

مدل سازی کمی ارتفاع و فاصله بین تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از مطالعات ژئومرفومتریک در بیابان‌های داخلی ایران

علی‌اکبر نظری سامانی^{۱*}، حمیدرضا عباسی^۲، حسن احمدی^۳ و محمدرضا راهداری^۴

۱- نویسنده مسئول، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، پست الکترونیک: aknazari@ut.ac.ir

۲- مربی پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- استاد، گروه آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

۴- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۲۱

چکیده

با توسعه و پیشرفت مطالعات علوم زمین در علم ژئومرفولوژی شاخه جدید ژئومرفومتري ایجاد شده است که به نوعی دانشی تلفیقی در زمینه علوم زمین، ریاضی و رایانه است. از این دانش می‌توان برای طبقه‌بندی کمی عوارض سطح زمین برپایه تغییرات ارتفاعی استفاده کرد. در این تحقیق تلاش شده است با مدل‌سازی کمی ارتفاع و فاصله بین تپه‌های ماسه‌ای در بیابان‌های داخلی ایران (ارگ کاشان و ارگ جن) به طبقه‌بندی آنها پرداخته شود. نتایج شناسایی تپه‌های ماسه‌ای در مناطق مورد مطالعه بیانگر این بود که بیابان‌های داخلی ایران از تنوع قابل ملاحظه‌ای در شکل‌گیری انواع تپه‌های ماسه‌ای برخوردارند. مدل‌سازی کمی ارتفاعی بر پایه مدل رقومی ارتفاع ۸۰ متری نشان داد که میانگین ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در ارگ کاشان و ارگ جن به ترتیب در حدود ۳۵ و ۶/۸۴ متر است. علت کاهش ارتفاع در ریگ جن به دلیل فراوانی ۳۷٪ سطح پهنه‌های ماسه‌ای در ارگ است و بدون در نظر گرفتن این پهنه‌ها متوسط ارتفاعی آن در حدود ۸/۶۳ متر خواهد شد. به طوری که ۹۰٪ از آنها در کلاس کمتر از ۲۰ متر ارتفاع قرار داشتند. از سوی دیگر تنوع درصد فراوانی کلاس‌های ارتفاعی تپه‌های ماسه‌ای در ارگ کاشان به مراتب بیشتر از ارگ جن است، به طوری که بالغ بر ۸۰٪ ارگ کاشان در کلاس ارتفاعی کمتر از ۵۰ متر است، درحالی‌که ۸۷٪ ارگ جن از کلاس ارتفاعی کمتر از ۱۰ متر برخوردار است. در ارگ کاشان، در ابتدای ارگ ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای کم و به تدریج در مرکز ارگ بیشتر می‌شود و به بیشترین ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای می‌رسد. مدل‌سازی کمی روابط بین ارتفاع و فاصله تپه‌های ماسه‌ای در ارگ جن بیانگر این مطلب است که فعالیت تپه‌های ماسه‌ای محدود به بخش بالایی تپه‌هاست. در ارگ کاشان مقایسه فاصله بین تپه‌های تثبیت شده، خطی و مرکب نشان داد که تپه‌های تثبیت شده در فاصله نزدیکتری نسبت به دو تپه دیگر تشکیل خواهند شد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، ژئومرفومتري، ارتفاع و فاصله تپه‌های ماسه‌ای، ارگ کاشان، ارگ جن.

مقدمه

به طوری که بیشتر مناطق دارای تپه‌های ماسه‌ای در دهه ۱۹۸۰ مورد شناسایی قرار گرفته است (Goudie, 1999). درکی جامع و عمومی از مناطق تپه ماسه‌ای دنیا توسط ویلسون ارائه (Wilson, 1972) و از سوی دیگر

مطالعه و تحقیق بر روی تپه‌های ماسه‌ای به صورت گسترده از یکصد سال پیش آغاز شده است (Shao, 2008). شناسایی تپه‌های ماسه‌ای از اواخر قرن نوزدهم آغاز شد،

مطالعه جامع و کاملی نیز به منظور شناسایی نحوه شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای و انواع مختلف آنها در ایران انجام شده است (Ahmadi, 2008). مدل‌سازی کمی به‌عنوان یک ابزار رایج در بسیاری از مطالعات شناخته شده است. در علم ژئومورفولوژی مطالعات کمی در بسیاری از زمینه‌ها انجام شده است و در طول زمان در حال توسعه، پیشرفت و گسترش است (Bagnold, 1941; Strahler, 1952; Leopold & Maddock, 1953; Hack, 1957). با توجه به مطالعات کمی، تپه‌های ماسه‌ای در شکل‌های مختلف تشکیل می‌شوند و هریک دارای ویژگی‌های خاص خود از قبیل ارتفاع، عرض و فاصله است (Lancaster, 1988). با توجه به توسعه روزافزون اطلاعات

سنجش از دور در علوم زمین و از سوی دیگر به‌منظور شناسایی و درک بهتر از مناطق بیابانی (تپه‌های ماسه‌ای) استفاده از ابزارهای نوین نقش بسزایی در شناسایی این مناطق که دسترسی به آنها نیز تا حدودی دشوار است، خواهد داشت (Rahdari, 2014). مطالعات نشان می‌دهد که محاسبه ارتفاع و فاصله بین تپه‌های ماسه‌ای بسیار پیچیده است و متناسب با نوع تپه و موقعیت مکانی آن تغییر می‌کند که این خود منعکس‌کننده وضعیت پویایی تپه (رشد عمودی تپه در مقابل مهاجرت یا گسترش به جلو) و در دسترس بودن منبع ماسه می‌باشد (Lancaster, 1988).

ژئومورفومتری دانش کمی کردن عوارض سطح زمین است (Pike & Dikau, 2000) و یک رویکرد نوین در زمینه تحلیل‌های کارتوگرافیک عوارض سطح زمین برپایه محاسبات رایانه‌ای و تغییرات ارتفاعی عوارض سطح زمین می‌باشد. این دانش، به نوعی یک دانش تلفیقی در زمینه علوم مختلفی همانند ریاضیات، علوم زمین و رایانه است و زمینه ارتباط علوم مختلفی مثل ژئومورفولوژی و جغرافیا را با مدل‌های عددی و ریاضی برقرار می‌کند (Pike, 1995).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

بیابان‌های داخلی در ایران، در منطقه فلات مرکزی ایران قرار گرفته‌اند. با توجه به تحقیق مورد نظر دو ارگ در بیابان‌های داخلی ایران، به‌شرح زیر مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۱):

ریگ بلند کاشان یا بندریگ: این پهنه پوشیده از ماسه که از دیدگاه ژئومورفولوژی یک مجموعه ماسه‌ای محسوب می‌گردد، یکی از معدود مجموعه‌های ماسه‌ای مهم ایران

است (Lancaster, 1988). با توجه به مطالعات کمی، تپه‌های ماسه‌ای در شکل‌های مختلف تشکیل می‌شوند و هریک دارای ویژگی‌های خاص خود از قبیل ارتفاع، عرض و فاصله است (Lancaster, 1988). با توجه به توسعه روزافزون اطلاعات

سنجش از دور در علوم زمین و از سوی دیگر به‌منظور شناسایی و درک بهتر از مناطق بیابانی (تپه‌های ماسه‌ای) استفاده از ابزارهای نوین نقش بسزایی در شناسایی این مناطق که دسترسی به آنها نیز تا حدودی دشوار است، خواهد داشت (Rahdari, 2014). مطالعات نشان می‌دهد که محاسبه ارتفاع و فاصله بین تپه‌های ماسه‌ای بسیار پیچیده است و متناسب با نوع تپه و موقعیت مکانی آن تغییر می‌کند که این خود منعکس‌کننده وضعیت پویایی تپه (رشد عمودی تپه در مقابل مهاجرت یا گسترش به جلو) و در دسترس بودن منبع ماسه می‌باشد (Lancaster, 1988).

