

## بررسی تغییرات ارتفاعی ریگ زرین با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای (طی دوره

۱۹۷۷-۲۰۱۷)

محمد شریفی پیچون\* - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد.  
حمیدرضا غفاریان - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد.  
زینب میری - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه یزد.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۲      تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۱۱/۱۹

### چکیده

تپه‌های ماسه‌ای به عنوان مهمترین برآیند فرایندهای بادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، همواره در حال حرکت و جابجایی هستند که مقدار حرکت آنها تحت تأثیر پارمترهایی چون جهت و شدت باد، توپوگرافی محل، رطوبت منطقه، پوشش گیاهی، مواد رسوبی در دسترس، توپوگرافی و در عصر حاضر عملکردهای انسانی می‌باشد. هدف این پژوهش، بررسی تغییرات ارتفاعی تپه‌های ماسه‌ای ریگ زرین، یکی از ریگزارهای شاخص ایران مرکزی طی بازه زمانی ۴۰ ساله است. برای انجام این پژوهش از سری‌های زمانی تصاویر لندست TM و ETM، نقشه راقومی ارتفاعی و تصاویر گوگل ارث استفاده شد. بررسیها نشان داد که از ۱۹۷۷ تا حال حاضر ریگ زرین افزایش ارتفاع داشته است. اما، مقدار افزایش آن در بخشهای مختلف ریگزار یکسان نبوده است. بر این اساس، میانگین بیشترین تغییرات ارتفاعی در بخشهای میانی ریگ زرین صورت گرفته که حدود ۴ متر بوده است. اما بخش‌های ابتدایی و انتهایی ریگ زرین حدود ۱ متر افزایش ارتفاع پیدا کرده است. همچنین، مقدار تغییرات ارتفاعی ریگ در طول دوره آماری مورد بررسی با نوسانات زیادی همراه بوده است. در برخی نقاط میانی تپه‌ها در حدود ۸ متر در گستره زمانی کمتر از ۱۰ سال افزایش ارتفاع داشته است. بر این اساس، حداکثر ارتفاع و افزایش ارتفاعی تپه‌ها بین سالهای ۱۹۷۷-۱۹۸۷ صورت گرفته و طی بازه‌های زمانی ۱۹۸۷-۱۹۹۳ و ۱۹۹۸-۲۰۰۲ و همچنین ۲۰۰۸-۲۰۱۳ از ارتفاع تپه‌ها کاسته شده است. مشاهدات نشان داد نوسانات ارتفاعی تپه‌ها تحت تأثیر نوسانات رطوبت بوده و مقدار انتقال و جابجایی تپه‌ها در خشکسالی‌ها بیشتر و در سالهای مرطوب‌تر کمتر شده است. نتایج نهایی نشان داد که ریگ زرین تحت تأثیر بادهای غالب منطقه‌ای (شمال غرب-جنوب شرق) در حال حرکت به سمت شرق و جنوب شرق است؛ اما بادهای همگرا و متقابل محلی سبب شکل‌گیری هرم‌های ماسه‌ای شده و به دلیل تداوم این بادهای بر حجم و ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای بخش‌های مرکزی ریگ افزوده شده است.

واژگان کلیدی: ریگ زرین، تغییرات ارتفاعی، سری زمانی، تپه ماسه‌ای مناطق خشک.

## مقدمه

تپه‌های ماسه‌ای در قلمرو فرایندهای بادی از پویاترین عارضه‌های ژئومورفیک سطح زمین به شمار می‌روند که از یک سو تحت تاثیر ویژگیهای سرعت، جهت و فراوانی باد و از دیگر سو متأثر از ویژگیهای سطح زمین و مواد رسوبی هستند (عباس نژاد و ذهاب نوری، ۱۳۹۱: ۱۲۷). جابجایی تپه‌های ماسه‌ای در طول زمان بر اثر عوامل مورد اشاره، خطرات زیادی را برای اکوسیستم‌های شکننده مناطق خشک و بیابانی و همچنین سکونت‌گاهها، تاسیسات و به تبع آن اقتصاد و جوامع مقیم این مناطق به همراه دارند. بر این اساس، درک شکل‌گیری این تپه‌ها، انتقال و جابجایی و همچنین نحوه تغییر و تحول آنها نقش حیاتی در درک محیط و تغییرات محیطی این مناطق دارد. در واقع شناخت تپه‌های ماسه‌ای منجر به شناخت تغییر و تحولات اقلیم کواترنری، تغییر و جابجایی الگوهای فشار در سطح زمین، فرسایش و رسوب‌گذاری حوضه‌های آبریز، تغییر میزان بارش و رطوبت سطح زمین و به تبع آن تغییر در میزان پوشش‌های گیاهی، تغییر در جهت و سرعت باد و همچنین عملکردهای انسانی می‌شود. در نیمه‌های دوم قرن بیستم این عارضه‌ها اغلب به شکل توصیفی مطالعه شده و به شکل‌های مختلف طبقه‌بندی می‌شدند (هوگن‌هولتز و همکاران، ۲۰۱۲: ۳۲۰). همچنین، پاره‌ای از مطالعات مسیر و جهت حرکت باد، اندازه دانه‌های شن و مواردی از این دست را مورد توجه قرار داده بودند. اما در چهار دهه اخیر تصاویر و داده‌های سنجنش از دور کمک زیادی در درک بهتر و دقیق‌تر نحوه تکامل و تحول تپه‌های ماسه‌ای بادی کرده‌اند (هوگن‌هولتز و همکاران، ۲۰۱۲: ۳۱۹). در اوایل قرن بیستم جهت بررسی انتقال و جابجایی و به طور کلی فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در ابتدا از داده‌های ارتفاعی رقومی<sup>۱</sup> استخراج شده از عکسهای هوایی استفاده می‌کردند (براون و آربوگست<sup>۲</sup>: ۱۹۹۹: ۴۶۷؛ اجدا<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). براون و آربوگست (۱۹۹۹: ۴۶۷) از روش فتوگرامتری رقومی برای جهت تعیین مقدار فرسایش و رسوبگذاری تپه‌های ماسه‌ای در طول ساحل شرقی دریاچه میشیگان استفاده کردند. مشاهدات آنها حاکی از جابجایی مکانی تپه‌ها طی دوره زمانی ۱۹۶۵-۱۹۸۷ بود. در ادامه یک سری مطالعات با استفاده از تصاویر لیدار<sup>۴</sup> چند زمانه تغییرات حجم تپه‌های ماسه‌ای را بررسی نمودند. ولارد و کولپای<sup>۵</sup> (۲۰۰۲: ۲۶۹) از داده‌های لیدار برای بررسی تغییرات حجم تپه‌های ساحلی کارولینای شمالی استفاده کردند. میتاسوا<sup>۶</sup> و همکاران (2004: 2) نیز تغییرات کوتاه مدت تپه‌های ماسه‌ای را در پشته‌های جاک<sup>۷</sup> ساحل مورد اشاره با استفاده از داده‌های لیدار سالانه (۱۹۹۷-۲۰۰۰) و همچنین داده‌های برداشت شده میدانی با GPS را بررسی نمودند. ریتز<sup>۸</sup> و همکاران (2010) نیز نحوه جابجایی و انتقال اشکال تپه‌های ماسه‌ای را با استفاده از تصاویر چند زمانه لیدار مطالعه کردند. اما در یک دهه اخیر اغلب از تصاویر ماهواره‌های مختلف در مورد انتقال، جابجایی، فعالیت و تغییر سطح تپه‌های ماسه‌ای استفاده شده است. توماس و لیسون<sup>۹</sup> (۲۰۰۵: ۱۱۷)، ورمیش و دراک<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۸)، لپرینس<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۰۷: ۱۵۲۹ و ۲۰۰۸)، هوگن‌هولتز<sup>۱۲</sup> (۲۰۱۰: ۱۶۷۴) و البلیتی

