

آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی از ماسه‌های روان بستر خشک تالاب بین‌المللی هامون در شهرستان هیرمند

صادق اصغری لقمجانی^۱، استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه زابل.

مهدی نادریان فر، دانشجوی کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه زابل.

دریافت مقاله: ۹۳/۷/۱۸ پذیرش نهایی: ۹۴/۱/۲۰

چکیده:

هجوم ماسه‌های روان و آثار تخریبی آن بالای طبیعی است و خطر عمده‌ای در زندگی بشر محسوب می‌شود. متأسفانه، با شروع خشک‌سالی و با خشک‌شدن تالاب بین‌المللی هامون در منطقه‌ی سیستان، شکل‌گیری ماسه‌های روان و هجوم آن‌ها به سکونتگاه‌های روستایی همراه با بادهای ۱۲۰ روزه حاکم بر منطقه آغاز می‌شود که بروز این پدیده مسائل متعددی را در زندگی روستاییان شهرستان هیرمند به وجود می‌آورد. براین‌اساس، شناسایی و تحلیل آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطرات ناشی از هجوم ماسه‌های روان در سطح روستاهای این شهرستان برای مقابله با آن اهمیت فراوانی دارد. روش تحقیق حاضر توصیفی - تحلیلی و مبتنی بر بررسی منابع اسنادی، بررسی‌های میدانی و تکمیل پرسشنامه‌های روستا و خانوار است. در اجرای تحقیق، ابتدا ضمن مصاحبه با کارشناسان بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، دهیاران، اعضای شوراهای و خبرگان محلی، از بین ۳۰۳ روستای واقع در شهرستان هیرمند (جامعه‌ی آماری تحقیق)، ۵۶ روستای دارای مشکل ماسه‌های روان شناسایی گردید. در جمع‌آوری داده‌ها، متناسب با گستره‌ی جغرافیایی محدوده‌ی مطالعه و شرایط حاکم بر روستاهای این شهرستان به طیف گسترده‌ای از شاخص‌ها برای بررسی شدت آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی از ماسه‌های روان حاصل از فرسایش بادی توجه شد. همچنین، در تجزیه و تحلیل اطلاعات، مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، تحلیل‌های آماری و تحلیل‌های فضایی (برای مقایسه‌ی توانمندی اطلاعات مکانی و داده‌های توصیفی روستاها) و نرم‌افزارهای Expert Choice، SPSS و ArcGIS استفاده گردید. براساس یافته‌های پژوهش، سطح آسیب‌پذیری روستاهای مورد مطالعه در ۳۰/۳۸ درصد از روستاها شدید یا بسیار شدید است که بخش عمده آن‌ها در قسمت‌های شمالی محدوده‌ی مطالعه و در دهستان‌های مجاور تالاب خشک هامون واقع شده‌اند. از طرف دیگر، نتایج تحقیق مؤید آن است که آثار تخریبی ماسه‌های روان در اراضی کشاورزی و شبکه‌های آبرسانی بیشتر از سایر بخش‌هاست.

واژگان کلیدی: تالاب هامون، ماسه‌های روان، سکونتگاه‌های روستایی، شهرستان هیرمند.