ژئومورفومتری دانش کمی کردن عوارض سطح زمین است (Pike & Dikau, 2000) و یک رویکرد نوین در زمینه تحلیل‌های کارتوگرافیک عوارض سطح زمین برپایه محاسبات رایانه‌ای و تغییرات ارتفاعی عوارض سطح زمین می‌باشد. این دانش، به نوعی یک دانش تلفیقی در زمینه علوم مختلفی همانند ریاضیات، علوم زمین و رایانه است و زمینه ارتباط علوم مختلفی مثل ژئومورفولوژی و جغرافیا را با مدل‌های عددی و ریاضی برقرار می‌کند (Pike, 1995).

البته مدل‌سازی کمی ارتفاع در مناطق بیابانی دنیا بعد از رایگان شدن اطلاعات رقومی ارتفاع توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا در سال ۲۰۰۹ با توسعه و پیشرفت روزافزونی برخوردار بود (Hugenholtz & Barchyn,)

جغرافیایی مرکز ایران در قسمت غربی کویر مرکزی یا دشت کویر قرار گرفته است و از شمال به جاده نظامی سمنان به معلمان، ارتفاعات کوه گوگرد و شهرستان گرمسار؛ از غرب به پارک ملی کویر، ارتفاعات نخجیر، کوه طلحه، شیطان کوه، کوه دم و تنگ ظلمات؛ از شرق به محور ارتباطی جندق به معلمان و از جنوب به محور انارک به چوپانان و کوه ملاهادی (کوه بزرگی) محدود می‌گردد. گسترش ریگ جن از شمال‌غرب به جنوب شرق است و وسعتی در حدود ۴۵۰۰ کیلومتر مربع دارد و در محدوده جغرافیایی $33^{\circ}30'N$ تا $34^{\circ}15'N$ عرض شمالی و $53^{\circ}10'E$ تا $54^{\circ}45'E$ طول شرقی قرار دارد (Fatahi, 2014).

بشمار می‌آید. شهرهایی مانند کاشان، آران و بیدگل، راوند و تعداد زیادی آبادی‌های کوچک و بزرگ دیگر همراه با اراضی زراعی پیرامون آنها با سایر خدمات حاشیه‌ای درست در مجاور و یا بعضاً در درون این توده بزرگ ماسه‌ای استقرار پیدا کرده‌اند. این مجموعه ماسه‌ای درست در جنوب دریاچه نمک قرار گرفته است و دارای قوس هلالی شکل می‌باشد که تحدب آن به سمت غرب است و مساحت منطقه مورد مطالعه حدود ۹۶۹/۹ کیلومتر مربع برآورد شده است و در محدوده $33^{\circ}45'N$ تا $34^{\circ}15'N$ عرض شمالی و طول شرقی $51^{\circ}30'$ تا $51^{\circ}45'$ قرار گرفته است (Rahdari, 2014).

ریگ جن یا زیبای خفته: این منطقه در محدوده

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های مورد مطالعه (۲۰۱۳-۱۹۸۵)

ایستگاه	مختصات جغرافیایی (درجه و دقیقه)	میانگین سرعت باد (نات)	بارش (میلی‌متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)	رطوبت (درصد)
اردستان	$33^{\circ}23'N$ $52^{\circ}23'E$	۵	۱۲۷	۱۹	۳۰
	$33^{\circ}42'N$ $52^{\circ}02'E$	۷/۴	۱۲۵	۱۹/۱	۳۶
	$35^{\circ}14'N$ $52^{\circ}21'E$	۴/۸	۱۲۱/۱	۱۸/۱	۴۰
	$33^{\circ}59'N$ $51^{\circ}27'E$	۱/۶	۱۳۶	۱۹/۱	۴۰
	$34^{\circ}42'N$ $50^{\circ}51'E$	۴/۹	۱۴۸	۱۸/۲	۴۱
خور و بیابانک	$33^{\circ}47'N$ $55^{\circ}05'E$	۳	۸۳/۹	۲۰/۵	۳۲
	$32^{\circ}51'N$ $53^{\circ}05'E$	۷	۹۸/۱	۱۶/۸	۲۹
	$35^{\circ}35'N$ $53^{\circ}25'E$	۲/۸	۱۴۰/۷	۱۸/۲	۴۱

روش تحقیق

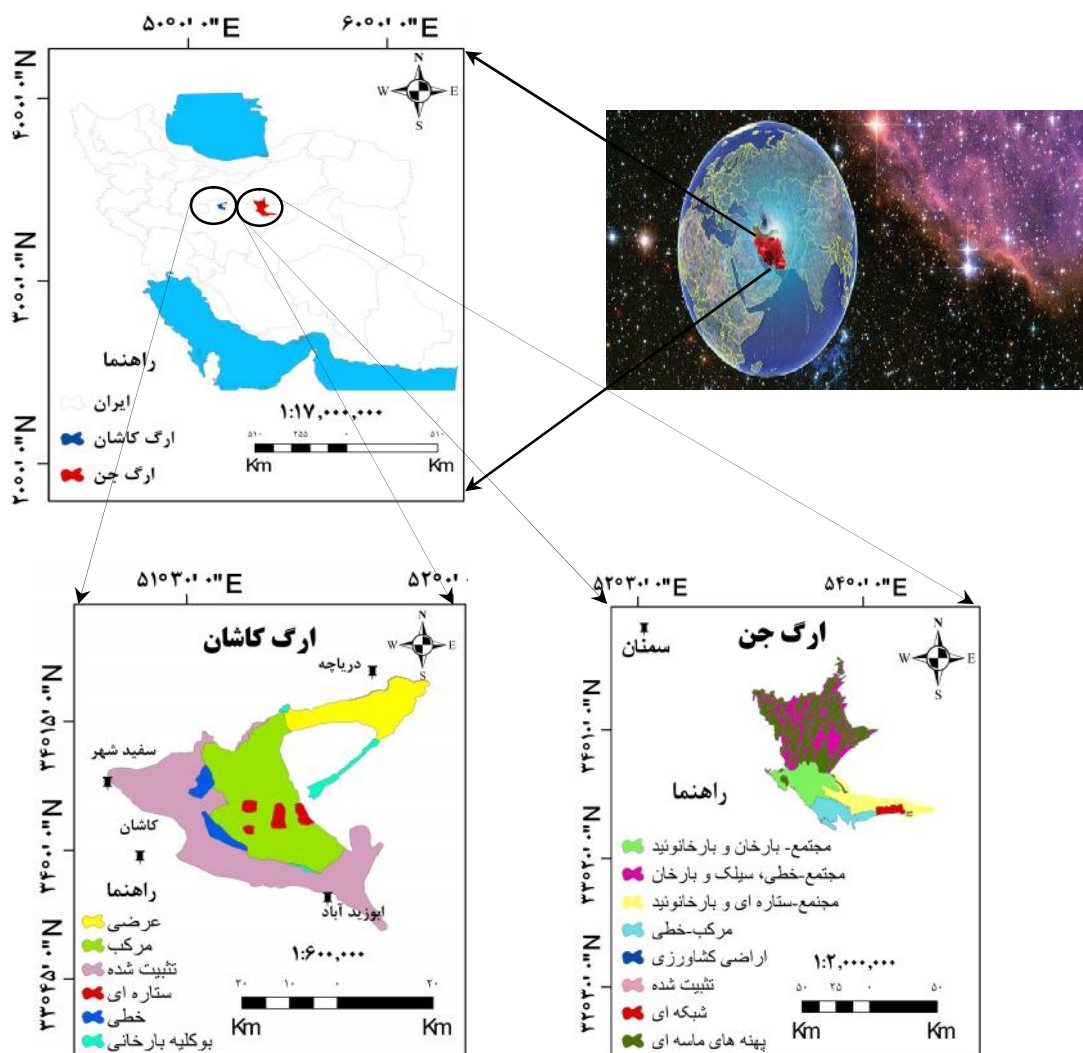
تپه‌های ماسه‌ای به‌عنوان زاویه دامنه خلاف جهت باد شناخته شده است (Shao, 2008; pye & Tsoar, 2008). مطالعات آزمایشگاهی نشان داده است که زاویه دامنه خلاف جهت باد برای ماسه‌های متوسط-ریز بین $30^{\circ}/5^{\circ}$ تا $35^{\circ}/45^{\circ}$ در حال تغییر است اما به طور عمومی بین 32° تا 34° در نظر گرفته می‌شود (Allen, 1970; Carrigy, 1970). با توجه به مطالعات زمینی زاویه $32^{\circ}/4^{\circ}$ برای تپه‌های ماسه‌ای به‌عنوان زاویه خواب ماسه در نظر گرفته شده است و از سوی دیگر، محققان مختلف زاویه 30° - 34°