<sup>1</sup> - Digital Topographic Data

<sup>2</sup> - Brown and Arbogast

<sup>3</sup> - Ojeda

<sup>4</sup> - LIDAR

<sup>5</sup> - Woolard & Colby

<sup>6</sup> - Mitsova

<sup>7</sup> - Jockey's Ridge

<sup>8</sup> - Reitz

<sup>9</sup> - Thomas & Leason

<sup>10</sup> - Vermesch and Darke

<sup>11</sup> - Leprince

<sup>12</sup> - Hugenholtz

و دواد۱ (۲۰۱۱: ۵۵۸)، لوین<sup>۲</sup> (۲۰۱۱: ۲۳۹) از جمله افرادی بودند که در این زمینه پژوهش‌هایی را انجام دادند. هرمس<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۲) تپه‌های ماسه‌ای شمال غرب شبه جزیره سینا در مصر را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی و مشاهده کردند که این تپه‌ها در سال بیش از ۱۱ متر به سمت شرق و شمال شرق حرکت می‌کنند. لانگ<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۴: ۲۸۹۹) در مورد تغییرات ارتفاعی تپه‌های ماسه‌ای ساحلی تحت تاثیر رژیم‌های بادی طوفانی مطالعه‌ای را انجام دادند و بیان کردند که ارتفاعات بالاتر کمتر تحت تاثیر این طوفانها قرار می‌گیرند. برخی از مطالعات در زمینه فعالیت تپه‌های ماسه‌ای به این نتیجه دست پیدا کردند که میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در ارتباط با میزان خشکی مناطق مختلف بوده است. مقصودی و همکاران (۲۰۱۷: ۳۳) الگوی حرکت تپه‌های ماسه‌ای را در ریگ مصر مطالعه و مشاهده کردند که بادهای غالب با جهت شمال غرب- جنوب شرق عامل انتقال تپه‌ها به میزان حدود ۸ متر در سال است. برای مثال مارین<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۵: ۱۶۳) جابجایی تپه‌های ماسه‌ای را برای بازه زمانی ۶۳ سال (۱۹۳۶-۱۹۹۹) در پارک ملی جنوب کلرادو بررسی کردند و نشان دادند که خشکسالی‌ها مقدار حرکت را بیشتر کرده است به نحوی که مقدار حرکت آنها در خشکسالی‌ها ۳۰ متر در سال بوده که ۶ برابر بیشتر از سال‌های مرطوب قبلی بوده است. اسحاق<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۹: ۱) به بررسی دینامیک تپه‌های ماسه‌ای در ارتباط با تغییرات اقلیمی (بارش و شدت باد) پرداختند و بیان کردند که با کاهش رطوبت و ایجاد بادهای نیرومند، تپه‌های غیر فعال نیز فعال می‌شوند. در داخل ایران نیز در زمینه جابجایی، انتقال و تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در یک دهه گذشته تحقیقات زیادی انجام گرفته است: غریب رضا و معتمد (۱۳۸۳: ۳۵) تغییرات تپه‌های ماسه‌ای واقع در سواحل استان سیستان را طی بازه زمانی ۱۳۴۶-۱۳۷۲ بررسی کردند. آنان دریافتند که این تپه‌ها طی زمان تغییرات محسوس اما متفاوتی داشته‌اند به نحوی که برخی از آنها با افزایش سطح مواجه شده و برخی نیز کاهش سطح پیدا کرده‌اند. نگارش و لطیفی (۱۳۸۸: ۷۳) به بررسی خسارت‌های ناشی از حرکت ماسه‌های روان در شرق زابل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند و بیان کردند که سطح تپه‌ها به شکل چشمگیری در حال توسعه بوده است. رامشت و همکاران (۱۳۹۲: ۱۲۱) به بررسی میزان تپه‌های ماسه‌ای شرق جاسک در طول دوره آماری ۱۳۶۹-۱۳۸۳ با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند و مشاهده نمودند که مساحت این تپه‌ها در این گستره زمانی بیش از ۱۰ کیلومتر مربع افزایش پیدا کرده است. ایمانی و همکاران (۱۳۹۲: ۱۲۹) تغییرات مورفومتری تپه‌های ماسه‌ای را با استفاده از سنجش از دور در جنوب شرق عشق‌آباد بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که محیط و مساحت تپه‌های واقع در این محدوده کاهش قابل توجهی طی ۱۲ سال پیدا کرده‌اند. توکلی فرد و همکاران (۱۳۹۳: ۳۷) فعالیت تپه‌های ماسه‌ای بند ریگ کاشان را با استفاده از شاخص لنکستر بررسی نمودند و دریافتند که برخی از این تپه‌ها بسیار فعال بوده و در برخی مناطق تنها نوک تپه‌ها فعالیت دارند. خسروی و همکاران (۱۳۹۴: ۱) به مطالعه بررسی تغییرات زمانی- مکانی تپه‌های ساحلی ماسه‌ای با استفاده از سنجش از دور در منطقه غرب زراآباد (کنارک) پرداختند و مشاهده نمودند که این تپه‌ها در طول زمان (۱۹۹۱-۲۰۱۴) تغییرات و جابجایی نسبتاً زیادی داشته‌اند. نظری سامانی و همکاران (۱۳۹۶: ۲۱۰) به مدل‌سازی کمی ارتفاع و فاصله بین تپه‌های ماسه‌ای در بیابانهای داخلی ایران پرداختند و مشاهده نمودند که فعالیت تپه‌های ماسه‌ای محدود به بخش بالایی تپه‌هاست و بخشهای میانی ریگزارها دارای ارتفاع بیشتری هستند. هدف این تحقیق بررسی تغییرات ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای ریگ زرین، یکی از ریگزارهای بسیار شاخص ایران مرکزی طی

<sup>۱</sup> - El belhiti

<sup>۲</sup> -Levin

<sup>۳</sup> -Hermas

<sup>۴</sup> -Long

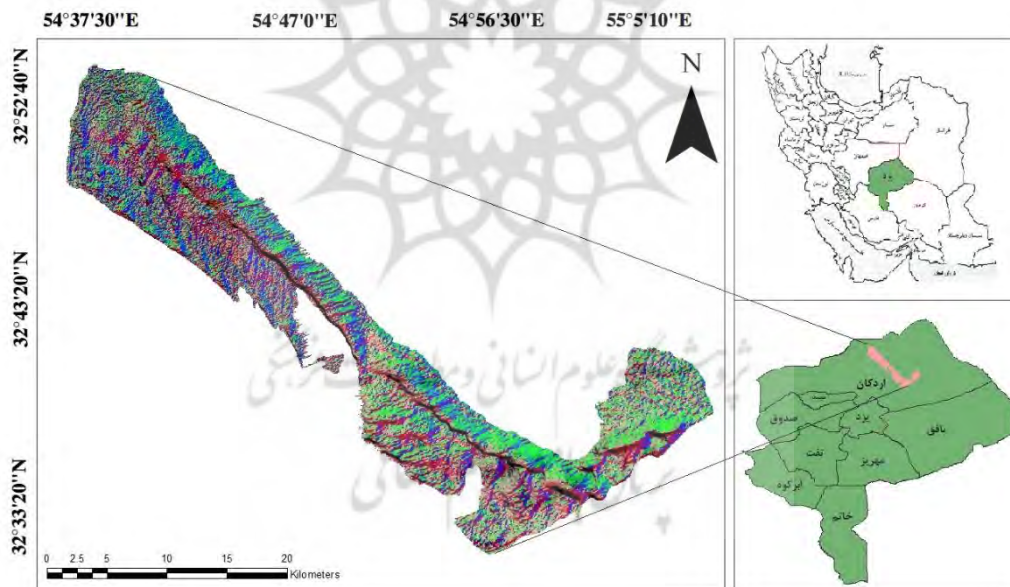
<sup>۵</sup> -Marin

<sup>۶</sup> -Yizhag

بازه زمانی ۴۰ ساله است، با طرح این دو سوال که آیا با فرض توسعه و گسترش سطحی ریگزارها، آیا ارتفاع آنها نیز تغییر پیدا می‌کند و تغییرات ارتفاعی ریگ زرین در بخشهای مختلف آن چگونه رخ داده است؟

