

ارزیابی تغییرات زمانی - مکانی ریگزارها با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ی لندست منطقه مورد مطالعه: ریگ زرین

دکتر محمد شریفی پیچون^{۱*}، دکتر حمیدرضا غفاریان^۲، زینب میری^۳

چکیده

تپه‌های ماسه‌ای بادی متأثر از متغیرهای مختلفی مانند باد، اندازه‌ی دانه‌های رسوبی، رطوبت، توپوگرافی منطقه، مورفولوژی تپه‌ها و پوشش گیاهی، مدام در حال حرکت و جابه‌جایی هستند. هدف پژوهش حاضر بررسی مقدار جابه‌جایی سطح زیربنای ریگ‌زرین در شمال غرب شهر یزد است. برای ارزیابی تغییر سطح ریگ‌زرین از تصاویر TM، ETM+ و OLI لندست طی دوره ۴۰ ساله (۱۹۷۷-۲۰۱۷) استفاده شد. ابتدا به منظور استخراج اطلاعات از تصاویر چندباندی از روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده و سپس نظارت‌شده استفاده شد. به منظور تبدیل تصاویر به نقشه از فیلترگذاری، ادغام و غربال کردن کلاس‌ها استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که ریگ زرین در بازه زمانی مورد مطالعه نوسان داشته است؛ روند کلی تغییرات افزایشی بوده و طی این مدت سطح ریگ حدود ۶۰ کیلومتر مربع توسعه پیدا کرده است؛ اما در دو دوره زمانی، یعنی از ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۳ و همچنین از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ سطح ریگ زرین کاهش پیدا کرده است. به علاوه، گرادبان افزایش سطح ریگ نیز یکسان نبوده و در برخی بازه‌های زمانی میزان افزایش بسیار چشمگیرتر بوده است. به طوری که در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ مقدار افزایش کمتر از ۲ کیلومتر مربع و در سال‌های ۱۹۷۷ تا ۱۹۸۷ مساحت ریگ بیش از ۴۰ کیلومتر مربع افزایش یافته است. بررسی نتایج با میزان خشکسالی‌ها در سال‌های مورد نظر نشان داد که این فراز و فرودها با افزایش یا کاهش رطوبت مرتبط است؛ به نحوی که در سال‌های مرطوب امکان توسعه نبوده و سطح آن کاهش و در خشکسالی‌ها، به ویژه در ۱۰ سال اخیر، میزان توسعه سطح ریگ‌زرین بسیار چشمگیر (حدود ۳۰ کیلومتر مربع) بوده است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۵۸، بهار ۱۳۹۹
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۲۱
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۲۱
صفحات: ۴۵-۵۸



واژه‌های کلیدی:
بادمحلی، تپه‌ماسه‌ای، مناطق خشک، تغییر
سطح ریگ، ریگ زرین.

مقدمه

شکندۀ این مناطق را تهدید می‌کند. حدود نیمی از مساحت کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و ریگزارهای وسیعی با تپه‌های ماسه‌ای گسترده و از نظر مورفولوژی متنوع در آن تشکیل شده است. جابه‌جایی دائمی آن‌ها در طول تاریخ خسارت‌های جانی و مادی فراوانی به همراه داشته است. تغییرات رطوبتی خاک و خشکسالی‌های اخیر در ایران، به ویژه در واحدهای مورد اشاره، فعالیت و به‌دنبال آن جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای را بیشتر کرده است. ایران جزو ده کشور اول مستعد وقوع مخاطرات طبیعی دنیا

تجمع ماسه‌های بادی و تشکیل تپه‌های ماسه‌ای یکی از پویاترین و جالب‌ترین پدیده‌های طبیعی مناطق خشک و نیمه‌خشک بیابان‌های دنیاست. سطح این عارضه‌ها به‌طور مداوم تحت تأثیر بادهای منطقه‌ای و محلی، رطوبت خاک و همچنین توپوگرافی زیربنا همواره در حال تغییر و جابه‌جایی است. جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای یکی از عوامل ریسک بالای مخاطرات محیطی برای مناطق مذکور به‌شمار می‌رود و زیرساخت‌های انسانی است و حتی اکوسیستم‌های

تسوار و همکاران (۲۰۰۵) بر روی گسترش و انتقال تپه‌های ماسه‌ای مطالعه‌ای را انجام دادند و بیان کردند که دو فرایند مشخص بر دینامیک تپه‌ها عمل می‌کنند؛ یکی انتقال و حرکت مواد بر روی دامنه رو به باد تپه‌ها و دیگری رسوب‌گذاری بر روی دامنه پشت به باد (Tsoar et al, 2005: 50). مارین و همکاران (۲۰۰۵) جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای را در یک دوره زمانی ۶۳ ساله (۱۹۳۶-۱۹۹۹) در پارک ملی جنوب کلرادو بررسی کردند و نشان دادند که خشکسالی‌ها مقدار حرکت تپه‌ها 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 (Marin et al, 2005: 163).

اسحاق و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی دینامیک تپه‌های ماسه‌ای در ارتباط با تغییرات بارش و شدت باد پرداختند و بیان کردند که با کاهش رطوبت و ایجاد بادهای نیرومند تپه‌های غیرفعال نیز فعال می‌شوند (Yizhag et al, 2009: 2).

شائو (۲۰۰۸) اظهار می‌دارد که دینامیک تپه‌های ماسه‌ای نتیجه برهمکنش بین جریان‌های اتمسفر، حرکت دانه‌های ماسه و ویژگی‌های مورفولوژیکی تپه‌ها است (Shao, 2008: 361).

روبین و همکاران (۲۰۰۸) تپه‌های ماسه‌ای شمشیری شکل و حرکت کناری آن‌ها را طی سال‌های ۱۹۷۳-۱۹۹۹ در صحرای سینا بررسی و مشاهده کردند که بخش‌های کناری این تپه‌ها در حدود ۱۳ متر جابه‌جا شده بودند (Rubin et al, 2008: 335). هرمس و همکاران (۲۰۱۲) حرکت تپه‌های ماسه‌ای را با استفاده از همبستگی پیکسل‌های تصاویر چندزمانه در شمال شرق بیابان مصر بررسی کردند. نتایج نشان

است (نگارش و لطیفی، ۱۳۸۸: ۷۴). یکی از انواع مخاطرات طبیعی که هر ساله سبب وارد آمدن خسارات زیادی به ویژه در مناطق خشک و بیابانی دنیا می‌شود، توفانهای ماسه‌ای هستند (امیدوار، ۱۳۸۵: ۱۶۶).