از طول دامنه پشت به باد به‌منظور بدست آوردن ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای استفاده می‌گردد (Bourke et al., 2006a; Bourke et al., 2008b). این روش به‌عنوان مناسب‌ترین روش به‌منظور محاسبه ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای شناخته شده است، البته زمانی که دامنه پشت به باد، به وضوح قابل مشاهده باشد (Bourke et al., 2006). زاویه خواب ماسه بیانگر اندازه زاویه‌ای است که ریزش ماسه در آن به سمت پایین متوقف می‌شود (Pye & Tsoar, 2008). زاویه خواب ماسه در کلیه

عمودی و افقی استفاده شده است (Al-Masrahy & Mountney, 2013). در مرحله بعد مجموعه‌ای از نقاط که معرف تپه‌های ماسه‌ای در منطقه بودند، انتخاب شدند و ارتفاع تپه‌ها با استخراج پروفیل ارتفاعی بدست آمده از گوگل ارث محاسبه شد.

را به‌عنوان زاویه خواب ماسه در تپه‌های ماسه‌ای در نظر گرفته‌اند (Bagnold, 1941; Sharp, 1963; Pye & Tsoar, 2008).

به‌منظور بدست آوردن ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در منطقه، یک مجموعه از ترانسکت‌ها به‌طور سیستماتیک انتخاب شدند، به‌طوری‌که برای بالابردن دقت از ترانسکت‌های



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه و پهنه‌بندی تپه‌های ماسه‌ای

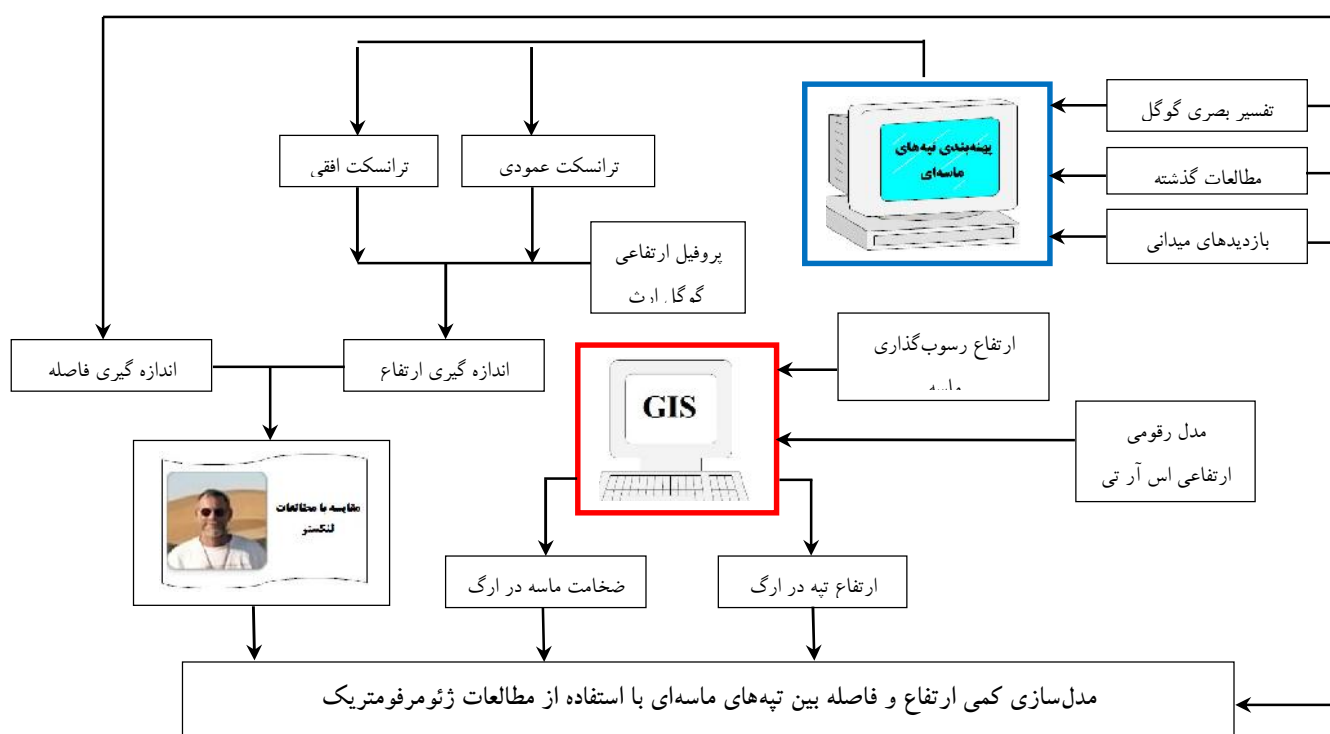
توان پیشرفت بالایی در زمینه تجزیه و تحلیل توپوگرافی تپه‌ها می‌باشد (Thomas, 1988; Wasson *et al.*, 1988; Fitzsimmons, 2007; Hugenholtz *et al.*, 2012; White

امروزه کاربرد مدل ارتفاع رقومی و دسترسی به داده‌های استاندارد جهانی در مورد ارتفاع مناسب برای بررسی تپه‌های ماسه‌ای، به یک واقعیت مبدل شده است که دارای

بعدی به منظور بدست آوردن ارتفاع دقیق نقاط برداشت شده از تفریق رستری نقشه‌های رقومی ارتفاعی استر و نقشه ضخامت ماسه درون‌یابی شده به‌عنوان ارتفاع زمین زیر ارگ در منطقه استفاده شده است (Rahdari, 2014). به‌منظور محاسبه فاصله بین تپه‌ها از روش‌های سنجش از دور استفاده گردید، به‌طوری‌که فاصله بین دو تپه در تیپ‌های مختلف با توجه به مطالعه Al-Masrahy و Mountney (۲۰۱۳) محاسبه شده است. نمودار مراحل انجام تحقیق در شکل ۲ قابل مشاهده است.

et al., 2015; Rittner et al., 2016; Barrineau et al., (2016).