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

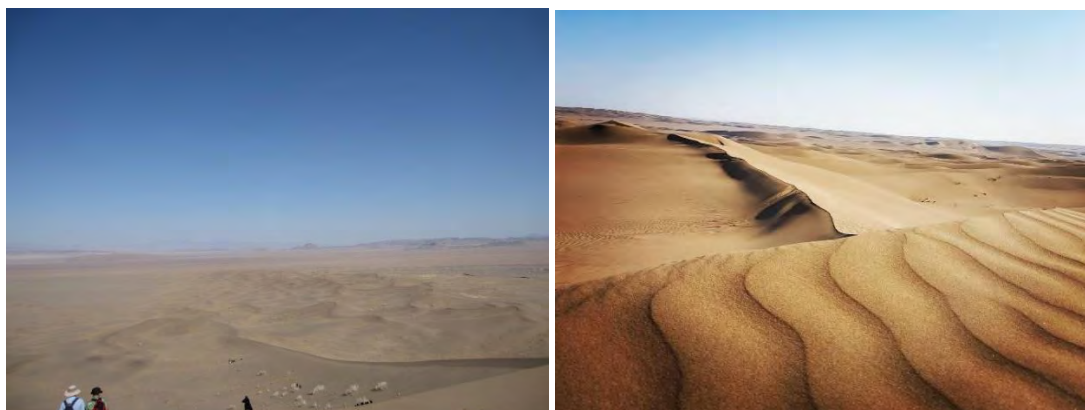
ریگ زرین به عنوان یکی از ریگ‌های بزرگ و مهم ایران مرکزی در محدوده جغرافیایی  $38^{\circ} 54'$  تا  $55^{\circ} 04'$  طول شرقی و  $32^{\circ} 54'$  تا  $33^{\circ} 36'$  عرض شمالی جای دارد. این ریگ در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال غربی کویر بافق (در انجیر)، شمال غربی روستای ساغند و در جنوب روستای بیاضه قرار دارد (شکل ۱). این ریگ در داخل چاله‌ای قرار گرفته که از چهار سو ارتفاعات اطراف آن را احاطه نموده است که مرتفع‌ترین آنها در بخش جنوب شرقی با ۳۰۰۰ متر ارتفاع واقع شده است. مساحت ریگ حدود ۴۶۰ کیلومتر مربع و طول آن به حدود ۶۰ کیلومتر می‌رسد. بزرگترین منطقه مسکونی در این منطقه روستای حاجی‌آباد زرین است. راه‌های ارتباطی اصلی منطقه عبارتند از جاده یزد به اردکان در مسیر راه جاده چوپانان به طبس حدوداً یک کیلومتر بعد از ساغند به سمت روستای مغستان که در ضلع شرقی ریگ زرین قرار دارد. جاده شوسه روستای حاجی‌آباد که از اردکان و جاده چوپانان قابل دسترسی بوده و در ضلع جنوب غربی ریگ زرین قرار دارد (نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ اردکان).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در یزد و ایران

### روش تحقیق

برای بررسی تغییرات ارتفاعی در منطقه مورد مطالعه، ابتدا بایستی محدوده ریگ زرین در سالهای مختلف تعیین گردد. برای این امر ابتدا تصاویر ماهواره ای لندست (۱۹۷۷ تا ۲۰۱۷ در مجموع ۸ تصویر) طبقه بندی شده و سپس نقشه های بدست آمده محدوده مورد مطالعه توسط بازدیدهای زمینی (شکل ۲) و تصاویر Google Earth راستی آزمایی گردید (ضریب کاپا). از آنجایی که نقشه های رقومی ارتفاعی در محدوده مورد مطالعه در دسترس نبود، برای تهیه آن از تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در نرم افزار گوگل ارث برای یک دوره ۴۰ ساله (۱۹۷۷-۲۰۱۷) مورد استفاده قرار گرفت. سپس تصاویر مورد نظر به صورت فایل های KMZ ذخیره و سپس به نرم افزار Global Mapper انتقال داده شدند. در این نرم افزار تمامی فایل های ریگ زرین به صورت نقشه های DEM با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر تبدیل شدند.

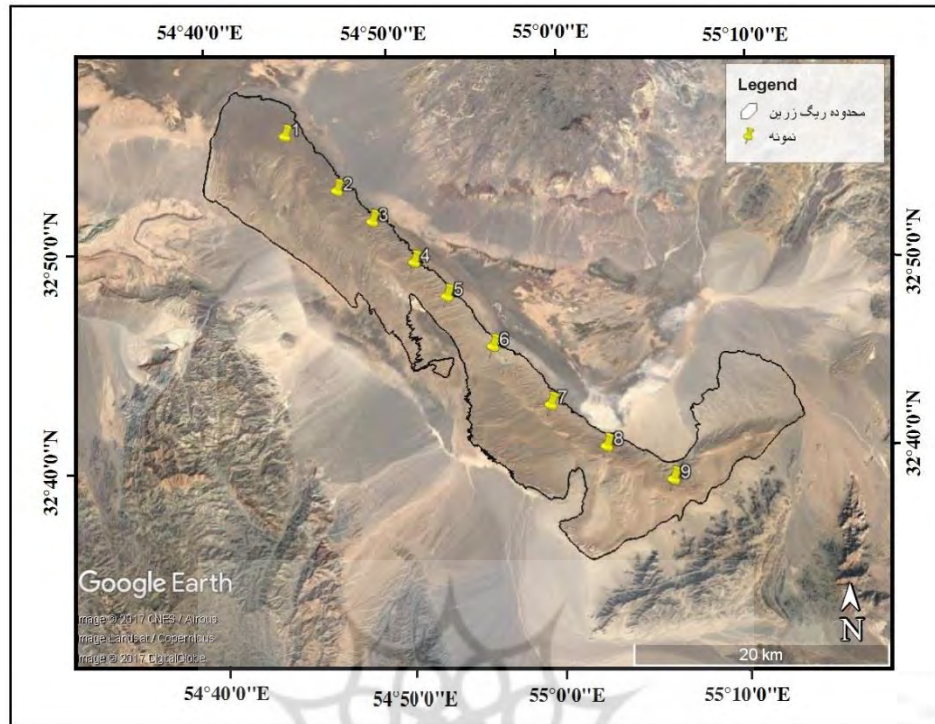


شکل ۲: تصاویری از ریگ زرین؛ تصویر سمت چپ جنوب شرق ریگ و تصویر سمت راست بخش‌های میانی ریگ در ادامه تصاویر رقومی ارتفاعی بدست آمده (برای ۸ سال یعنی سالهای ۱۹۷۷، ۱۹۸۷، ۱۹۹۳، ۱۹۹۸، ۲۰۰۲، ۲۰۰۸، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۷، جدول (۱) در نرم‌افزار ENVI بصورت یک لایه درآمدند (Layer Stacking).

جدول ۱: نمایش تاریخ اخذ و پردازش تصاویر لندست بر حسب روز، ماه و سال

تاریخ	۱۱/۰۷/۱۹۷۷	۰۹/۰۸/۱۹۸۷	۲۵/۰۷/۱۹۹۳	۰۷/۰۷/۱۹۹۸
تاریخ	۲۷/۰۸/۲۰۰۲	۱۸/۰۷/۲۰۰۸	۱۶/۰۷/۲۰۱۳	۱۵/۰۷/۲۰۱۷

با استفاده از این لایه اطلاعاتی، تغییرات ارتفاعی هر پیکسل در داخل محدوده مورد مطالعه قابل مشاهده است. در ابتدا تغییرات ارتفاعی در دو سال ۱۹۷۷ و سال ۲۰۱۷ به عنوان سالهای آغازین و پایانی بازه زمانی مورد مطالعه اندازه‌گیری شد تا مشخص شود آیا تغییراتی در ارتفاع تپه‌ها در این محدوده زمانی بوقوع پیوسته است یا خیر. در ادامه پس از اطمینان از تغییرات محسوس در ارتفاع ریگ طی بازه زمانی مورد مطالعه، ارتفاع تپه‌ها برای ۸ سال متناوب طی گستره زمانی ۴۰ سال اندازه‌گیری شد. برای این کار، در آغاز ۹ نقطه به صورت تصادفی و در امتداد هم با فواصل نسبتاً منظم و مختصات جغرافیایی مشخص (شکل ۳) به شکل نیمرخ عرضی از شمال غرب به سمت جنوب شرق و در بخش‌های میانی ریگ در نظر گرفته شد، جایی که تپه‌ها از تمرکز و ارتفاع بیشتری برخوردار هستند. سپس مختصات هریک از نقاط یادداشت شده و ارتفاع آن‌ها برای تمامی سالهای مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ENVI محاسبه گردید (جدول ۱). نتایج اولیه حاکی از تغییرات ارتفاعی ریگ در امتداد نیمرخ عرضی می‌باشد. در مرحله بعد، تغییرات هر نقطه طی سالهای مختلف در گستره زمانی مورد مطالعه نیز محاسبه گردید تا تفاوت تغییرات در بخش‌های مختلف ریگ حاصل شود. سپس، با استفاده از نرم‌افزار Excel نمودار خطی تغییرات ارتفاعی برای نقاط واقع در نیمرخ عرضی و همچنین برای هر نقطه در سری‌های زمانی مختلف ترسیم گردید. در پایان، برای اندازه‌گیری میانگین ارتفاع ریگ زرین از یک پلی‌گون در محور ریگ‌زرین استفاده شد. برای انجام این کار، ابتدا نقشه DEM را به نرم‌افزار ENVI انتقال و سپس همه نقشه‌ها بر روی هم قرار گرفته و به صورت یک لایه درآمدند. از این لایه تلفیق یافته، یک پلی‌گون در محور مرکزی ریگ‌زار از شمال غرب- تا جنوب شرق برش داده شد. در ادامه، میانگین ارتفاعی این پلی‌گون محاسبه گردید.