مطالعه تپه‌های ماسه‌ای به علت تأثیراتی که بر روی منابع آب و خاک، حیات گیاهی و جانوری و تأسیسات و راه‌های ارتباطی دارند، اهمیت دارد (رامشت و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۲). درک موقعیت، رفتار و ماهیت تپه‌های ماسه‌ای و همچنین مکان برداشت، مسیر انتقال و محل رسوب‌گذاری آن‌ها بسیار مهم است؛ چرا که جابه‌جایی این تپه‌ها اثرات زیادی بر منابع آب و خاک و همچنین تغییرات اکوسیستم‌های مناطق خشک دارد. بر این اساس مطالعات نسبتاً زیادی راجع به تپه‌های ماسه‌ای و تغییرات سطح آن در سطح دنیا و همچنین ایران انجام گرفته است. به‌طور کلی انتقال تپه‌های ماسه‌ای یک فرایند پیچیده است و تحت تأثیر متغیرهای مختلفی قرار دارد، از جمله جهت بادهای (Lancaster, 1985: 607; Anderson & Haff, 1988: 820; Gillette et al, 2001: 85) و رطوبت سطح دانه‌ها (Jackson, 1998: 151; Wigg, 2004: 95) مورفولوژی سطح تپه‌ها (Leys & Eldrige, 1991: 963) توپوگرافی (Iverson & Rasmussen, 1994: 721; Hesp et al, 2005: 71) پوشش گیاهی (Buckley, 1987: 426; Kuriyama, 2005: 1123).

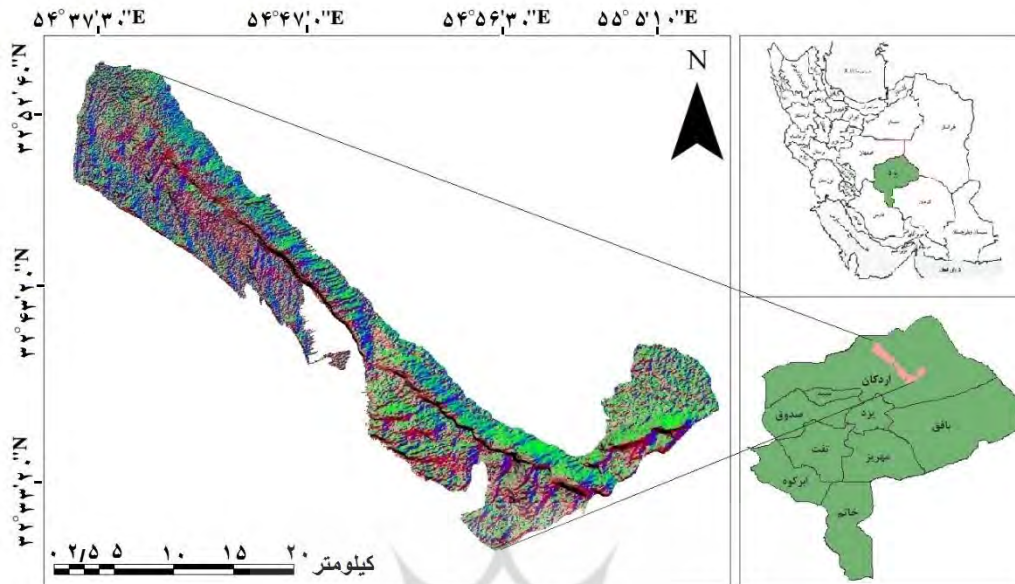
وایت و تسوار اثرات شیب دامنه تپه‌ها را بر روی جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که شیب دامنه‌ها بر انتقال ذرات ماسه اثرگذار است و تنها ذرات کوچک‌تر از ۲۳۰ میکرون قادر به صعود روی یک شیب ۲۰ درجه بوده است (White & Tsoar, 1998: 160).

جمالی و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی ریسک خطر تپه‌های ماسه‌ای برای شهرستان صدوق یزد پرداختند و بیان کردند که تپه‌های ماسه‌ای در سال‌های اخیر در مرکز ارگ به شهر و زمین‌های کشاورزی نزدیک شده‌اند (Jamali, 2018: 579). هدف پژوهش حاضر مطالعه تغییرات سطح زیربنای تپه‌های ماسه‌ای ریگ زرین طی یک دوره ۴۰ ساله (سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۱۷) است که بر این اساس می‌توان میزان و جهت حرکت تپه‌های ماسه‌ای را در بیابان‌های ایران مرکزی مشخص کرد. این امر می‌تواند نقش عوامل فرسایشی، اعم از منابع برداشت، فرایندهای انتقال، نحوه و مکان رسوب‌گذاری را مشخص کند.

منطقه مورد مطالعه

ریگ زرین به‌عنوان یکی از ریگزارهای بزرگ و شاخص ایران مرکزی در محدوده میان $38^{\circ} 54'$ 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 توسط ارتفاعات اطراف آن احاطه شده 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.

داد که تپه‌ها به سمت شرق و جنوب شرق حرکت کرده‌اند (Hermas et al, 2012: 51). یانگ و همکاران (۲۰۱۴) رژیم بادها را در ارتباط با حرکت تپه‌های ماسه‌ای بین بیابان بدیان‌جان^۱ و تانگر^۲ در فلات مرکزی چین مطالعه کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که ۹۹/۸ درصد حرکت ماسه‌ها در بهار و تابستان اتفاق می‌افتد (Yang et al, 2014: 143). همدان و همکاران (۲۰۱۶) ویژگی‌های مورفولوژیک و حرکت برخان‌ها را در جنوب شرق بیابان‌های غربی مصر بررسی و نشان دادند که این تپه‌ها بین ۳ تا ۱۰ متر در سال حرکت می‌کنند (Hamdan et al, 2016: 57). مایود و همکاران (۲۰۱۷) به مدل‌سازی حرکت تپه‌های ماسه‌ای بادی پرداختند و بیان کردند که شناخت میزان تغییرات زمانی- مکانی جریان رسوب برای بررسی فرسایش سطحی و میزان رسوب‌گذاری در بیابان‌ها ضروری است (Mayaud et al, 2017: 108). ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی دینامیک تپه‌های ستاره‌ای شکل پرداختند و مشاهده کردند که انحراف و رکود جریان هوا تحت تأثیر شرایط توپوگرافی منطقه یکی از مکانیسم‌های اصلی تشکیل این تپه‌های ماسه‌ای است (Zhang et al, 2016: 143). ژیانگ و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی انتقال تپه‌های ماسه‌ای پرداختند و بیان کردند که بین مورفولوژی تپه‌ها و انتقال آن‌ها توسط باد ارتباط وجود دارد (Jiang et al, 2017: 41). مقصودی و همکاران (۲۰۱۷) 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 (Maghsoudi et al, 2017: 33).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در یزد و ایران