با توجه به اینکه در برخی از مناطق ارگ، تشکیل یک تپه ماسه‌ای باید بر روی ارتفاعی از ماسه قرار داشته باشد؛ به‌منظور بدست آوردن مقدار ضخامت ماسه از روش درون‌یابی استفاده شد. برای تهیه نقشه ارتفاع ماسه از نقاط شروع رسوب‌گذاری ماسه در ارگ استفاده شده است که بعد از برداشت ارتفاع این نقاط، با استفاده از روش IDW (معکوس وزنی فاصله) نقشه مورد نظر تهیه شد. در گام



شکل ۲- نمودار مراحل انجام تحقیق

تحقیقات Lancaster (۱۹۸۸) نشان داده است که توان یک بیانگر، ارتفاع تپه با یک نسبت مشابهی در قیاس با فاصله تپه‌ها افزایش می‌یابد. در مواردی که توان بیشتر از یک است؛ به‌عنوان مثال تپه‌های مجتمع خطی و تپه‌های ستاره‌ای، ارتفاع تپه‌ها خیلی سریع‌تر از فاصله بین تپه‌ها افزایش می‌یابد که این موضوع نشان‌دهنده گرایش این نوع تپه‌ها به سمت رشد عمودی می‌باشد. این موضوع می‌تواند از

همبستگی بین ارتفاع و فاصله تپه‌های ماسه‌ای می‌تواند به صورت یک رابطه نیز بیان گردد (Lancaster, 1988). همان‌طور که در رابطه زیر مشاهده می‌شود یک رابطه توانی بین ارتفاع تپه‌ها (D_H) و فاصله بین آنها (D_S) وجود دارد، که مقدار توان بین ۰/۵۲ تا ۱/۷۲ در تیپ‌های مختلف تپه‌های ماسه‌ای متغیر است (Lancaster, 1988).

تپه‌های ماسه‌ای در ارگ کاشان بیانگر آن بود که در منطقه، مساحت تپه‌های مرکب بیشترین وسعت و تپه‌های هرمی‌شکل (ستاره‌ای) نیز کمترین وسعت را به خود اختصاص داده‌اند. از سوی دیگر در ارگ جن نیز می‌توان نتیجه گرفت که انواع تپه‌های ماسه‌ای موجود در منطقه مورد مطالعه شامل بارخان، بارخانوئید، تپه‌های رفت و برگشتی، تپه‌های شبکه‌ای، تپه‌های طولی مجتمع و مرکب (سیلک‌ها)، تپه‌های ستاره‌ای (هرم) و تپه‌های تثبیت شده است و پهنه‌های ماسه‌ای و اراضی کشاورزی و مسکونی از جمله دیگر عوارضی است که در ارگ جن مشاهده شده است.

یکسو وضعیت فراوانی تأمین ماسه و از سوی دیگر وضعیت رژیم بادی منطقه (که منجر به حرکت رسوبات به سمت بالا در تپه‌ها می‌شود) را بازتاب دهد. توان‌های کمتر از یک نشان می‌دهند که ارتفاع تپه‌ها با سرعت کمتری نسبت به فاصله تپه‌ها زیاد می‌شود که در این مورد می‌توان به تپه‌های مرکب خطی، خطی و هلالی اشاره کرد.

نتایج

نقشه تپه‌های مختلف تپه‌های ماسه‌ای موجود در مناطق مورد مطالعه در شکل ۱ قابل مشاهده است و نتایج پهنه‌بندی

جدول ۲-الف: پهنه‌بندی تپه‌های ماسه‌ای در ارگ کاشان

درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	تپه‌های مختلف
۴۲/۴۷	۴۱۲	تپه‌های مرکب
۳۱/۵۴	۳۰۶	تپه‌های تثبیت شده
۱۴/۹۳	۱۴۴/۹	تپه‌های عرضی
۴/۱۲	۴۰	تپه‌های خطی
۳/۹۱	۳۸	بوکلیه‌های بارخانی
۲/۹۸	۲۹	تپه‌های هرمی
۱۰۰	۹۶۹/۹	مجموع

جدول ۲-ب: پهنه‌بندی تپه‌های ماسه‌ای در ارگ جن

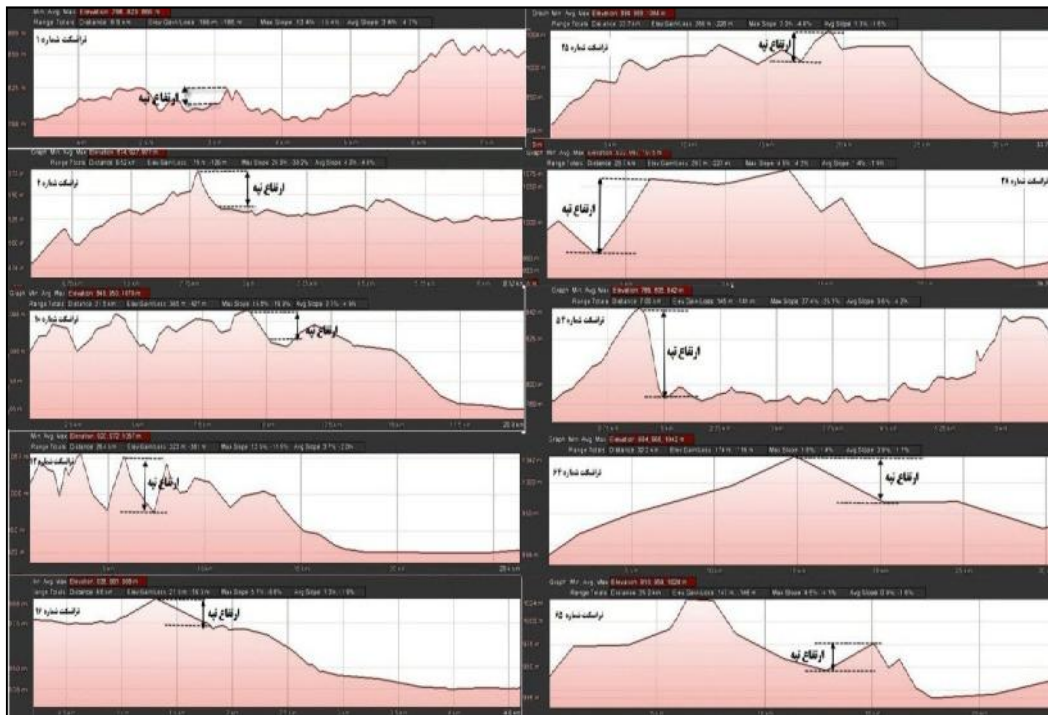
درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	تپه‌های مختلف
۱۴/۷۹	۶۶۹/۹۰	تپه‌های مجتمع (بارخان عرضی و بارخانوئید)
۲۳/۴۲	۱۰۶۰/۱۶	تپه‌های مجتمع طولی (سیلک و بارخان)
۱۲/۸۴	۵۸۱/۴۰	تپه‌های مجتمع (هرم و پشته‌های بارخانوئید)
۹/۲۹	۴۲۰/۱۰	تپه‌های مرکب طولی
۰/۶۲	۲۹/۱۰	تپه‌های تثبیت شده
۱/۸۹	۸۵/۵۰	تپه‌های شبکه‌ای
۳۷/۱۳	۱۶۸۲/۴۰	پهنه‌های ماسه‌ای
۱۰۰	۴۵۲۹/۵۶	مجموع