شکل ۳: موقعیت نقاط ارتفاعی مورد بررسی در ریگ زرین

**بحث و یافته‌ها**

برای تعیین ارتفاع ریگ‌زرین همانگونه که اشاره شد در امتداد نیمرخ عرضی ۹ نقطه با فواصل نسبتاً منظم و مختصات جغرافیایی مشخص (شکل ۲ و جدول ۲) از غرب به شرق (شمال غرب به جنوب شرق) در نظر گرفته شد و ارتفاع این ۹ نقطه برای بازه زمانی ۴۰ ساله در گلوبال میپر اندازه‌گیری شد. سپس، تغییرات ارتفاعی هر نقطه به طور جداگانه به شکل سری‌های زمانی محاسبه گردید. و با استفاده از نرم‌افزار آماری Excel به شکل نمودارهای خطی ترسیم گردید.

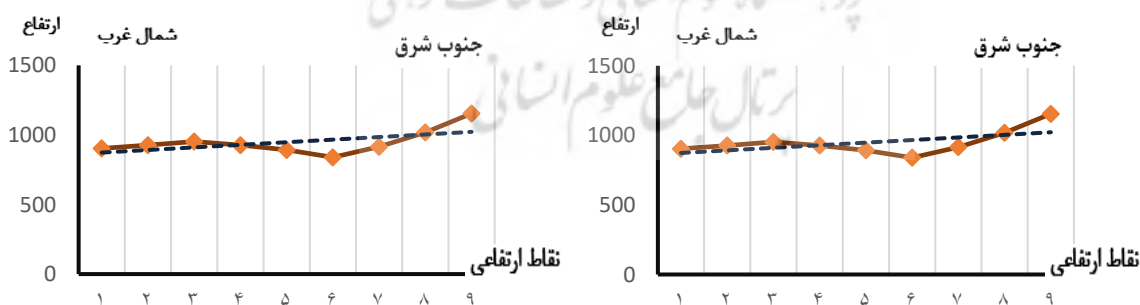
جدول ۲: نمایش موقعیت جغرافیایی نقاط ارتفاعی ریگ زرین از سال (۲۰۱۶ - ۱۹۷۷)

نقاط	عرض جغرافیایی N	طول جغرافیایی E	ارتفاع (۱۹۷۷)	ارتفاع (۱۹۸۷)	ارتفاع (۱۹۹۳)	ارتفاع (۱۹۹۸)	ارتفاع (۲۰۰۲)	ارتفاع (۲۰۰۸)	ارتفاع (۲۰۱۳)	ارتفاع (۲۰۱۶)
۱	32°51' 40.69"	54°41' 5.33"	۹۰۳,۷۸	۹۰۲,۸۷	۹۰۳,۸۵	۹۰۳,۴۷	۹۰۴,۸۳	۹۰۲,۵۶	۹۰۴,۳۶	۹۰۳,۸۹
۲	32°48' 57.54"	54°44' 57.02"	۹۲۵,۴۴	۹۲۷,۰۳	۹۲۷,۸۳	۹۲۶,۹۸	۹۲۶,۸۶	۹۲۶,۲۲	۹۲۶,۶۷	۹۲۷,۲۴
۳	32°47' 24.85"	54°46' 8.14"	۹۵۱,۷۲	۹۵۳,۶۹	۹۵۰,۷۸	۹۵۲,۵۷	۹۵۰,۳۵	۹۵۲,۵۴	۹۵۰,۷۹	۹۵۱,۸۴
۴	32°45' 27.43"	54°48' 29.04"	۹۲۴,۹۲	۹۲۶,۸۱	۹۲۴,۵۴	۹۲۶,۵۲	۹۲۴,۹۲	۹۲۷,۶۵	۹۲۶,۲۶	۹۲۵,۹۱
۵	32°43' 51.03"	54°50' 17.81"	۸۸۵,۶۵	۸۹۱,۴۶	۸۹۲,۵۳	۸۹۲,۰۸	۸۹۲,۷۹	۸۹۳,۰۱	۸۹۳,۷۲	۸۹۲,۲۹
۶	32°41' 30.13"	54°55' 47.36"	۸۳۵,۶	۸۳۹,۳۴	۸۳۸,۴۶	۸۳۹,۲۳	۸۳۸,۹۱	۸۳۹,۵۰	۸۳۹,۷۶	۸۳۹,۰۸

۹۱۴,۴۰	۹۱۳,۶۰	۹۱۵,۳۲	۹۱۴,۲۵	۹۱۵,۳۴	۹۱۳,۹۳	۹۱۵,۹۸	۹۱۱,۷۸	54°55' 51.52"	32°38' 48.21"	۷
۱۰۱۸,۸	۱۰۱۸,۴	۱۰۱۷,۲	۱۰۱۹,۶	۱۰۱۸,۳	۱۰۲۰,۳	۱۰۱۷,۶	۱۰۱۸,۵	54°58' 45.79"	32°36' 54.51"	۸
۱۱۵۲,۶	۱۱۵۱,۶	۱۱۵۲,۷	۱۱۵۲,۵	۱۱۵۴,۳	۱۱۵۳,۳	۱۱۵۳,۵	۱۱۵۱,۷	55°2' 26.60"	32°35' 24.27"	۹

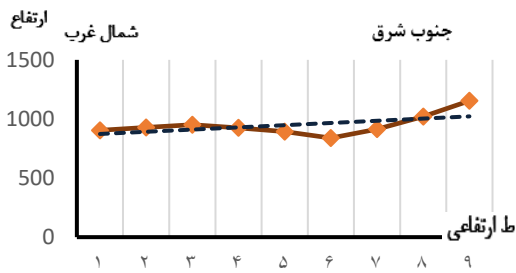
### بررسی تغییرات ارتفاع ریگ طی بازه زمانی ۱۹۷۷-۲۰۱۷

یافته‌ها نشان داد که ارتفاع ریگ زرين در بخش‌های غربی و شمال‌غربی کم بوده و به سمت شرق و جنوب‌شرق افزایش پیدا می‌کند. کمترین ارتفاع ریگ در بخش شمال‌غرب حدود ۹۰۰ متر می‌باشد اما حداکثر ارتفاع آن در بخش غربی قرار داشته و به بیش از ۱۱۵۰ متر می‌رسد. بدین ترتیب، تفاوت ارتفاعی ریگ در امتداد نیمرخ طولی آن بیش از ۲۵۰ متر است. بر حسب نمودارهای ترسیم شده نقطه ۱ کمترین ارتفاع و نقطه ۹ بیشترین ارتفاع را داراست (شکل‌های ۴-۱۱). با این وجود در بخش‌های میانی یک شکست طبیعی در نمودارهای ترسیم شده در همه دوره‌های زمانی دیده می‌شود که مقدار آن به بیش از ۳۰ متر می‌رسد (شکل‌های ۳-۱۰). دلیل این شکست توپوگرافی زیربناست، جایی که پست‌ترین بخش کویر زرين در این بخش قرار گرفته است. اما بیشترین ارتفاع ریگ، در بخش‌های جنوب شرقی آن قرار دارد جایی که هرم‌های ماسه‌ای مرتفع در محل تلاقی و همگرایی بادها در این محل ایجاد شده‌اند. مشاهده و تحلیل تصاویر در بخش‌های مختلف ریگ حاکی از آن بود که در همه بخش‌های ریگ ارتفاع افزایش پیدا کرده است. اما مقدار افزایش به یک اندازه نبوده است. در حالی که غربی‌ترین و شرقی‌ترین بخش ریگ افزایش کمتر از یک متر را طی بازه زمانی ۴۰ سال تجربه کرده است که بخش‌های میانی بیش از ۴ متر افزایش ارتفاع داشته‌اند (شکل‌های ۴-۱۱). بدین ترتیب ملاحظه می‌گردد که مواد رسوبی ماسه‌ای در حال حرکت به سمت شرق تحت تاثیر بادهای غالب منطقه‌ای و تجمع بیشتر در بخش‌های میانی، محل تمرکز و تلاقی بادهای محلی هستند و به دلیل وجود مواد رسوبی فراوان در مخروط‌های افکنه دامنه کوهها و وجود بادهای منطقه‌ای و محلی همیشگی، همواره بر ارتفاع تپه‌ها افزوده می‌شود.