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

به بخش‌های تعریف‌شده و کمترین فاصله از میانگین ارزش پیکسلی بخش‌های تعریف‌شده، طبقه‌بندی شدند. چون هدف فقط شناسایی ریگزار بود، بر پایه این روش همه مناطق پوشیده از ریگ در این محدوده مشخص شدند. روش طبقه‌بندی نظارت‌شده با بیشترین شباهت، نسبت به روش نظارت‌شده با کمترین فاصله از میانگین و روش نظارت‌نشده، تشخیص دقیق‌تری از محدوده تپه‌های ماسه‌ای مورد نظر عرضه کرد. در ادامه، برای صحت‌سنجی نتایج طبقه‌بندی، از ضریب کاپا استفاده شد. ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۰). این کار را می‌توان بدین صورت معنی کرد که پس از حذف تأثیر شانس در طبقه‌بندی، مقدار تطابق با واقعیت زمینی محاسبه خواهد شد. مقدار صفر تا یک سطحی از دقت را نشان می‌دهند. مقدار ۱ به معنی یک طبقه‌بندی کاملاً صحیح براساس نمونه‌های گرفته شد. مقادیر منفی کاپا به معنی ضعف طبقه‌بندی و نتایج بسیار بد تفسیر شد.

مواد و روش

در پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات زمانی- مکانی تپه‌های ماسه‌ای ریگ زریں از ۸ تصویر ماهواره لندست TM، ETM+ برای سال‌های ۱۹۷۷، ۱۹۸۷، ۱۹۹۳، ۱۹۹۸، ۲۰۰۲، ۲۰۰۸، ۲۰۱۳ و همچنین از لندست ۸ برای سال ۲۰۱۷ استفاده شد. این تصاویر در نرم‌افزار ENVI^۱ در ابتدا به شکل نظارت‌نشده و سپس به شکل نظارت‌شده طبقه‌بندی شدند. برای طبقه‌بندی نظارت‌شده، ابتدا از بخش جنوب شرقی ریگزار (غرب روستای مغستان) منطقه مورد مطالعه در آبان ۱۳۹۶ بازدید شد (شکل ۲) و با استفاده از سامانه GPS چند نقطه به‌عنوان نقاط شاخص در جهت طبقه‌بندی نظارت‌شده مشخص شد. بدین ترتیب ابتدا نقاط زمینی بر روی تصاویر به‌عنوان نمونه‌های طیفی نظارت‌شده^۲ (ROI) مشخص شدند و سپس این نقاط به‌عنوان نقاط آموزشی به نرم‌افزار معرفی و سپس پیکسل‌های تصاویر اخذشده براساس بیشترین شباهت

1-The Environment For Visualizing Images
2-Region Of Interest

برگزیده و پیکسل‌های طبقه‌بندی‌نشده و مجزا را رفع کرده و به کلاس اطراف نسبت می‌دهد (احدنژاد، ۱۳۷۹؛ احمدپور و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۹)؛ بنابراین نقشه‌های منتج‌شده با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، وارد محیط GIS شدند و به‌منظور انجام تکنیک‌های لازم در جهت ارزیابی پوشش و ترسیم نقشه‌های جغرافیایی از منطقه آماده شد. در این مرحله تمامی تصاویر ریگ زرین، از حالت رستر به وکتور تبدیل شدند و مساحت ریگ در هرکدام از سال‌ها به‌طور جداگانه اندازه‌گیری و محاسبه شد و با استفاده از نرم‌افزار Excel برای داده‌های به‌دست‌آمده نمودار خطی تغییرات مساحت نسبت به زمان ترسیم شد.

پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، برای بهبود تصاویر و بالابردن قابلیت تصاویر طبقه‌بندی‌شده در جهت تبدیل شدن به نقشه، عملیات پس از طبقه‌بندی صورت گرفت. این عملیات شامل فیلترگذاری (Majority filtering) به‌منظور از بین بردن پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده نامرتب، ادغام کلاس‌ها (Combine classes)، انبوه کردن کلاس‌ها، غربال کردن کلاس‌ها (Clump classes) و روی هم گذاری کلاس‌ها و در نهایت تبدیل به نقشه وکتوری در جهت ورود به محیط GIS بود. براین اساس، در پژوهش حاضر پس از طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از یک فیلتر اکثریت 5×5 (Kernel size) اقدام به اصلاح تصویر طبقه‌بندی شد. نحوه عمل این فیلتر بدین صورت است که مقدار فراوان و غالب یک پیکسل و هشت پیکسل مجاور آن



شکل ۲: نمایی از بخش جنوب شرقی ریگ زرین در غرب روستای مغستان

تهیه عکس: نگارندگان، ۱۳۹۶

دستیابی به نتایج بهتر و ملموس‌تر دوباره ۸ تصویر پردازش شده در ۴ گروه قرار گرفتند. بدین ترتیب، چهار بازه زمانی به شرح زیر برای بررسی میزان جابه‌جایی مواد رسوبی و تپه‌های ماسه‌ای مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند.

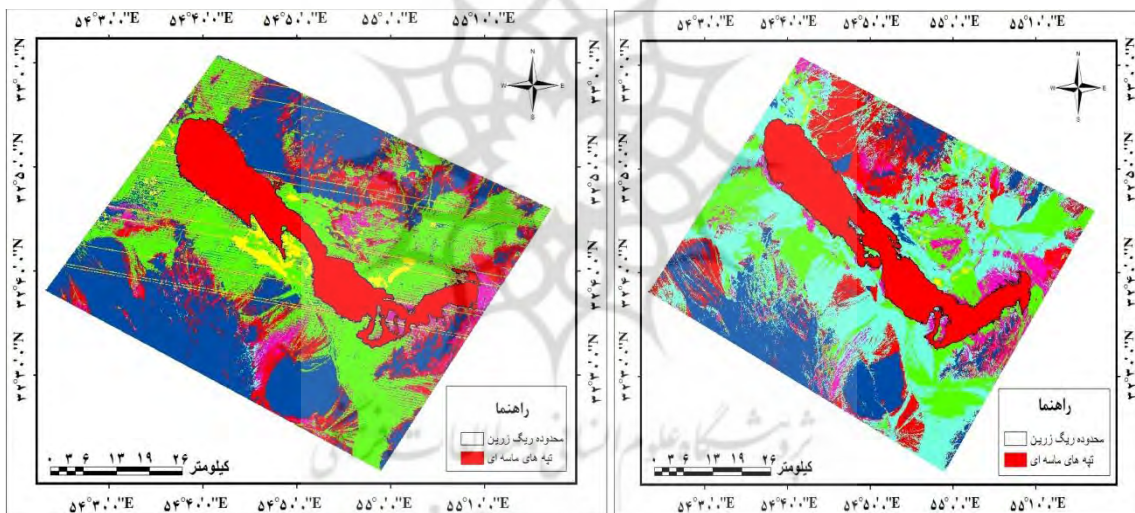
یافته‌های تحقیق

برای بررسی تغییرات و جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای ریگ زرین طی بازه زمانی ۴۰ ساله، ۸ تصویر برای دوره‌های زمانی مختلف مورد استفاده و مساحت تپه‌های ماسه‌ای این ریگزار محاسبه شد. برای