قابل مشاهده است. همچنین نتایج حاصل از محاسبه فاصله بین تپه‌های ماسه‌ای در شکل ۴ قابل مشاهده است. مدل

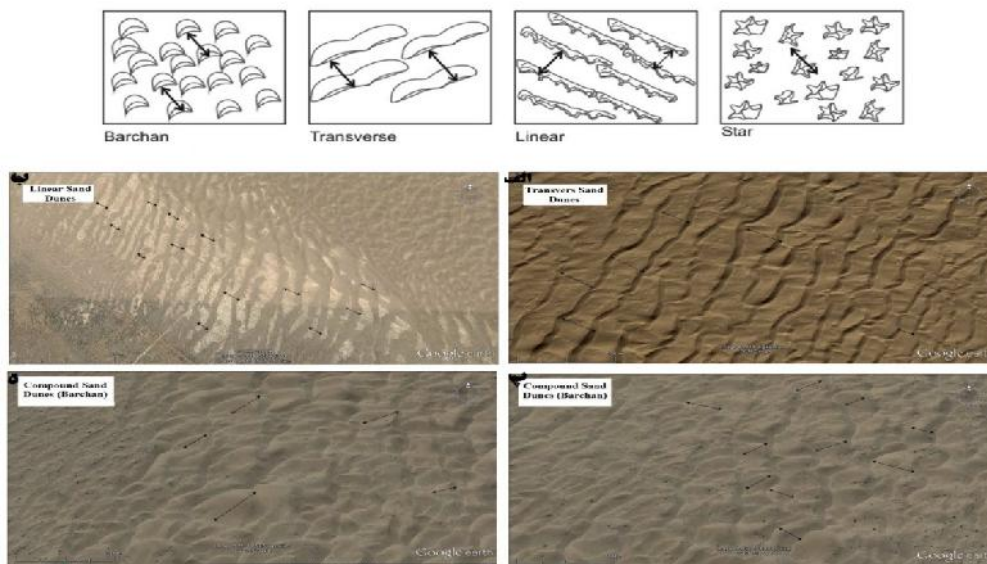
نتایج حاصل از محاسبه ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از پروفیل ارتفاعی مدل رقومی ارتفاع نیز در شکل ۳

مدل‌سازی کمی ارتفاع و فاصله بین تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از ...

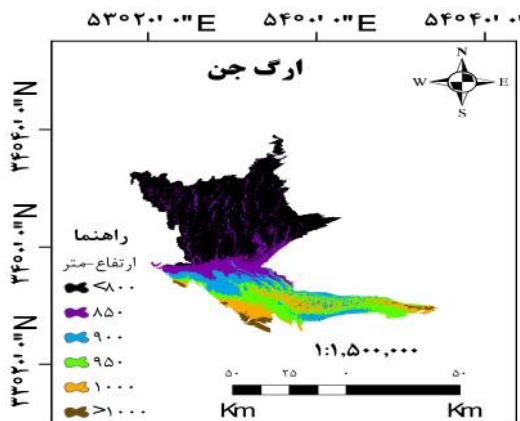
رقومی ارتفاعی اس آر تی ام را نیز در ارگ کاشان و ارگ جن در شکل‌های ۵ و ۶ می‌توان دید.



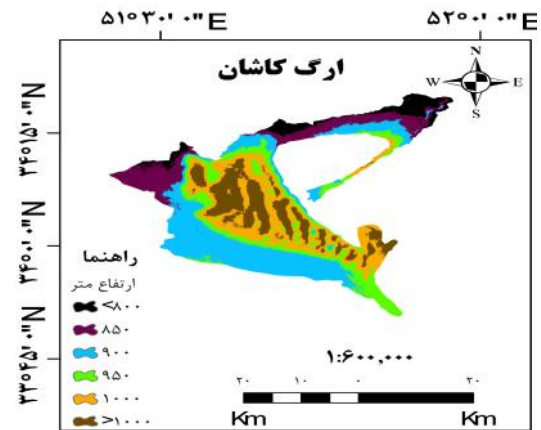
شکل ۳- محاسبه ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای با توجه به پروفیل ارتفاعی



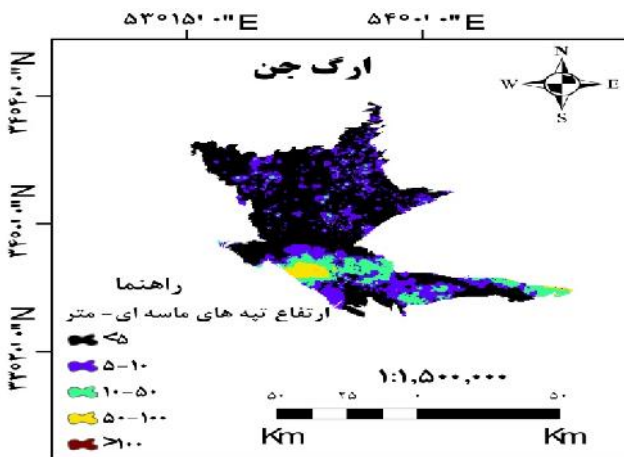
شکل ۴- محاسبه فاصله بین تپه‌های ماسه‌ای



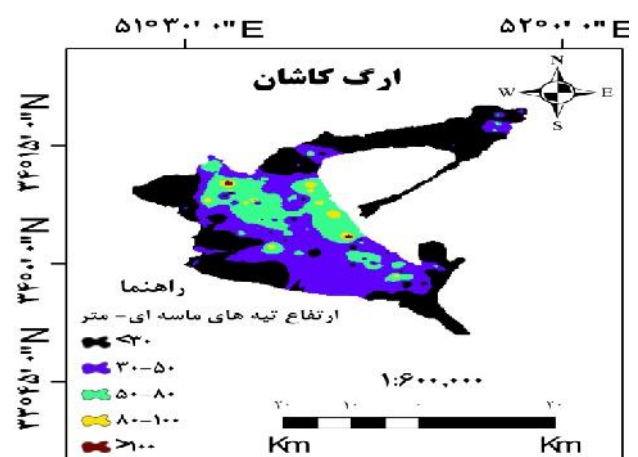
شکل ۶- مدل رقومی ارتفاع اس آر تی ام در ارگ جن



شکل ۵- مدل رقومی ارتفاع اس آر تی ام در ارگ کاشان



شکل ۸- ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در ارگ جن



شکل ۷- ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در ارگ کاشان

به منظور مشاهده بهتر ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در ارگ کاشان، نتایج حاصل از شبیه‌سازی ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در فضای دو بعدی در شکل ۸ قابل مشاهده است.