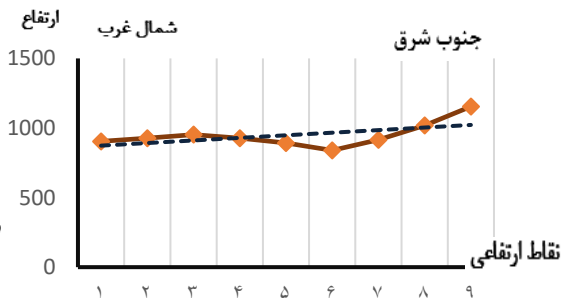


شکل ۵: نمودار ارتفاعی تپه‌های ماسه‌ای (۱۹۸۷)

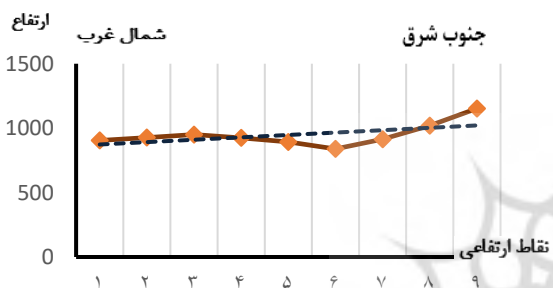
شکل ۴: نمودار ارتفاعی تپه‌های ماسه‌ای (۱۹۷۷)



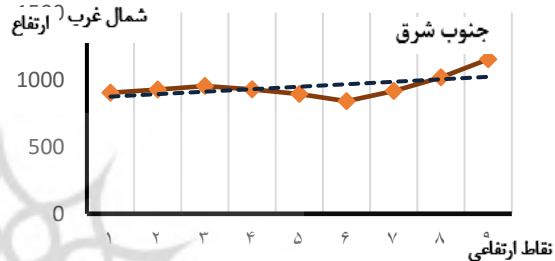
شکل ۷: نمودار ارتفاعی تپه‌های ماسه‌ای (۱۹۹۸)



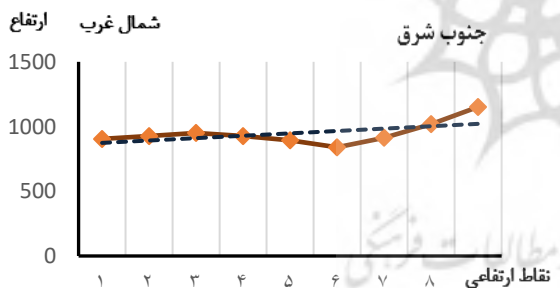
شکل ۶: نمودار ارتفاعی تپه‌های ماسه‌ای (۱۹۹۳)



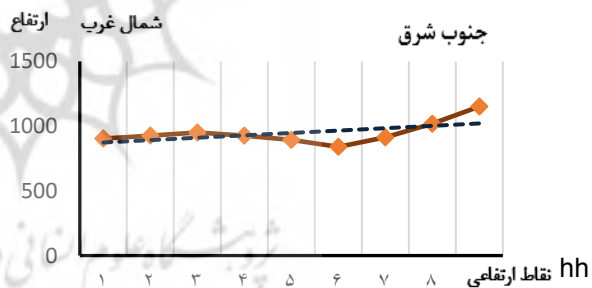
شکل ۹: نمودار ارتفاعی تپه‌های ماسه‌ای (۲۰۰۸)



شکل ۸: نمودار ارتفاعی تپه‌های ماسه‌ای (۲۰۰۲)



شکل ۱۱: نمودار ارتفاعی تپه‌های ماسه‌ای (۲۰۱۶)



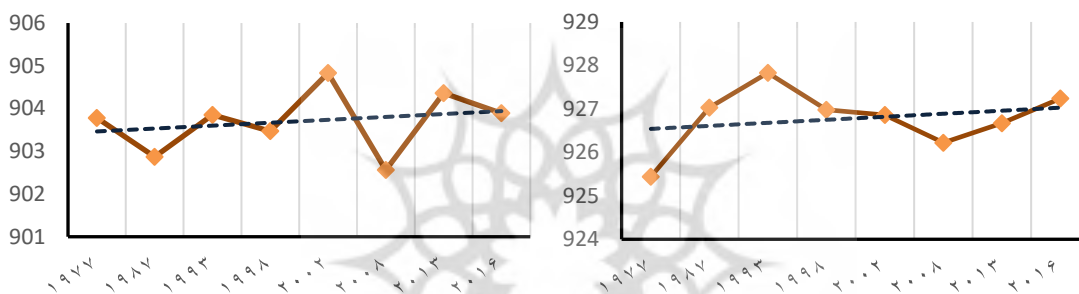
شکل ۱۰: نمودار ارتفاعی تپه‌های ماسه‌ای (۲۰۱۳)

### بررسی تغییرات ارتفاعی نقاط مورد بررسی طی بازه زمانی ۱۹۷۷-۲۰۱۷

در ادامه برای بررسی دقیق‌تر تغییرات ارتفاعی ریگ زرین، هر یک از نقاط مشخص شده به شکل جداگانه طی سالهای مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. ابتدا با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی استخراج شده از گلوبال مپ، میزان ارتفاع نقاط و تغییرات ارتفاعی اندازه گرفته شد. سپس نتایج حاصله وارد نرم افزار اکسل شده و نمودار تغییرات ارتفاعی به شکل نیمرخ عرضی ارتفاع نقاط مورد اندازه‌گیری ریگ برای هر نقطه به صورت جداگانه ترسیم گردید. نتایج بررسیها نشان داد که بیشتر نقاط افزایش ارتفاع محسوسی در طول سال‌های مختلف داشته‌اند. هر چند که پاره ای از نقاط مورد نظر با کاهش ارتفاع در برخی سالها مواجه بوده‌اند. بیشترین افزایش ارتفاع در نقاط میانی بویژه در نقطه ۵ رخ داده که مقدار آن بیش از ۸ متر بوده است که بیشترین افزایش این نقطه نیز طی بازه زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷ بوده است. بر همین اساس، نقاط ۱ و ۲ طی دوره زمانی ۱۹۸۷-۱۹۹۳ بیشترین افزایش ارتفاع داشته اما طی ۲۰۰۸-۲۰۱۳ از ارتفاع آنها کاسته شده است (شکلهای ۱۲ و ۱۳). نقطه ۳ به شکل متناوب با افزایش و کاهش ارتفاع طی سالهای مختلف روبرو بوده است. حداکثر ارتفاع تپه‌ها طی دوره ۱۹۷۷-۱۹۸۷ بوده و طی بازه‌های زمانی ۱۹۸۷-۱۹۹۳، ۱۹۹۸-۲۰۰۲ و همچنین ۲۰۰۸-۲۰۱۳ از ارتفاع تپه‌های

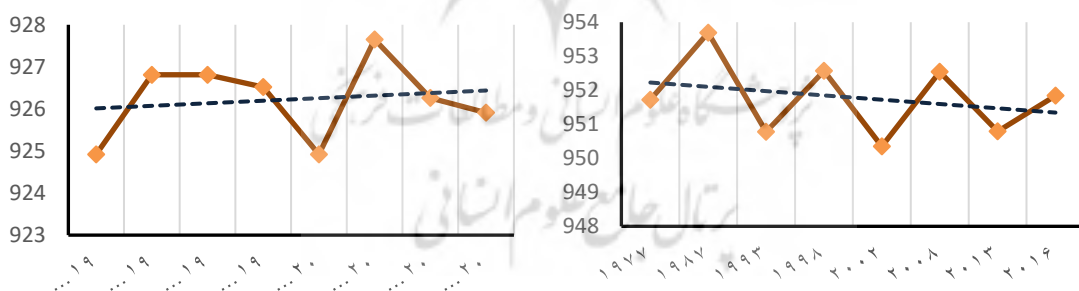


ریگ کاسته شده است (شکل ۱۴). در نقطه ۴ نیز شاهد یک دوره محسوس افزایش ارتفاع و یک دوره کاهش ارتفاع هستیم به نحوی که از ۱۹۷۷-۱۹۹۸ بر ارتفاع تپه‌ها افزوده شده است و طی مدت ۱۹۹۸-۲۰۰۲ تپه‌ها کاهش ارتفاع حدود ۲ متر داشته‌اند و پس از ۲۰۰۲ تا حال حاضر ارتفاع تپه‌ها در حال افزایش بوده است (شکل ۱۵). بخش‌های میانی ریگ (نقاط ۵ و ۶) طی ۴۰ سال گذشته با یک شیب نسبتاً یکنواختی افزایش ارتفاع داشته‌اند و مقدار متوسط آن در حدود ۵ متر بوده است (شکل‌های ۱۶ و ۱۷). اما در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی ریگ (نقاط ۷، ۸ و ۹) نیز به شکل متناوب و به مقدار کمتری نسبت به بخش‌های میانی افزایش ارتفاع داشته‌اند (شکل‌های ۱۸، ۱۹ و ۲۰). بدین ترتیب، ملاحظه می‌شود که ارتفاع ریگ در بخش‌های میانی به شکل محسوسی همواره افزایش داشته و ریگ در این محل به دلیل تلاقی بادهای محلی همواره در حال مرتفع‌تر شدن بوده است. اما بخش‌های شرقی و غربی ریگ نیز به دلیل بادهای منطقه‌ای و وجود مخروط افکنه‌های وسیع و حجیم پای کوه‌ها و وجود خشکسالی‌های مداوم دو دهه قبل با افزایش ارتفاع روبرو بوده است.