دربرگرفته در شمال غرب و بخش‌های میانی بوده است و هرچه از شمال به سمت جنوب ریگ پیش برویم از پهنای ریگ کمتر و بر ارتفاع آن افزوده می‌شود (شکل ۳)، اما بررسی تصاویر ماهواره‌ای مرتبط با سطح ریگ زرین در سال ۱۹۸۷ نشان داد که سطح زیربنای آن در مقایسه با ۱۰ سال قبل گسترش بسیار زیادی پیدا کرده است (شکل ۳)؛ به طوری که مساحت آن به حدود ۴۴۴ کیلومترمربع رسیده که افزایش تقریباً ۴۴ کیلومترمربع را نشان می‌دهد. بیشترین توسعه ریگ به سمت بخش‌های میانی و شرقی بوده است، هرچند که در همه بخش‌های آن افزایش سطح به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۴).

تغییرات ریگ زرین از ۱۹۷۷-۱۹۸۷

به منظور مطالعه تغییرات سطح ریگ زرین، از قدیمی‌ترین تصاویر لندست در دسترس مرتبط با منطقه (تصویر TM سال ۱۹۷۷) به عنوان نقشه اولیه و پایه مطالعه ریگ زرین استفاده شده و سپس تصاویر سال‌های دیگر بر پایه این تصویر مورد ارزیابی قرار گرفته است و مقادیر تغییرات سطح ریگ در طول زمان بر پایه دوره‌های بیشتر از ۶ سال بررسی شدند. ریگ زرین به شکل L حرف انگلیسی در جهت شمال غرب-جنوب شرق کشیده شده است (شکل ۱). وسعت این محدوده در سال ۱۹۷۷ حدود ۴۰۰ کیلومترمربع بوده است. بیشترین سطحی که این محدوده



شکل ۴: محدوده ریگ زرین در سال (۱۹۸۷)

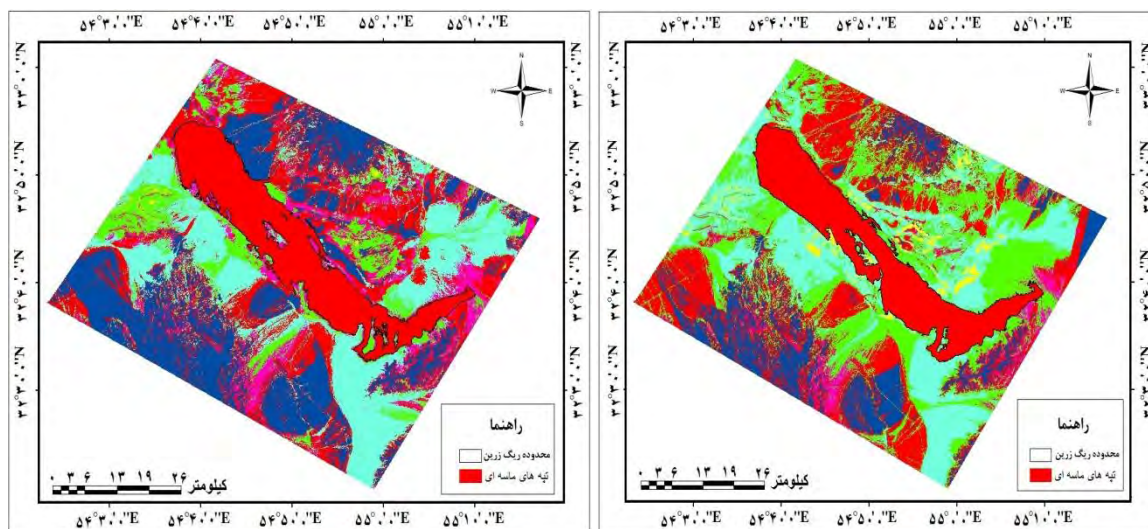
شکل ۳: محدوده ریگ زرین در سال (۱۹۷۷)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

وسعت زیربنای ریگ زرین در سال ۱۹۹۸ نشان داد که در این سال وسعت ریگ نسبت به سال‌های قبل در بخش‌های شمالی و میانی بیشتر شده است. افزایش سطح ریگ نیز بیشتر در همین مناطق مشاهده می‌شود، اما در قسمت‌های جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق ریگ زرین از وسعت آن کاسته شده است. بدین ترتیب، مساحت ریگ زرین طی ۷ سال از ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۲ حدوداً ۱۶/۴۲ کیلومترمربع ریگ زرین افزایش داشته است (شکل ۶).

تغییرات سطح ریگ زرین از ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۸

ریگ زرین در سال ۱۹۹۳ نسبت به ۶ سال قبل تغییرات هرچند کم، اما محسوسی داشته است. با این وجود، سطح ریگ نسبت به دوره قبل کاهش پیدا کرده است. در این دوره، توسعه ریگ در بخش‌های شمالی بیشتر، اما در بخش‌های میانی نسبت به سال‌های قبل کمتر شده و در قسمت‌های جنوب غرب افزایش پیدا کرده است. به طور کلی، طی دوره زمانی ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۳ مساحت ریگ تقریباً ۱۸/۸۰ کیلومترمربع کاهش مساحت داشته است (شکل ۵). همچنین، بررسی



شکل ۶: محدوده ریگ زرین در سال (۱۹۹۸)