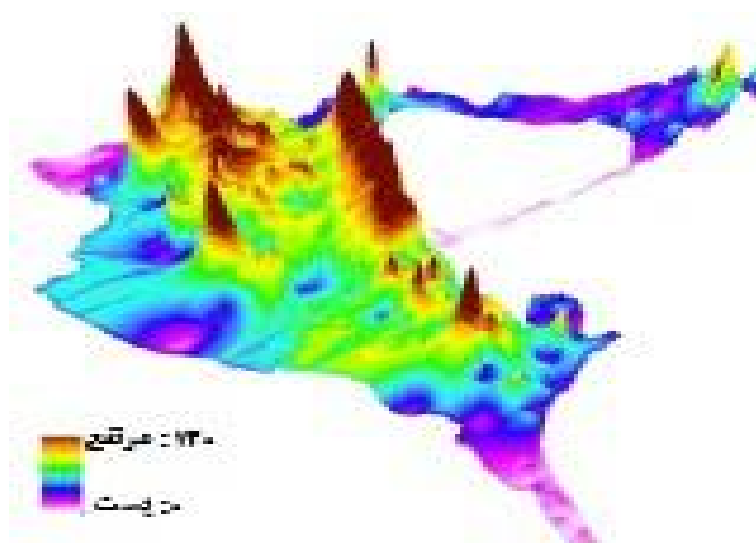
نتایج حاصل از محاسبه ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای (متر) و درون‌یابی آن در ارگ کاشان و ارگ جن نیز در شکل‌های ۷ و ۸ و همچنین در جدول‌های ۳ و ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۳- الف: توزیع فراوانی کلاس‌های ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در ارگ کاشان

کلاس ارتفاعی (متر)	درصد
<math>< 30</math>	۴۶/۱۵
۳۰-۵۰	۳۴/۸۸
۵۰-۸۰	۱۷/۴۶
۸۰-۱۰۰	۱/۳۲
>۱۰۰	۰/۱۶

جدول ۳-ب: مشخصات آماری ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در ارگ کاشان

متر	مشخصات آماری
۱	حداقل
۱۲۰	حداکثر
۳۵	میانگین
۱۸/۳	انحراف معیار



شکل ۹- ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای به صورت دو بعدی در ارگ کاشان

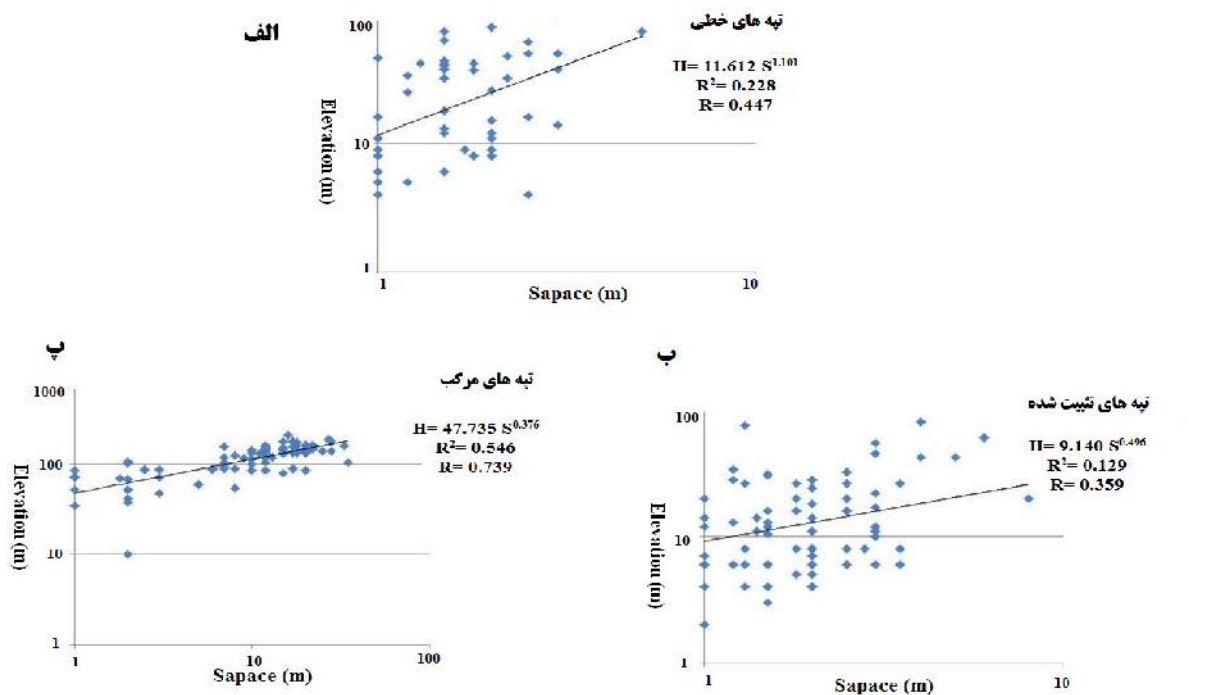
جدول ۴-الف: توزیع فراوانی کلاس‌های ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در ارگ جن

درصد	کلاس ارتفاعی (متر)
۶۹/۴۷	<۵
۱۸/۳۳	۵-۱۰
۹/۸۶	۱۰-۵۰
۲/۱۶	۵۰-۱۰۰
۰/۰۱	>۱۰۰

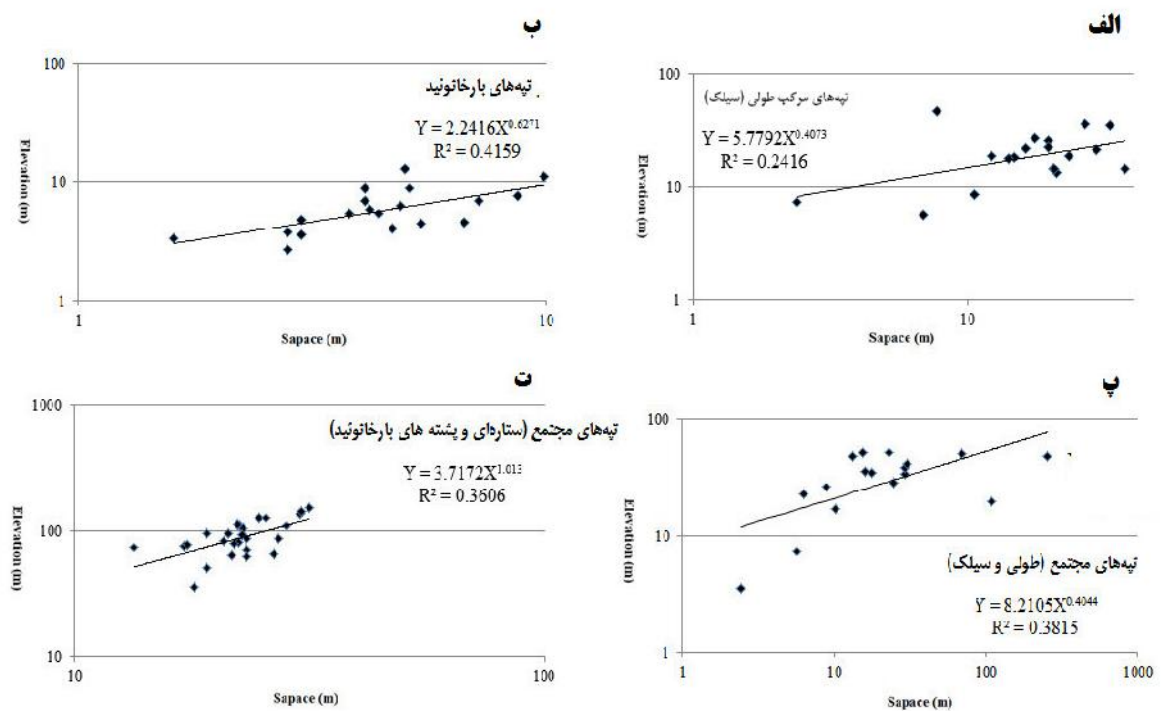
جدول ۴-ب: توزیع فراوانی کلاس‌های ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در ارگ جن

متر	مشخصات آماری
۰/۳۴	حداقل
۱۲۹	حداکثر
۶/۸۴	میانگین
۱۱/۵	انحراف معیار

نتایج محاسبات آماری انجام شده میان ارتفاع و فاصله تپه‌های ماسه‌ای در ارگ کاشان (شکل ۱۰) و ارگ جن (شکل ۱۱) قابل مشاهده است.