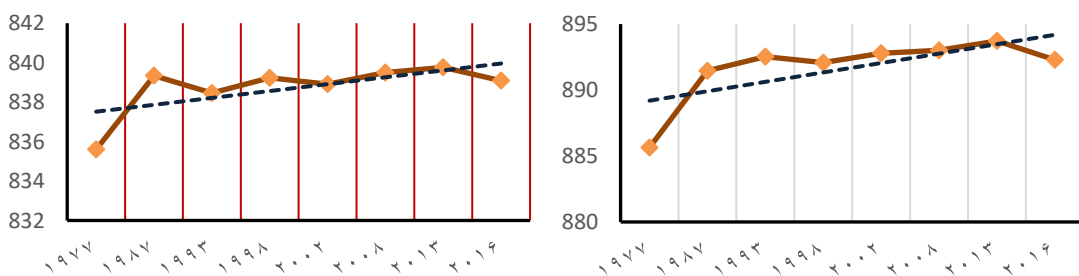
شکل ۱۲: تغییرات ارتفاعی نقطه ۱ (۱۹۷۷-۲۰۱۶)

شکل ۱۳: تغییرات ارتفاعی نقطه ۲ (۱۹۷۷-۲۰۱۶)



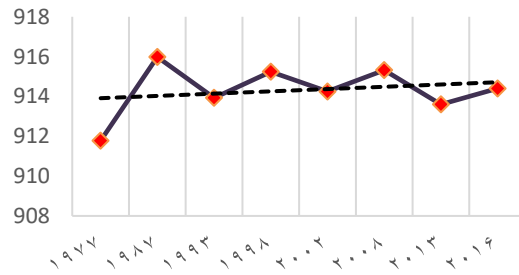
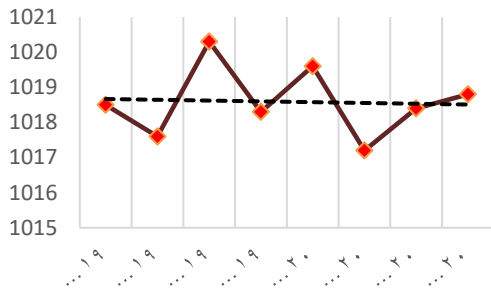
شکل ۱۴: تغییرات ارتفاعی نقطه ۳ (۱۹۷۷-۲۰۱۶)

شکل ۱۵: تغییرات ارتفاعی نقطه ۴ (۱۹۷۷-۲۰۱۶)

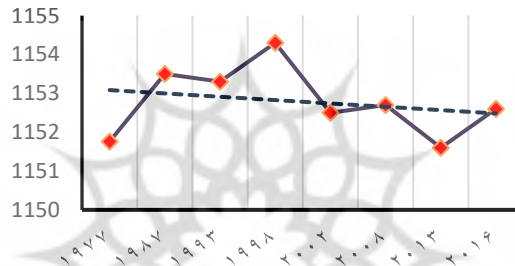


شکل ۱۶: تغییرات ارتفاعی نقطه ۵ (۱۹۷۷-۲۰۱۶)

شکل ۱۷: تغییرات ارتفاعی نقطه ۶ (۱۹۷۷-۲۰۱۶)



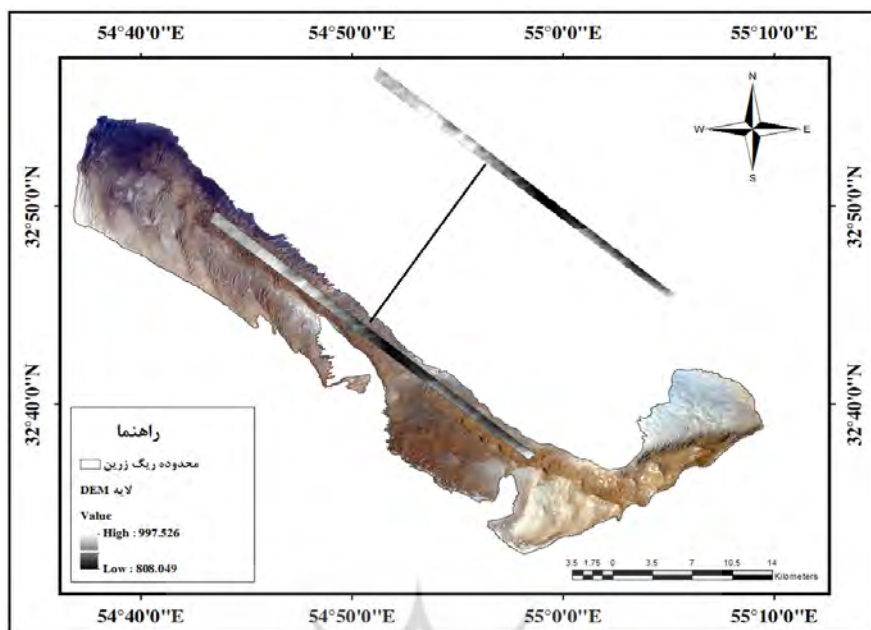
شکل ۱۸: تغییرات ارتفاعی نقطه ۷ (۱۹۷۷-۲۰۱۶)      شکل ۱۹: تغییرات ارتفاعی نقطه ۸ (۱۹۷۷-۲۰۱۶)



شکل ۲۰: تغییرات ارتفاعی نقطه ۹ (۱۹۷۷-۲۰۱۶)

### اندازه‌گیری میانگین ارتفاع ریگ زرین

برای اندازه‌گیری میانگین ارتفاع ریگ زرین از یک پلی‌گون که در محور ریگ‌زرین قرار دارد استفاده شد. برای انجام این کار در ابتدا تمام نقشه‌های DEM به نرم افزار ENVI انتقال داده شد و سپس همه نقشه‌ها به ترتیب سال روی هم قرار گرفت و به صورت یک لایه درآمدند. در این لایه می‌توان تغییرات هر پیکسل را در طول دوره زمانی مورد مطالعه مشاهده کرد. سپس، یک پلیگون به صورت ROI در محور منطقه مورد مطالعه برش داده شد (شکل ۲۱).



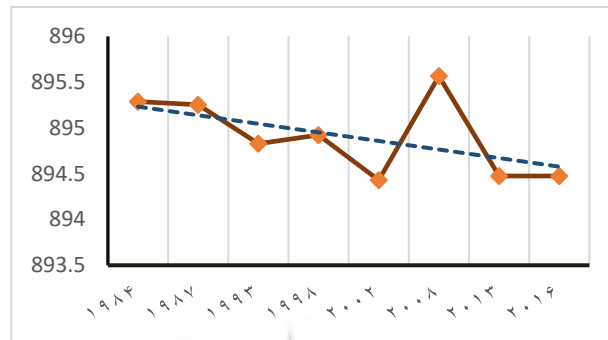
شکل ۲۱: نمایش سطح بخش میانی ریگ برای اندازه‌گیری ارتفاع آن برای دوره ۱۹۷۷-۲۰۱۷

در ادامه، میانگین مکانی هر لایه در هر سال به صورت جداگانه محاسبه گردید. با توجه به جدول ۳ مشخص گردید که ریگ زرین طی مدت ۴۰ سال یعنی از سال ۱۹۷۷ تا سال ۲۰۱۶ نوسان زیادی را از نظر ارتفاعی متحمل شده است. بر این اساس، در برخی سالها متوسط ارتفاع ریگ بیشتر شده و در بعضی از سالها مقدار آن کاهش پیدا کرده است. دلیل آن خشکسالی‌های متوالی استان یزد طی این سالها بوده است. این استان در سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۰ و ۲۰۰۸-۲۰۰۷ به ترتیب در وضعیت خشکسالی متوسط و خشکسالی بسیار شدید قرار داشت (زارع‌خورمیزی و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین، این عامل سبب توسعه و افزایش ارتفاع ریگزار شده است.