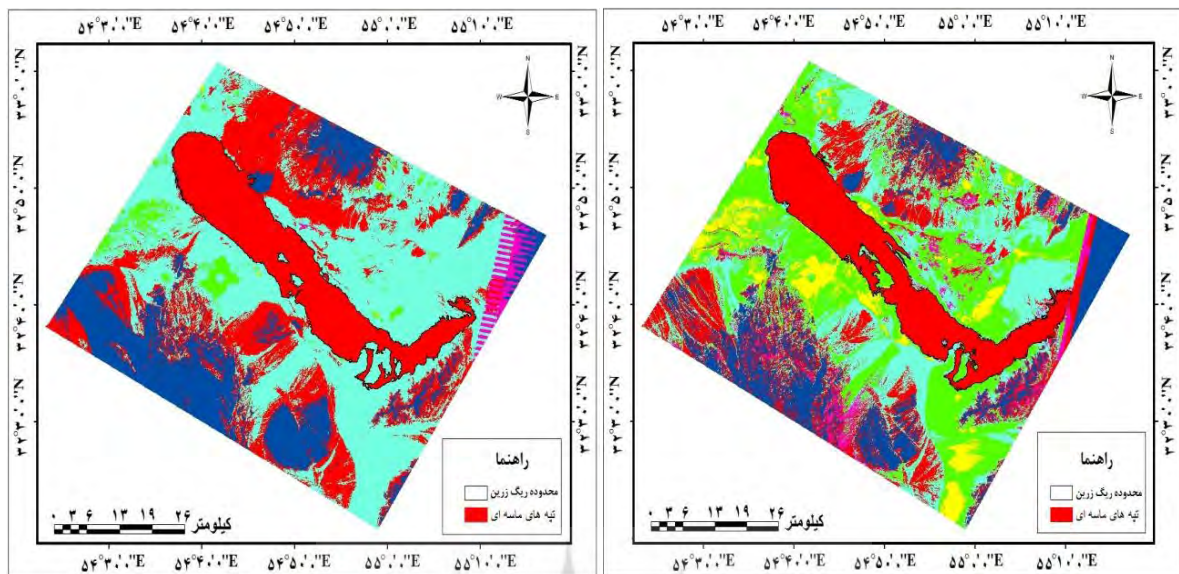
شکل ۵: محدوده ریگ زرین در سال (۱۹۹۳)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

شمال غرب و شمال شرق مانند سایر سال‌های قبل کمترین تغییرات را داشته است. در حالی که در بخش‌های میانی به وسعت ریگ افزوده شده است، در قسمت‌های جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق از وسعت آن کاسته شده است. هرچند که بخش جنوب غرب ریگ‌زرین کاهش محسوس تری داشته است. به‌طور کلی، مساحت ریگ در طول ۵ سال (از ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸) کمترین تغییر به نسبت دوره‌های قبل پیدا کرده و حدود ۱/۷۵ کیلومتر مربع افزایش مساحت پیدا کرده است (شکل ۸).

تغییرات ریگ زرین از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸

ریگ زرین در سال ۲۰۰۲ نسبت به سال‌های قبل کاهش وسعت پیدا کرده است، اما مقدار کاهش در همه بخش‌های آن به شکل یکسان رخ نداده است؛ به‌گونه‌ای که پهناي ریگ در شمال بیشتر و در بخش‌های میانی و همچنین بخش‌های جنوب غرب از وسعت آن کاسته شده است و طی ۴ سال یعنی از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ حدوداً ۱۰ کیلومتر مربع کاهش مساحت پیدا کرده است (شکل ۷). همچنین، وسعت ریگ در سال ۲۰۰۸ نیز هرچند با شیب کم، اما با افزایش مواجه بوده است. منطقه مورد مطالعه از شمال



شکل ۸: محدوده ریگ زرین در سال (۲۰۰۸)

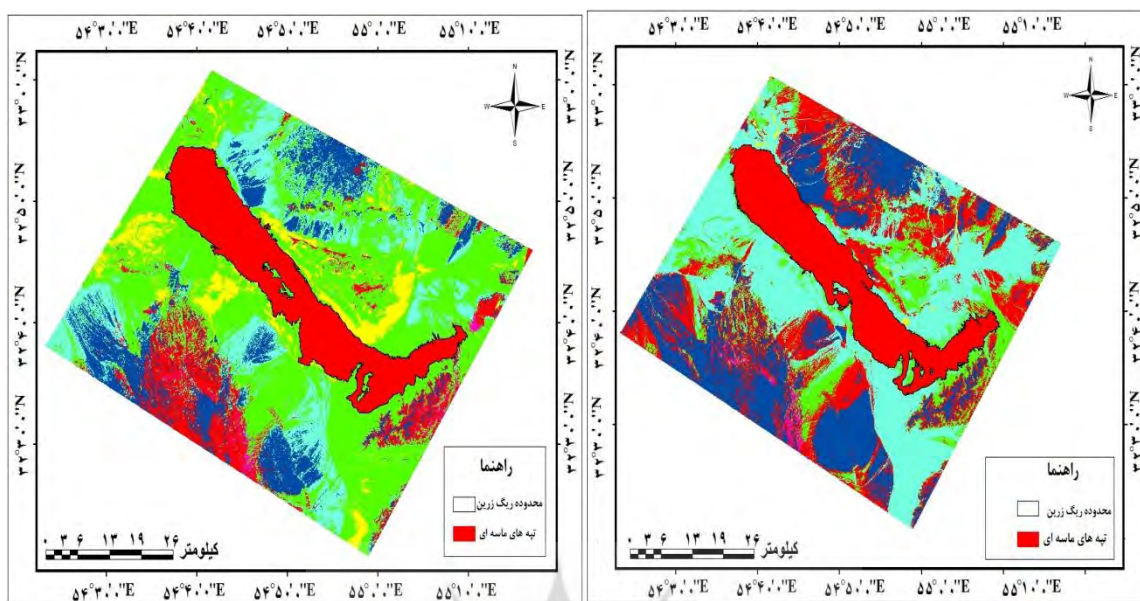
شکل ۷: محدوده ریگ زرین در سال (۲۰۰۲)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

بررسی وسعت ریگ زرین در سال ۲۰۱۷ نشان داد که تغییرات سطح آن در این دوره به نسبت همه بازه های زمانی مورد مطالعه بیشتر بوده و نسبت به گذشته ریگ سطح بیشتری را به خود اختصاص داده است. در این سال بیشترین تغییر وسعت ریگ در شمال و کمترین آن در قسمت های جنوبی رخ داده است. در بخش های میانی نیز افزایش سطح ریگ نیز قابل مشاهده است. مساحت ریگ زرین در این سال ۴۶۰/۲۴۹۲ کیلومتر مربع بوده است.

