ح. (۱۳۸۹). حفاظت آب و خاک. کرمانشاه، دانشگاه رازی.
۵. حسینی، س. م.، اختصاصی، م. ف.، شهریاری، ع.، و شفیع، ح. (۱۳۸۹). بررسی وضعیت بالفعل و بالقوه بیابان‌زایی با تاکید بر معیار فرسایش بادی به روش MICD1 (بررسی موردی: منطقه نیاتک سیستان). شریه مرتع و آبخیزداری (مجله منابع طبیعی ایران)، ۶۳(۳)، ۱۶۵-۱۸۱.
۶. دورنکاپ، کینگ، استرالر، گاردینر، و داکومب. (۱۳۷۱). تحلیل‌های کمی در ژئومرفولوژی. فریفته، ج.، (مترجم)، تهران، دانشگاه تهران.
۷. رفاهی، ح. (۱۳۷۸). فرسایش بادی و کنترل آن. تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
۸. مشهدی، ن.، و احمدی، ح. (۱۳۸۹). تعیین منابع ماسه بر اساس دانه بندی خاک یا رسوب سطحی (توان رسوب زایی). فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان، ۴۱، ۴۹۹-۵۱۷.
۹. معتمد، ا. (۱۳۷۹). ژئومرفولوژی، تهران، انتشارات سمت.
۱۰. مقصودی، م.، یمانی، م.، مشهدی، ن.، تقی زاده، م.، و ذهاب ناظوری، س. (۱۳۹۰). شناسایی منابع ماسه‌های بادی ارگ نوق با استفاده از تحلیل باد و مورفومتری ذرات ماسه. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۴۳(۳)، ۱-۱۶.
۱۱. یمانی، م. (۱۳۷۹). ارتباط قطر ذرات ماسه و فراوانی سرعت‌های آستانه باد در منطقه بندریگ کاشان. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۸، ۱۱۵-۱۳۲.
12. Bagnold, R. A. (1937). The size-grading of sand by wind. Proceeding if the Royal Society of London, 163A. The Royal Society, London, 250-264.
13. Bagnold, R. A. (1941). The physics of blown sand and desert dunes. Methuen, London. 265 pp.
14. Bagnold, R. A., Brandorff-Nielsen, O. E. (1980). The pattern of natural size distributions. Sedimentology, 27, 199-207.
15. Brandorff-Nielsen, O. E., Dalsgaard, K., Halgren, C., Kuhlman, G., Moller, J. T., Schon, G. (1982). Variations in particle size over a small dune. Sedimentology, 29, 53-65.
16. Hangen, L. J. (1991). A wind erosion predication system to meet user needs. Journal of Soil and water conservation, 46, 106-111.
17. Lancaster, N. (1986). Grain-size characteristics of linear dunes in the southwestern Kalahari. Journal of sedimentary petrology, 56, 395-400.
18. Lancaster, N. (1989b). The dynamics of star dunes: example from the Gran Desierto, Mexico. Sedimentology, 36, 273-289.
19. Lancaster, N. (1995). Geomorphology of desert dunes. Routledge, London.
20. Livingston, I., Bullard, J. E., Wiggs, G. F. S., Thomas, D. S. G. (1999). Grain-size variations on dunes in the southwest Kalahari, southern Africa. Journal of sedimentary research, 69, 456-552.

21. Livingstone, I. (1987). Grain-size variations on a complex linear dune in Namib Desert. In: Frostick, L. E., Reid, I. (Eds). Desert sediments, ancient and modern, special publication, 35. Geological society of London. Blackwell, Oxford, 281-291.
22. Pye, K., Tsoar, H. (1990). Aeolian sand and sand dunes. Unwin Hyman, London.
23. Tsoar, H. (1986). Two-dimensional analysis of dune profiles and effect of grain size on sand dune morphology. In: El-Baz, F., Hassan, M. H. A. (Eds.), Physics of Desertification. Martinus Nijhof, The Hague, 94-108.
24. Vincent, P. (1984). Particle size variation over a transverse dune in the Nafud as Sirr, central Saudi Arabia. Journal of arid environment, 7, 329-336.
25. Wang, X., Dong, Z., Zhang, J., Q, J. & Z. A. (2002). Grain size characteristics of dune sands in the central Taklimakan sand sea. Sedimentary Geology, 161, 1-14.
26. Watson, A. (1986). Grain-size variations on a longitudinal dunes and a barkhan dune. Sedimentary Geology, 46, 49-66.
27. Webb, N. P., McGowan, H .A., Phinn, S .R. & McTainsh. G .H. (2006) .AUSLEM (Australian Land Erodibility Model): A tool for identifying wind erosion hazard in Australia. Geomorphology journal, 78, 179-200.

Application of Aeolian Sediments Granulometry Characteristics to Determine the Morphology of Homogenous Sand Dunes through Multivariate Data Analysis (Case Study: Kashan Erg)

A. Tavakkoli Fard¹, A.A. Nazari Samani^{2*}, H. Ghasemieh³ and N. Mashhadi⁴

¹ MSc Graduate, University of Kashan, Iran

² Assistant Professor, University of Tehran, Iran

³ Assistant Professor, University of Kashan, Iran

⁴ Assistant Professor, Desert International Research Center, University of Tehran, Iran

* Corresponding Author: aknazari@ut.ac.ir

Received: 2013.06.11

Accepted: 2013.12.14

Abstract

Kashan Erg is one of the most important sand seacomplexes in Iran. The Current research tried to determine the homogeneity of Kashan Erg through multivariate data analysis. Data was extracted by interpretation of aerial photographs, Google earth, field observations and morphologic map of the study area. Moreover, different statistical variables of aeolian sediment samples were conducted in different sand dunes. The granulometric parameters were also calculated based on the dry sieve analysis while mean diameter, sorting, skewness, kurtosis, d_{10} , and d_{90} indices were calculated using GRADISTAT software. Wilks' lambda and canonic coefficients results indicated that, among granulometric data, skewness and kurtosis could distinguish different sand dunes types (accuracy of 57%). According to the above mentioned indices, the classification was performed using Hierarchical Cluster analysis. The results showed that the stabilized dunes were located in the separate group which related to the effect of vegetation establishment and ability of wind in transporting of fine particles of these areas. Also, bivariate plots used for evaluating the homogeneity of the sand dunes which indicated d_{10} and d_{90} parameters as a discriminant factors for graphical and visually separation, but not statistically. Findings revealed that by using quantitative multivariate methods for sand dunes classification, less experimental insights can affect the results.

Keywords: Sand dunes; Morphometry; Kashan Erg; Wind erosion; Multivariate analysis.