شکل ۱۰- روابط آماری بین ارتفاع (متر) و فاصله تپه‌های ماسه‌ای (متر) در ارگ کاشان



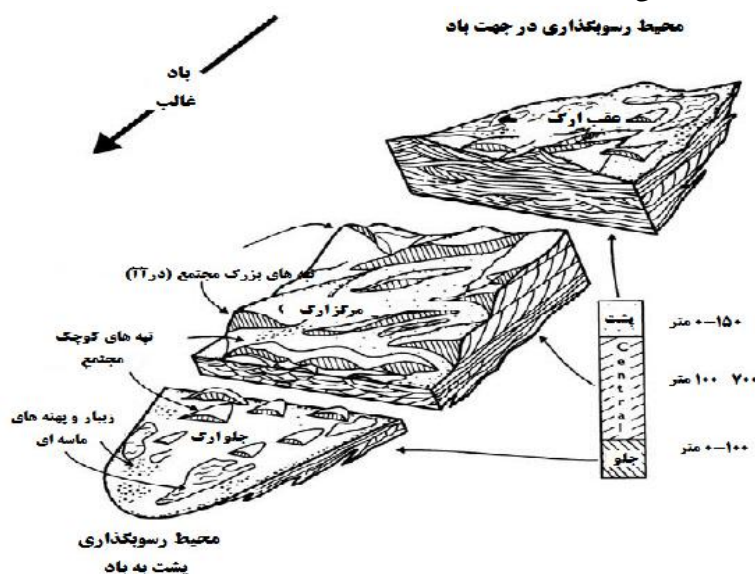
شکل ۱۱- روابط آماری بین ارتفاع (متر) و فاصله تپه‌های ماسه‌ای (متر) در ارگ جن

بحث

از آنجائیکه در این تحقیق از گوگل ارث به منظور اندازه گیری ضخامت ماسه و همچنین سایر مطالعات ارتفاعی استفاده شده است، از این رو در تهیه مدل نهایی ارتفاع تپه های ماسه ای نیز از مدل رقومی ارتفاعی اس آر تی ام (۹۰ متر) استفاده شده است تا خطای محاسبات اندازه سلول در فایل های رستری به حداقل ممکن برسد و با نتایج Bubenzer و Bolten (۲۰۰۸) مطابقت و همخوانی داشته باشد.

تهیه مدل ارتفاعی تپه های ماسه ای در ارگ کاشان بیانگر این مطلب است که در ابتدای ارگ ارتفاع کم می باشد و به تدریج بیشتر می شود تا اینکه در مرکز ارگ به بیشترین ارتفاع تپه های ماسه ای می رسد و بعد از آن

محیط رسوبگذاری در جهت باد



شکل ۱۲- مدل پورتر در ارتباط تشکیل ارگ و تغییرات ارتفاعی تپه های ماسه ای (۱۹۸۶)

منظم است و هریک از این الگوهای منتج از مطالعات برای انواع تپه های هلالی، خطی، ستاره ای، ساده، مرکب و پیچیده (مجتمع) بیان می دارند که بین ارتفاع و فاصله قله تا قله (یال) تپه ها، ارتباط و همبستگی خوبی وجود دارد (Fatahi, 2014).

به طور کلی تپه های ماسه ای در مرفودینامیک های مختلفی ظاهر می شوند، که هریک از آنها دامنه ای از اندازه (ارتفاع و پهنا)، با فاصله های مختلف را نشان می دهند (Lancaster, 1988). بررسی تصاویر ماهواره ای و عکس های هوایی پهنه های ماسه ای نشان می دهد که الگوی تپه های ماسه ای

جدول ۵- روابط آماری بین ارتفاع و فاصله تپه‌های ماسه‌ای در مناطق بیابانی دنیا

محل	نوع تپه	توان رابطه	ضریب همبستگی
نامیب	انحنایی	۰/۹۷	۰/۸۳
	مرکب خطی	۰/۵۴	۰/۶۶
	مجتمع خطی	۱/۷۲	۰/۷۲
	ستاره‌ای	۱/۲۰	۰/۶۲
اسکلتون	انحنایی	۱/۲۰	۰/۹۵
سیمپسون	خطی	۱/۰۶	۰/۶۷
کالاهاری	خطی	۱/۱۰	۰/۸۱
ارگ کاشان	خطی	۱/۱۰۱	۰/۴۷۷
	تثبیت شده	۰/۴۹۶	۰/۳۵۹
	مرکب (بارخان)	۰/۳۷۶	۰/۷۳۹
ارگ جن	مرکب طولی (سیلک)	۰/۴۰۷	۰/۲۴
	بارخانوئید	۰/۶۲۷	۰/۴۱
	مجتمع (طولی و سیلک)	۰/۴۰۴	۰/۳۸
	مجتمع (ستاره‌ای و پشته‌های بارخانوئید)	۱/۰۱	۰/۳۶

به فاصله گرفتن از ابتدای ارگ و همچنین کاهش نیروی باد در مرکز ارگ نسبت داد.

استفاده از روش‌های نوین و جدید با ترکیب تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی مزایایی همانند کاهش هزینه (رایگان بودن اطلاعات رقومی ارتفاع) و کاهش زمان (استفاده از تکنیک‌های نرم‌افزاری) را در پی دارد و از سوی دیگر باید متوجه بود که روش‌های مذکور یک مدل تخمینی بوده است و با شرایط واقعی تفاوت دارد، اما با توجه به استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی با دقت بالاتر و قدرت تفکیک مکانی کمتر، می‌توان به نتایج بهتری دست یافت؛ و در نهایت باید عنوان کرد که با توسعه و رشد دانش نرم‌افزاری و دانش مدل‌سازی علوم طبیعی قطعاً به روش‌های کارآمدتر و مناسبی در آینده نه چندان دور دست خواهیم یافت و بر کیفیت و دقت مطالعات مدل‌سازی کمی در محیط‌های بیابانی خواهد افزود. همچنین استفاده از مدل‌های رقومی با دقت مکانی کوچکتر می‌تواند در دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر کمک کند و این مسئله نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد.

بررسی‌های انجام شده در ارگ کاشان در ارتباط با فاصله و ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای تشکیل شده در مقایسه با مطالعات لنکستر نشان داد که فقط در تپه‌های خطی رابطه ارائه شده دارای شباهت به منطقه مورد مطالعه است. به طوری که توان محاسبه شده در ارگ بلند کاشان ۱/۱۰۱ با نتایج مطالعه لنکستر در نامیب (مجتمع خطی)، سمپسون (خطی) و کالاهاری (خطی) دارای ارتباط نزدیکی است و ضریب همبستگی بین ارتفاع و فاصله تپه‌های ماسه‌ای در منطقه در ارتباط نزدیکی با مطالعات لنکستر نمی‌باشد که این موضوع را می‌توان به ماهیت منطقه با توجه به تأمین ماسه و همچنین نوع رژیم بادی در ارتباط دانست.