تغییرات ریگ زرین از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷

بر اساس تصویر ۲۰۱۳ مشاهده شد که مساحت ریگ در این سال در بخش شمالی نسبت به دوره قبلی افزایش داشته و در قسمت های مرکزی و جنوبی با کاهش مواجه شده است. پهنای ریگ زرین در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۲۰۰۸ در قسمت های شمالی کمتر دچار تغییر شده است، ولی در بخش جنوب غربی بر وسعت ریگ افزوده شده است؛ بر این اساس، مساحت ریگ نسبت به سال ۲۰۰۸ افزایش داشته که مقدار آن طی ۵ سال در حدود ۱۰ کیلومتر مربع بوده است (شکل ۹).



شکل ۱۰: محدوده ریگ زین در سال (۲۰۱۷)

شکل ۹: محدوده ریگ زین در سال (۲۰۱۳)

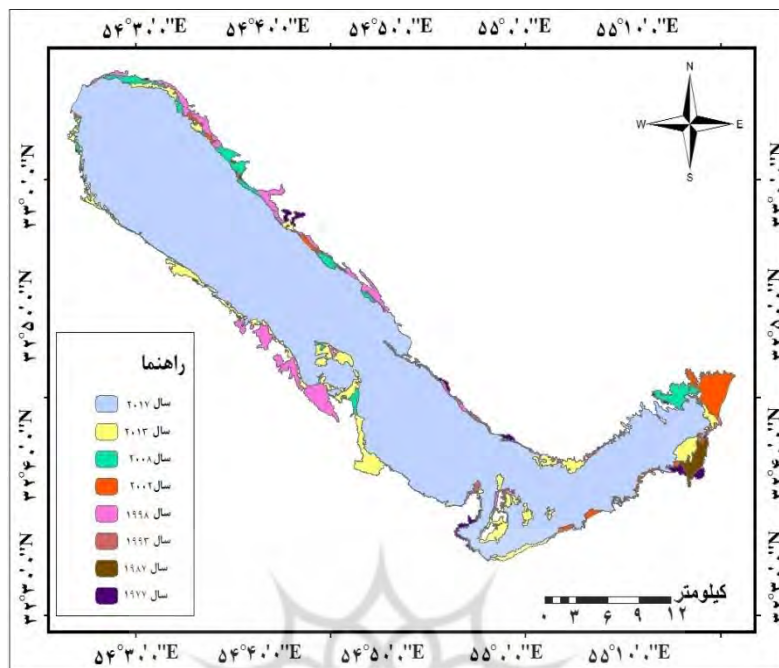
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

زین در طی دوره زمانی مطالعه، از سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۱۶، حدود ۶۰ کیلومتر مربع افزایش پیدا کرده است. همچنین، بررسی تصاویر حاکی از آن است که حرکت تپه‌های ماسه‌ای ریگ در سال‌های مختلف به طرف شرق بوده است؛ براین اساس، بیشترین تغییرات سطح ریگ در نواحی مرکزی، جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق به وقوع پیوسته است (شکل ۱۱).

بررسی تغییرات مساحت ریگ زین از سال

۱۹۷۷-۲۰۱۷

بررسی سطح زیربنای ریگ‌زین در طی دوره آماری ۴۰ سال (بررسی تصاویر طی ۴۰ سال) نشان داد که بیشترین تغییرات سطح در بخش‌های میانی و جنوب شرق ریگ زین اتفاق افتاده است و جهت حرکت کلی تپه‌ها بیشتر به سمت شرق متمایل بوده است (شکل‌های ۱۰-۴). بدین ترتیب، مساحت ریگ



شکل ۱۱: نمایش تغییرات ریگ زرين طی سال‌های ۱۹۷۷-۲۰۱۷

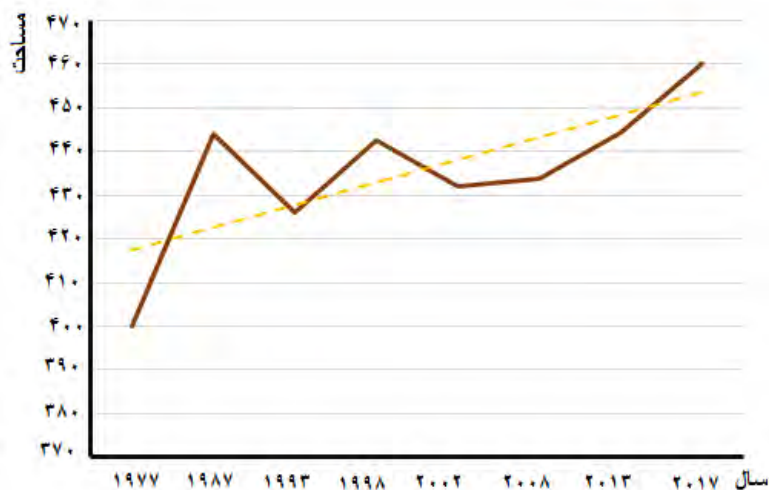
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

بدین ترتیب، بررسی سطح ریگ و مقادیر آن در طول دوره ۴۰ سال نشان داد که تغییرات زیادی در ریگ‌زین طی این دوره صورت گرفته است؛ براین اساس بیشترین مساحت ریگ در سال ۲۰۱۷ و کمترین مساحت در سال ۱۹۷۷ بوده است. طی این دوره مساحت ریگ زرين $۶۰/۱۴۴۹$ کیلومتر افزایش پیدا کرده است (شکل ۱۱).

جدول ۱: مساحت سال‌های مختلف ریگ زرين (۱۹۷۷ تا ۲۰۱۷)

مساحت (کیلومتر مربع)	سال	ردیف
۴۰۰/۱	۱۹۷۷	۱
۴۴۴/۰۲	۱۹۸۷	۲
۴۲۵/۹	۱۹۹۳	۳
۴۴۲/۳	۱۹۹۸	۴
۴۳۲/۱	۲۰۰۲	۵
۴۳۳/۸	۲۰۰۸	۶
۴۴۴/۱	۲۰۱۳	۷
۴۶۰/۲	۲۰۱۷	۸

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۱۲: نمایش تغییرات ریگ زرين (۱۹۷۷ - ۲۰۱۷) به صورت نمودار

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

کار را می‌توان به این صورت معنی کرد که پس از حذف تأثیر شانس در طبقه‌بندی مقدار تطابق با واقعیت زمینی محاسبه خواهد شد (احدنژاد، ۱۳۷۹؛ احمدپور و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۲). در جدول زیر (جدول ۲) برای سال‌های مختلف از سال ۱۹۷۷ تا ۲۰۱۷ ضریب کاپا محاسبه شده‌است.