جدول ۳: جدول نمودار میانگین ارتفاع ریگ زرین

ردیف	سال	ارتفاع
۱	۱۹۷۷	۸۹۵,۲۸۸
۲	۱۹۸۷	۸۹۵,۲۵۳
۳	۱۹۹۳	۸۹۴,۸۲۹
۴	۱۹۹۸	۸۹۴,۹۲۲
۵	۲۰۰۲	۸۹۴,۴۳
۶	۲۰۰۸	۸۹۵,۵۶۶
۷	۲۰۱۳	۸۹۴,۴۷
۸	۲۰۱۶	۸۹۴,۲

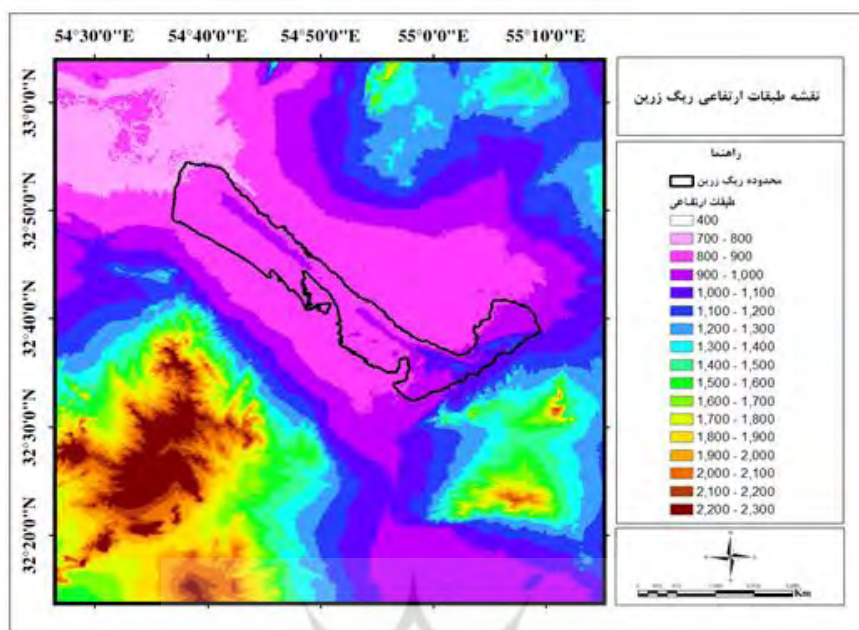
بدین ترتیب، یافته‌ها نشان داد علاوه بر نقاط مرتفع میانی ریگ، بخش‌های میانی نیز با پهنای بزرگتر افزایش ارتفاع داشته‌اند. اما این افزایش به شکل پیوسته نبوده و با فراز و فرودهایی همراه بوده است. بدین ترتیب، ریگ به طور متوسط در سال ۲۰۰۸ بیشترین ارتفاع و در سال ۲۰۰۲ کمترین ارتفاع را داشته است (شکل ۲۲). به طور کلی در دوره زمانی ۱۱ ساله از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ ارتفاع منطقه مورد مطالعه افزایش پیدا کرده است.



شکل ۲۲: نمودار میانگین ارتفاع ریگ زرین طی دوره ۱۹۷۷-۲۰۱۷

### نتیجه گیری

تپه‌های ماسه‌ای به عنوان مهمترین برآیند فرایندهای بادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، همواره در حال حرکت و جابجایی هستند که مقدار حرکت آنها تحت تأثیر پارامترهایی چون جهت و شدت باد، توپوگرافی محل، رطوبت منطقه، پوشش گیاهی، وجود مواد رسوبی ریزدانه و در عصر حاضر عملکردهای انسانی می‌باشد. بادهای منطقه‌ای غربی در ایران مرکزی به دلایل عدم رطوبت خاک در بیشتر ایام سال، فقر پوشش گیاهی و وجود مواد رسوبی فراوان، تپه‌های ماسه‌ای بزرگی را در این بخش از ایران بوجود آورده‌اند که همواره در حال حرکت و جابجایی هستند. اما ارتفاعات داخلی و شکل‌گیری پهنه‌های متفاوت فشار در بیشتر ایام سال در این منطقه بادهای محلی را بوجود آورده است که نقش اساسی را در انتقال و جابجایی تپه‌های ماسه‌ای و حتی جهت حرکت آنها بر عهده دارند. در بخش‌های جنوبی و شرقی کویر زرین، ریگزار نسبتاً وسیع با تپه‌های ماسه‌ای متنوع و مرتفعی بوجود آمده است که از دینامیک بسیار بالایی برخوردار هستند. جهت حرکت کلی آنها در امتداد بادهای غالب شمال‌غربی حاکم بر منطقه است. اما، به دلیل قرار گرفتن ریگزار در داخل چاله کویری زرین و احاطه شدن آن توسط ارتفاعات از هر چهارسو، بادهای محلی به نظر بیشترین نقش را در جابجایی و تغییر و تحول ریگزار ایفا کرده است. بدین روی، هرم‌های ماسه‌ای نسبتاً بزرگ و متعددی در محل تلاقی بادهای همگرایی محلی بوجود آمده‌اند که متاثر از بادهای منطقه‌ای، ارتفاع این هرم‌ها از غرب به شرق افزایش پیدا می‌کند (شکل ۲۳). در واقع، همسو بودن بادهای محلی غربی با بادهای منطقه‌ای غربی باعث شکل‌گیری تپه‌های مرتفع‌تری در بخش‌های جنوب شرقی ریگ شده است. این تحقیق به دنبال بررسی تغییرات ارتفاعی این تپه‌ها در گستره زمانی ۴۰ سال، از ۱۹۷۷ تا ۲۰۱۷ بوده است. نتایج نشان داد که کویر زرین که ریگ زرین در بخش‌های مرکزی، جنوب و جنوب شرق آن قرار گرفته است در گستره ارتفاعی ۸۰۰-۹۰۰ متر قرار داشته که کمترین ارتفاعات کویر در بخش غربی و بیشترین ارتفاع نیز در بخش شرقی قابل مشاهده است. توپوگرافی زیربنای ریگ بر ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای اثرات زیادی داشته است به نحوی که مرتفع‌ترین تپه‌ها در بخش‌های جنوب‌شرق با ارتفاع حدود ۱۲۰۰ متر قرار دارد اما بیشترین ارتفاع تپه‌های بخش غربی حدود ۹۰۰ متر است. ارتفاع نسبی مرتفع‌ترین تپه‌ها در بخش‌های غربی حدود ۱۰۰ متر و در بخش‌های جنوب شرق بیش از ۲۰۰ متر است. بعلاوه، در امتداد ریگ و در محور مرکزی آن تپه‌های ماسه‌ای به شکل خطی از شمال‌غرب به جنوب‌شرق متمرکز شده و هرم‌های مرتفعی در کل امتداد ریگ شکل گرفته است (شکل ۲۳).



شکل ۲۳: نقشه طبقات ارتفاعی ریگ زرین (متر) که در آن محور مرکزی ریگزار به شکل تپه‌های برجسته (اغلب هرم‌های ماسه‌ای) قابل مشاهده است.

نتایج حاکی از تغییرات ارتفاعی در همه بخشهای ریگزار و افزایش ارتفاع در آنهاست. اما این تغییرات در سالهای مختلف و در بخشهای مختلف ریگ بسیار متفاوت بوده است. بر اساس نتایج حاصله، تغییرات ارتفاعی طی سالهای مختلف به شکل متناوب افزایشی و کاهش‌ی بوده و نوسان داشته است. بررسیها نشان داد که از ۱۹۷۷ تا حال حاضر ریگ افزایش ارتفاع داشته است. با این حال، مقدار افزایش ارتفاع در بخشهای مختلف ریگ یکسان نبوده است. بر این اساس، میانگین بیشترین ارتفاعات در بخشهای میانی ریگ صورت گرفته که حدود ۴ متر بوده است. اما بخش‌های ابتدایی و انتهایی ریگ (بخشهای غربی و شرقی ریگ) حدود ۱ متر افزایش ارتفاع پیدا کرده است. این دستاورد با نتایج نظری سامانی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد. مقدار تغییرات ارتفاعی ریگ در طول دوره آماری مورد بررسی با نوسانات زیادی همراه بوده است. در برخی نقاط میانی تپه‌ها در حدود ۸ متر در گستره زمانی کمتر از ۱۰ سال افزایش ارتفاع داشته است. بر این اساس، حداکثر ارتفاع و افزایش ارتفاعی تپه‌ها بین سالهای ۱۹۷۷-۱۹۸۷ صورت گرفته و طی بازه‌های زمانی ۱۹۸۷-۱۹۹۳ و ۱۹۹۳-۲۰۰۲ و همچنین ۲۰۰۸-۲۰۱۳ از ارتفاع تپه‌ها کاسته شده است. مشاهدات نشان داد نوسانات ارتفاعی تپه‌ها تحت تاثیر نوسانات رطوبت بوده و مقدار انتقال و جابجایی تپه‌ها در خشکسالی‌ها بیشتر و در سالهای مرطوب‌تر کمتر می‌شده است. شرایط رطوبت و خشکی منطقه از نتایج مطالعات امین و مالکی‌نژاد، ۱۳۹۶ و زارع خورمیزی و همکاران، ۱۳۹۶ اخذ شده است. نتایج نهایی نشان داد که ریگ تحت تاثیر بادهای غالب منطقه‌ای (شمال‌غرب-جنوب‌شرق) در حال حرکت به سمت شرق و جنوب شرق است؛ اما بادهای همگرا و متقابل محلی سبب شکل‌گیری هرم‌های ماسه‌ای شده و به دلیل تداوم این بادهای بر حجم و ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای بخش‌های مرکزی ریگ افزوده شده است. با این حال، ارتفاع بخش‌های میانی ریگ با شیب یکنواخت‌تری افزایش یافته و از نوسانات کمتری برخوردار بوده است. دلیل آن نیز همین بادهای همگرای محلی بوده که در این بخش تلاقی پیدا کرده‌اند. در محدوده زمانی ۲۰۰۲-۲۰۰۸ ریگزار به بیشترین ارتفاع خود رسیده که با خشکسالیهای این دوره از استان یزد (امین و مالکی‌نژاد، ۱۳۹۶، زارع خورمیزی و همکاران، ۱۳۹۶) مطابقت دارد.