با توجه به تجزیه و تحلیل‌های مربوطه در ارگ جن به این نتیجه‌گیری می‌رسیم که فعالیت تپه‌های ماسه‌ای محدود به بخش بالایی تپه‌ها می‌شود. در ارگ کاشان مقایسه فاصله بین تپه‌های تثبیت شده، خطی و همچنین مرکب بیانگر این موضوع بود که تپه‌های تثبیت شده در فاصله نزدیکتری به یکدیگر نسبت به دو تپه دیگر تشکیل خواهند شد. در حالی که در تپه‌های مرکب بارخانی این فاصله تفاوت زیادی با سایر تپه‌ها دارد که این تغییر فاصله بین تپه‌ها را می‌توان

- Baddock, M. C., 2012. Remote sensing and spatial analysis of aeolian sand dunes: a review and outlook. *Earth-Sci. Rev.*, 111, 319–334.
- Lancaster, N., 1988. Controls of eolian dune size and spacing. *Geology*, 16(11), 972-975.
- Leopold, L. B. and Maddock J. T., 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications, No. 252.
- Pike, R. J. and Dikau, R., 1995. Advances in geomorphometry. *N. F. Suppl. Bd*, 101- 238.
- Pike, R. J., 2000. Geomorphometry diversity in quantitative surface analysis. *Progress in Physical Geography*, 24(1), 1–20.
- Porter, M., 1986. Sedimentary record of erg migration. *Geology*, 14, 497-500.
- Pye, K. and Tsoar, H., 2008. *Aeolian sand and sand dunes*. Springer Science & Business Media, 416p.
- Rahdari, M. R., 2014. Classification of sand dunes base on the geomorphometric characteristics. M.Sc. thesis, Natural Resource Faculty, University of Tehran, Iran.
- Rittner, M., Vermeesch, P., Carter, A., Bird, A., Stevens, T., Garzanti, E. and Lu, H., 2016. The provenance of Taklamakan desert sand. *Earth and Planetary Science Letters*, 437, 127-137.
- Shao, Y., 2008. *Physics and modelling of wind erosion*. Springer Science & Business Media, Germany, 147p.
- Sharp, R. P., 1963. Wind ripples. *The Journal of Geology*, 617-636.
- Strahler, A. N., 1952. Dynamic basis of geomorphology. *Geological Society of America Bulletin*, 63(9), 923-938.
- Thomas, D. S. G., 1988. Analysis of linear dune-sediment-form relationships in the Kalahari dune desert. *Earth Surface, Processes Landforms*, 13, 545–553
- Wasson, R. J., Fitchett, K., Mackey, B. and Hyde, R., 1988. Large-scale patterns of dune type, spacing and orientation in the Australian continental dunefield. *Australian Geographer*, 19, 89–104.
- White, K., Bullard, J., Livingstone, I. and Moran, L., 2015. A morphometric comparison of the Namib and southwest Kalahari dunefields using ASTER GDEM data. *Aeolian Research*, 19, 87-95.
- Wilson, I. G., 1972. Aeolian bedforms – their development and origins. *Sedimentology*, 19, 173–210.
- Yang, X., Scuderi, L., Liu, T., Paillou, P., Li, H., Dong, J. and Weissmann, G., 2011. Formation of the highest sand dunes on Earth. *Geomorphology*, 135(1), 108-116.
- منابع مورد استفاده**
- Ahmadi, H., 2008. *Applied Geomorphology*. University of Tehran, Tehran, Iran, 706p.
- Allen, J. R. L., 1970. The avalanching of granular solids on dune and similar slopes. *The Journal of Geology*, 326-351.
- Al-Masrahy, M. A. and Mountney, N. P., 2013. Remote sensing of spatial variability in aeolian dune and interdune morphology in the Rub'Al-Khali, Saudi Arabia. *Aeolian Research*, 11, 155-170.
- Bagnold, R. A., 1941. *The physics of wind blown sand and desert dunes*. Methuen, London.
- Barrineau, P., Dobрева, I., Bishop, M. P. and Houser, C., 2016. Deconstructing a polygenetic landscape using LiDAR and multi-resolution analysis. *Geomorphology*, 258, 51-57.
- Bourke, M., Balme, M., Beyer, R. and Williams, J., 2006. A comparison of methods used to estimate the height of sand dunes on Mars. *Geomorphology*, 81, 440-452.
- Bourke, M., Edgett, K. and Cantor, B., 2008. Recent aeolian dune change on Mars. *Geomorphology*, 94, 247-255.
- Bubenzer, O. and Bolten, A., 2008. The use of new elevation data (SRTM/ASTER) for the detection and morphometric quantification of Pleistocene megadunes (draa) in the eastern Sahara and the southern Namib. *Geomorphology*, 102(2), 221-231.
- Carrigy, M.A., 1970. Experiments on the angles of repose of granular materials. *Sedimentology*, 14, 147-158.
- Fatahi, S., 2014. Review of Jen ERG Granulometry and morphometry using wind characteristic analysis and sand dunes morphology. M.Sc Thesis, Natural Resource Faculty, University of Tehran, Iran.
- Fitzsimmons, K. E., 2007. Morphological variability in the linear dunefields of the Strzelecki and Tirari deserts, Australia. *Geomorphology*, 91, 146–160.
- Goudie, A. S., 1999. The history of desert dune studies over the last 100 years. 98-137. In: AS Goudie, I Livingstone, S Stokes (Eds), *Aeolian Environments, Sediments and Landforms*, Wiley, London.
- HACK, J., 1957. Submerged river system of Chesapeake Bay. *Geological Society of America Bulletin*, 68(7), 817-830.
- Hugenholtz, C. H. and Barchyn, T. E., 2010. Spatial analysis of sand dunes with a new global topographic dataset: new approaches and opportunities. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(8), 986-992.
- Hugenholtz, C. H., Levin, N., Barchyn, T. E. and

Quantitative modeling of sand dunes' height and distance using geomorphometric studies in central deserts of Iran

A. Nazari Samani^{1*}, H. R. Abbasi², H. Ahmadi³ and M. rahdari⁴

1*-Corresponding author, Associate Professor, Department of Rehabilitation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Karaj, Iran, Email: aknazari@ut.ac.ir

2-Research Instructor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3-Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Sources, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4-Ph.D. Student in Combat Desertification, Department of Rehabilitation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Karaj, Iran

Received:7/3/2016

Accepted:12/11/2016

Abstract

This research was aimed to modeling the height and distance of sand dunes in central deserts of Iran (Kashan Erg and Jen Erg) as well as their classification. Results of identifying sand dunes in the study areas showed that there were considerable variations in formation of sand dunes in central deserts of Iran. Quantitative modeling of height based on DEM (80 × 80m) showed that the average height of sand dunes in Kashan Erg and Jen Erg was 35m and 6.84m, respectively. The reduced height in Jen Erg was due to the 37% frequency of sand dunes area and regardless of these dunes, the average height was calculated to be 8.63 m in Jen Erg, of which 90% was in a height class less than 20 m. On the other hand, the frequency percentage variation of sand dunes height classes is higher in Kashan Erg, so that over 80% of Kashan Erg is in a height class less than 50m, while 87% of Jen Erg is in a height class less than 10m. In Kashan Erg, the height of sand dunes is low and gradually increases in the center of Erg, reaching to the highest height of sand dunes. Quantitative modeling of relations between the height and distance of dunes in Jen Erg indicated that the sand dunes activity was restricted to the upper part of the dunes. In Kashan ERG, the comparison of fixed, linear and compound dunes showed that the fixed dunes would be formed at a closer distance as compared with two other types.

Keywords: Geomorphometric, Erg, height and distance of dune fields, modeling, Jen Erg, Kashan.