ارزیابی صحت‌سنجی طبقه‌بندی تصاویر در بررسی سطح ریگ زرين

در پژوهش برای طبقه‌بندی تصاویر در سال‌های مختلف از الگوریتم ROI استفاده شده‌است. برای بررسی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی از ضریب کاپا استفاده شد. ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. این

جدول ۲: ارزیابی طبقه‌بندی سال‌های (۱۹۷۷-۲۰۱۷)

سال	ضریب کاپا
۱۹۷۷	۰/۹۸۷
۱۹۸۷	۰/۹۵۶
۱۹۹۳	۰/۹۱۳
۱۹۹۸	۰/۸۸۶
۲۰۰۲	۰/۹۳۵
۲۰۰۸	۰/۸۹۴
۲۰۱۳	۰/۹۱۸
۲۰۱۷	۰/۹۷۳

نتیجه

مناطق داخلی فلات ایران به دلیل عدم بارش کافی جزو قلمروی اقلیمی خشک و در برخی موارد بسیار خشک به شمار رفته و در قلمروی فرایندهای بادی قرار دارد. بادهای منطقه‌ای و محلی توأمان در رُفت و روب بادی، انتقال ذرات ریزدانه و برجای‌گذاری آن‌ها نقش دارند. بادهای منطقه‌ای ایران مرکزی عمدتاً غربی و شمال غربی هستند، اما بادهای محلی تحت‌تأثیر ارتفاعات پیرامونی در فصول مختلف و حتی ساعات مختلف روز تغییر می‌کنند. به‌علاوه، نبود رطوبت کافی سبب فقدان یا دست‌کم فقر پوشش گیاهی شده و بارش‌های رگباری به‌سادگی حجم زیادی از مواد رسوبی تخریب‌شده ارتفاعات را به پایین دست انتقال داده و مخروط‌های افکنه بزرگ و کوچکی برحسب ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌های بالادست را به‌وجود آورده‌است.

بادهای به‌سادگی مواد ریزدانه مخروط‌ها، به‌ویژه قاعده آن‌ها را برحسب شدت باد و توپوگرافی قلمرو بادی جابه‌جا و انتقال می‌دهد. بدین شکل تپه‌های ماسه‌ای متعددی در بسیاری پهنه‌های ایران مرکزی به‌وجود آمده‌اند که ریگزار نامیده می‌شوند. وجود همیشگی بادهای منطقه‌ای و محلی از یک‌سو و افزایش سطح مخروط‌افکنه‌ها به شکل سالانه سبب تغییر و توسعه ریگزارهای این منطقه از ایران می‌شود. در واقع، تحت‌شرایط فوق‌همه ریگزارهای داخلی فلات ایران همواره در حال تغییر، توسعه و جابه‌جایی از نظر سطح زیربنا هستند و به شکل کلی در صورت فراهم‌بودن شرایط توپوگرافی محلی هر سال بر وسعت آن‌ها افزوده می‌شود. مطالعه توسعه سطح این ریگزارها به دلیل اثراتی که بر منابع آب و خاک از

یک‌سو و زیرساخت‌های انسانی از قبیل جاده‌ها و تأسیسات و ساختمان‌ها و... از دیگر سو دارند، حائز اهمیت است؛ از این‌رو در این مطالعه به بررسی سطح زیربنای ریگ زرین در ایران مرکزی و در شمال‌غرب شهر یزد پرداخته شده‌است. این ریگزار در داخل یک چاله گسلی و در داخل کویر زرین قرار گرفته است و هر چهار سوی آن را کوه‌های نسبتاً مرتفعی احاطه کرده است؛ بنابراین، جدای از آنکه بادهای منطقه‌ای عمدتاً با جهت شمال‌غرب در بیشتر ایام سال این منطقه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند، به دلیل تفاوت ارتفاعی زیاد این چاله با کوه‌های پیرامون خود، در بیشتر ایام سال و به‌ویژه در تابستان به شکل مرکز کم‌فشار در آمده و در معرض بادهای محلی نیز قرار می‌گیرد. همچنین، اختلاف ارتفاع زیاد در هر چهار طرف کویر و لخت‌بودن کوه‌ها سبب شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌های متعدد و بزرگی در همه بخش‌های حاشیه ریگ شده‌است. بدین ترتیب، وجود مواد رسوبی فراوان و بادهای همیشگی منطقه‌ای و محلی سبب شکل‌گیری ریگ‌زرین و توسعه سالانه آن شده‌است. با این وجود، مقدار توسعه و تغییر ریگ تحت‌تأثیر دو عامل مهم دیگر شامل توپوگرافی و میزان خشکی نیز قرار دارد. از یک سو توپوگرافی محل امکان توسعه زیاد آن را نمی‌دهد و از سوی دیگر در سال‌های خشک ریگ توسعه بسیار بیشتری نسبت به سال‌های مرطوب پیدا می‌کند. همچنین، مطالعه ریگ زرین یک نتیجه متفاوت و قابل‌تأملی را نشان داد و آن جهت حرکت ماسه‌های ریگ در سال‌های متوالی و نوسان سطح آن به شکل افزایشی و کاهش‌ی است. به‌گونه‌ای که جهت حرکت ریگزار یکسان و واحد نبوده و در هر چند سال یکبار به‌منظور توسعه تغییر پیدا