## منابع

- ایمانی، رسول؛ عبدالهی، مهدی؛ عباسعلی، ولی؛ آل بوعلی، علی (۱۳۹۲) بررسی تغییرات مورفومتری تپه های ماسه ای با استفاده از سنجش از دور، مطالعه موردی: جنوب شرقی عشق آباد، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، صص. ۱۲۹-۱۴۰.
- امین، پیمان؛ ملکی نژاد، حسین (۱۳۹۶) بررسی و مقایسه دوره های خشکسالی با استفاده از نمایه های مبتنی بر بارش در برخی مناطق مرکزی و غرب کشور، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبریز، سال هشتم، شماره ۱۶، صص. ۲۷۱-۲۸۱.
- توکلی فرد، اصغر؛ قاسمیه، هدی؛ نظری سامانی، علی اکبر؛ مشهدی، ناصر، ۱۳۹۳، تحلیل میزان فعالیت تپه های ماسه ای بند ریگ کاشان با استفاده از شاخص لنکستر، مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، سال سوم، شماره ۵، صص. ۳۷-۴۸.
- خسروی، محمود؛ فتوحی، صمد؛ پیروززاده، سلیمان، ۱۳۹۴، بررسی تغییرات زمانی-مکانی تپه های ساحلی ماسه های با استفاده از سنجش از دور (RS) مورد مطالعه: منطقه غرب زرآباد، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دوم، شماره ۴، صص. ۱-۱۴.
- رامشت، محمد حسین؛ سیف، عبدالله، محمودی، شبنم، ۱۳۹۲، بررسی میزان گسترش تپه های ماسه ای شرق جاسک در بازه زمانی ۱۳۶۹-۱۳۸۳ با استفاده از RS و GIS، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۱، صص. ۱۲۱-۱۳۶.
- زارع خورمیزی، هادی؛ حسینی، سید زین العابدین؛ مختاری، محمد حسین؛ غفاریان مالمیری، حمیدرضا، ۱۳۹۶، بررسی ارتباط خشکسالی و تغییرات NDVI در تپه های مختلف پوشش گیاهی (مطالعه موردی: مراتع جنوب استان یزد)، دو فصلنامه علمی-پژوهشی خشک بوم، دوره ۷، شماره ۲، صص. ۱۰۱-۸۵.
- عباس نژاد، احمد؛ ذهاب نوری، سمیه، ۱۳۹۱، شناسایی اشکال فرسایش بادی دشت رفسنجان (پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲، صص. ۱۲۷-۱۴۴).
- غریب رضا، محمد؛ معتمد، احمد، ۱۳۸۳، بررسی تغییرات تپه های ماسه ای ساحلی استان سیستان و بلوچستان از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۷۲، فصلنامه پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۰، صص. ۳۵-۴۸.
- نظری سامانی، علی اکبر؛ عباسی، حمیدرضا؛ احمدی، حسن؛ راهداری، محمدرضا، ۱۳۹۶، مدل سازی کمی ارتفاع و فاصله بین تپه های ماسه ای با استفاده از مطالعات ژئومورفومتریک در بیابان های داخلی ایران، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۲۴، شماره پیاپی ۶۶، صص. ۲۱۰-۲۲۳.
- نگارش، حسین؛ لطیفی، لیلا، ۱۳۸۸، بررسی خسارت های ناشی از حرکت ماسه های روان در شرق زابل با استفاده از تصاویر ماهواره ای، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۷، صص. ۷۳-۸۷.
- Brown, D.G., Arbogast, A.F., 1999. Digital photogrammetric change analysis as applied to active coastal dunes in Michigan. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 65, 467-474
- El belrhiti, H., Douady, S., 2011. Equilibrium versus disequilibrium of barchan dunes. *Geomorphology* 125, 558-568
- Hermas, E., Leprince, S., and El-Magd, I. A., 2012. Retrieving Sand Dune Movements Using Sub-Pixel Correlation of Multi-Temporal Optical Remote Sensing Imagery, Northwest Sinai Peninsula, Egypt. *Remote Sensing of Environment*, 121: 51- 50. DOI: 20.2025/j.rse.1021.02.001

- Hugenholtz, C.H., 2010. *Topographic changes of a supply-limited inland parabolic sand dune during the incipient phase of stabilization. Earth Surface Processes and Landforms* 35, 1674–1681.
- Hugenholtz, C. H.; Levin, N.; Barchyn, T. E.; Baddock, M. C. ,2012, *Remote sensing and spatial analysis of aeolian sand dunes: A review and outlook, Earth-Science Reviews*, No. 111, Pp. 319–334
- Leprince, S., Barbot, S., Ayoub, F., Avouac, J.P., 2007. *Automatic and precise orthorectification, coregistration, and subpixel correlation of satellite images, application to ground deformation measurements. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 45, 1529–1558.
- Leprince, S., Berthier, E., Ayoub, F., Delacourt, C., Avouac, J.P., 2008. *Monitoring Earth surface dynamics with optical imagery. Eos, Transactions American Geophysical Union* 89 (1). doi:10.1029/2008EO010001.
- Levin, N., 2011. *Climate-driven changes in tropical cyclone intensity shape dune activity on Earth's largest sand island. Geomorphology* 125, 239–252.
- Long, J. W.; Bakker, A. T. M., and Plant, N. G. ,2014. *Scaling coastal dune elevation changes across storm-impact regimes, Geophysical Research Letters*, No. 41, Pp. 2899–2906
- Maghsoudi, M. ; Navidfar, A.; Mohammadi, A. (2017) *The sand dunes migration patterns in Mesr Erg region using satellite imagery analysis and wind data, Natural Environment Change Vol. 3, No. 1, Winter & Spring 2017, pp. 33-43*
- Marín, L., Forman, S.L., Valdez, A., Bunch, F., 2005. *20th Century dune migration at the Great Sand Dunes National Park and Preserve, Colorado and relation to drought variability. Geomorphology* 70, 163–183
- Mitasova, H., Drake, T.G., Harmon, R.S., Bernstein, D., 2004. *Quantifying rapid changes in coastal topography using modern mapping techniques and GIS. Environmental and Engineering Geoscience* 10, 1–11.
- Ojeda, J., Vellejo, I., Malvarez, G.C., 2005. *Morphometric evolution of the active dunes system of the Doñana National Park, Southern Spain (1977–1999). Journal of Coastal Research SI* 49, 40–45.
- Reitz, M.D., Jerolmack, D.J., Ewing, R.C., Martin, R.L., 2010. *Barchan-parabolic dune pattern transition from vegetation stability threshold. Geophysical Research Letters* 37, L19402.
- Thomas, D.S.G., Leason, H.C., 2005. *Dune field activity response to climate variability in the SW Kalahari. Geomorphology* 64, 117–132.
- Vermeesch, P., Drake, N., 2008. *Remotely sensed dune celerity and sand flux measurements of the world's fastest barchans (Bodélé, Chad). Geophysical Research Letters*, Vol. 35, L24404. doi:10.1029/2008GL035921
- Woolard, J.W., Colby, J.D., 2002. *Spatial characterization, resolution, and volumetric change of coastal dunes using airborne LIDAR: Cape Hatteras, North Carolina. Geomorphology* 48, 269–287.
- Yizhaq, h.; Ashkenazy, Y.; Tsoar, H. ,2009, *Sand dune dynamics and climate change: A modeling approach, Journal of geophysical research, VOL. 114, Pp. 1-11 .*