منابع

- کرده است. نتایج حاصل از تفسیر نقشه‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی طی سال‌های ۱۹۷۷ (۱۳۵۶) تا ۲۰۱۷ (۱۳۹۶) در یک دوره ۴۰ ساله میزان جابه‌جایی مکانی- زمانی تپه‌های ماسه‌ای را طی این مدت را نشان می‌دهد. برپایه این تصاویر، روند سطح زیربنای ریگ افزایشی بوده و طی این مدت حدود ۶۰ کیلومتر مربع بیشتر شده است و این امر پژوهش‌های قبلی را تأیید می‌کند. با این وجود طی دو بازه زمانی، یعنی از ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۳ و همچنین از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ سطح ریگ زرین کاهش پیدا کرده است. به علاوه، گرادیان افزایش سطح ریگ نیز یکسان نبوده و در برخی بازه‌های زمانی میزان افزایش بسیار چشمگیرتر بوده است، اما در پاره‌ای از اوقات مانند سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ مقدار افزایش مساحت ریگ کمتر از ۲ کیلومتر مربع بوده، اما از ۱۹۷۷ تا ۱۹۸۷ مساحت ریگ بیش از ۴۰ کیلومتر مربع بیشتر شده است. شکل (۱۱) فراز و فرودهای تغییرات و شکست‌های طبیعی شیب تغییرات را به خوبی نشان می‌دهد. این فراز و فرودها در ارتباط با افزایش یا کاهش رطوبت بوده است. در سال‌های مرطوب امکان توسعه وجود نداشته و ریگزار فشرده‌تر شده؛ بنابراین سطح آن با کاهش مواجه شده است، اما در خشکسالی‌ها، به‌ویژه در ۱۰ سال اخیر میزان توسعه سطح ریگ زرین بیسار چشمگیر بوده است. این مسئله با نتایج برخی مطالعات هم‌خوانی دارد.
- احدنژاد، محسن (۱۳۷۹). ارزیابی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌های چندگانه و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم انسانی. دانشگاه تربیت مدرس.
- احمدپور، امیر؛ کریم سلیمانی؛ مریم شکری؛ جمشید قربانی پاشاکلاپی (۱۳۹۰). مقایسه میزان کارایی سه روش رایج طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های ماهواره‌ای در مطالعه پوشش گیاهی، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. دوره ۲. شماره ۲. صفحات ۸۱-۶۹.
- امیدوار، کمال (۱۳۸۵). مخاطرات طبیعی، چاپ اول. انتشارات دانشگاه یزد.
- نگارش، حسین؛ لیلا لطیفی (۱۳۸۸). بررسی خسارت‌های ناشی از حرکت ماسه‌های روان در شرق زابل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. دوره ۴۱. شماره ۶۷. صفحات ۸۷-۷۳.
- میری، زینب (۱۳۹۶). بررسی شکل‌گیری و توسعه ریگ زرین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی دکتر محمد شریفی‌پیچون. دانشگاه یزد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. ۱۵۶ صفحه
- رامشت، محمدحسین؛ عبدالله سیف؛ شبنم محمودی (۱۳۹۱). بررسی میزان گسترش تپه‌های ماسه‌اس شرق جاسک در بازه زمانی (۱۳۸۳-۱۳۶۹)، با استفاده از GIS و RS. جغرافیا و توسعه. شماره ۳۱. صفحات ۱۳۶-۱۲۱.
- Anderson, R.S., Haff, P.K (1988). Simulation of aeolian saltation. Science 241, 820- 823.
- Bagnold, R.A. (1941). The physics of blown sand and desert dunes. Chapman and Hall, London, PP.104-106.

- 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.
- Mayaud, J. R., Bailey, R. M.; Wiggs, G. F. ; Weaver, C. M (2017). Modelling aeolian sand transport using a dynamic mass balancing approach, *Geomorphology* 280, 108-121
- Marin, L.; Foeman, S. I.; Valdez, A.; Bunch, F. 2005. Twentieth century dune migration at the Great Sand Dunes National Park and Preserve, Colorado, relation to drought variability, *Geomorphology*, Vol 70, Issues 1-2, PP. 163-183
- Rubin, D.; Tsoar, H.; Blumberg, D (2008). A second look at western Sinai seif dunes and their lateral migration, *Geomorphology*, Volume 93, Issues 3-4, PP. 335-342.
- Shao Y (2008). Sand Dunes, Dynamics and Modelling, *Physics and Modelling of Wind Erosion.*, Vol 37, PP.361-390.
- Tsoar, H (2001). Types of Aeolian Sand Dunes and Their Formation, *Geomorphological Fluid Mechanics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, PP.403-429.
- Tsoar, H (2005). Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physical Journals*, 357:50- 56.
- White, B. R.; Tsoar, H (1998). Slope effect on saltation over a climbing sand dune, *Geomorphology*, Volume 22, Issue 2, PP.159-180.
- Wiggs, G.F.S.; Atherton, R.J.; Baird, A.J. (2004). Thresholds of aeolian sand transport: establishing suitable values. *Sedimentology*, 51: 95-108.
- Yang, Y.; Qu, Z.; Shi, P.; Liu, L.; Zhang, G.; Tang, Y; & Shen, L (2014). Wind regime and sand transport in the corridor between the Badain Jaran and Tengger deserts, central Alxa Plateau, China. *Aeolian Research*, 12: 143-156.
- Yizhaq, h.; Ashkenazy, Y.; Tsoar, H (2009). Sand dune dynamics and climate change: A modeling approach, *Journal of geophysical research*, <https://doi.org/10.1029/2008 JF001138>.
- Zhang, W.; Qu, J.; Tang, L.; Jing, Z.; Bian, K.; Niu, Q (2016). Environmental dynamics of a star dune, *Geomorphology*, Volume 273,15, PP.28-38.
- Buckley, R. C (1987). The effect of sparse vegetation on the transport of dune sand by wind. *Nature*, 325: 426- 428.
- Gillette, D.A.; Niemeyer, T.C.; Helm, P. J (2001). Supply-limited horizontal sand drift at an ephemerally crusted, unvegetated saline playa. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, Volume, 106, PP. 18085-18098.
- Hamdan, M.A.; Refaat, A.A.; Abdel Wahed, M (2016). Morphologic characteristics and migration rate assessment of Barchanss dunes in the Southeastern Western Desert of Egypt. *Geomorphology*, 257; 57-74.
- Hermas, E.; Leprince, S; 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*, volume 121, PP. 51-60.
- Hesp, P.; Davidson-Arnott, R.; Walker, I.; Ollerhead, J (2005). Flow dynamics over a foredune at Prince Edward Island Canada. *Geomorphology*, 65: 71-84.
- Iversen, J.D.; Rasmussen, K.R (1994). Effect of slope on saltation threshold. *Sedimentology*, 41: 721- 728.
- Jackson, N.L.; Nordstrom, K.F (1998). Aeolian transport of sediment on a beach during and after rainfall, Wildwood, NJ, USA. *Geomorphology*, 22: 151-157.
- Jamali, A. A.; Zerekia, S. ; Randhir, T (2018). Risk assessment of sand dune disaster in relation to geomorphic properties and vulnerability in the Saduq-Yazd Erg, *Applied Ecology and Environmental Research* 16(1): 579-590, DOI: 10.15666/aeer/1601_579590
- Jiang, H.; Dun, H.; Tong, D.; Huang, N (2017). Sand transportation and reverse patterns over leeward face of sand dune, *Geomorphology*, Volume 283, 15, PP. 41-47.
- Kuriyama, Y.; Mochizuki, N.; Nalashima, T. (2005). Influence of vegetation on Aeolian sand transport rate from a backshore to a foreshore at Hasaki, Japan. *Sedimentology*, 52: 1123-1132.
- Lancaster, N (1985). Winds and sand movements in the Namib sand sea. *Earth Surf. Proc. Land*, 10: 607-619.
- Leys J .F, Eldridge D .J (1991). Influence of cryptogamic crust disturbance to wind erosion on sand and loam rangeland soils. *Earth Surface Processes Landforms* 23:963-974.