مقدمه

هر سال، در سراسر جهان، مخاطرات طبیعی با شدت فراوانی رخ می‌دهند و در مواردی آسیب‌های جبران‌ناپذیری را برجای می‌گذارند (Dyke et al., ۲۰۱۱). ایران نیز جز ده کشور اول دنیا به لحاظ وقوع مخاطرات طبیعی است که از کل ۳۵ مخاطره‌ی طبیعی تاکنون ۳۰ مخاطره در آن اتفاق افتاده است (نگارش و لطیفی، ۱۳۸۸). در این زمینه، ماسه‌های روان (یکی از انواع مخاطرات طبیعی) تغییراتی را در اوضاع زیست‌محیطی به وجود می‌آورد که سبب گسسته شدن روند زندگی مردم می‌شود. این مخاطرات تأثیرات مخربی را در سکونتگاه‌های انسانی باقی می‌گذارند و خسارت‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی گسترده‌ای بر جوامع تحمیل می‌کنند (رکن‌الدین‌افتخاری و همکاران، ۱۳۸۸). علاوه بر این، توده ماسه سبب دفن زمین‌های زراعی و مناطق مسکونی، آلودگی هوا، تخریب خاک سطحی، آسیب به حیوانات و دیگر خسارت‌های فراوان می‌شود. این امر فرایندهای بیابان‌زایی را تسریع می‌کنند و سبب خرابی‌های عظیم می‌گردند (راشکی و همکاران، ۱۳۸۹). بر این اساس، ماسه‌های روان جزو یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی است و حرکت و هجوم ماسه‌ها از عوامل تهدیدکننده‌ی جوامع انسانی به‌شمار می‌آید. در برنامه‌ریزی‌های روستایی، توجه به عرصه‌هایی که در معرض ماسه‌های روان قرار گرفته‌اند دارای اهمیت فراوان است. گفتنی است که حدود ۱۲-۱۵ میلیون هکتار از اراضی ایران (از ۲۴ میلیون هکتار اراضی تحت فرسایش بادی) در سیطره‌ی ماسه‌ها قرار دارد (شرکت مهندسين مشاور و احیای کشاورزی تاک سبز، ۱۳۸۱) که شش میلیون هکتار آن دارای تپه‌های ماسه‌ای فعال است (رفاهی، ۱۳۸۳). در این باره، مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که ۱۴ استان ایران تحت تأثیر فرسایش بادی است که، در این میان، استان سیستان و بلوچستان (با ۲۲۹۱۷۴ هکتار) بالاترین رتبه را دارد (ایرانمنش و همکاران، ۱۳۸۴). هم‌اکنون بالغ بر پنج میلیون هکتار بیابان و نزدیک به یک میلیون هکتار تپه‌ی ماسه‌ای در این استان وجود دارد که شرایط زندگی را در برخی از شهرستان‌ها به حالت بحرانی درآورده و زیست‌ساکنان این مناطق را با تهدیدی جدی مواجه کرده است (رنجبر و همکاران، ۱۳۸۴).

شهرستان هیرمند در شمال این استان نیز از جمله مناطق تحت هجوم ماسه‌های روان است. مهم‌ترین عوامل ایجاد چنین پدیده‌ای در سطح منطقه تغییرات اقلیمی، وابستگی منطقه به آب رودخانه‌ی هیرمند، دارابودن خاک آبرفتی با لایه‌های متناوب ماسه و رس، وزش بادهای ۱۲۰ روزه، پایین بودن ریزش‌های جوی، دما و تبخیر بالا، فقر پوشش گیاهی، بروز خشک‌سالی‌های اخیر و فعالیت‌های نامناسب انسانی (چرا دادن بیش از حد مراتع، کندن شدن بوته‌ها، قطع درختان گز و تاغ و رفت‌وآمد وسایل نقلیه در بستر تالاب هامون) است که منطقه را به صورت عرصه‌ای مناسب برای حرکت ماسه‌های روان درآورده است (رنجبر و همکاران، ۱۳۸۴؛ نگارش و لطیفی، ۱۳۸۸). با توجه به آثار ماسه‌های روان در سکونتگاه‌های روستایی شهرستان هیرمند، کنترل، مدیریت و کاهش آسیب‌ها، شناسایی روستاهای آسیب‌پذیر و تحلیل آسیب‌های ناشی از هجوم ماسه‌های روان ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. به‌هر حال، در دهه‌های اخیر بحث آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی در برابر بلایای طبیعی در نتیجه‌ی تمرکز جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی در نواحی وسیع و متراکم و وضعیت نابسامان و بی‌قاعده‌ی سکونتگاه‌های ساکنان کم‌درآمد در نواحی شهری و روستایی مداوم افزایش یافته است (زنگی‌آبادی و اسماعیلیان، ۱۳۹۱).

الحارثی (Al-Harthi, ۲۰۰۲) در تحقیقی با عنوان ارزیابی خطرهای تپه‌های ماسه‌ای بین جده و الیته در غرب عربستان سعودی، پس از بررسی جهت حرکت تپه‌های ماسه‌ای و بررسی مورفولوژی آن‌ها در منطقه، مخاطرات ناشی از این تپه‌های ماسه‌ای را بر روستاهای منطقه مطالعه کرد. ژائو و همکاران (Zhao et al., ۲۰۰۶) به بررسی آثار

ماسه‌های روان بر خاک‌های اراضی کشاورزی هورگین مغولستان پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که فرسایش بادی و ماسه‌های روان در طولانی مدت سبب نابرابری خاک می‌شود. هیوجن هولتز و همکاران (Hugenholtz et al., ۲۰۱۰) به بررسی پیامدهای زیست‌محیطی تثبیت تپه‌های ماسه‌های روان در دشت‌های جنوب کانادا پرداختند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که روند فعلی تثبیت ماسه‌های روان سبب کاهش فرسایش بادی می‌شود. همچنین، اقدام‌های صورت گرفته به صورت غیرمستقیم منجر به ادامه‌ی حیات و تنوع زیستی جانوران و گیاهان شده است. قدیری و همکاران (Ghadiry et al., ۲۰۱۲) نیز میزان حرکت ماسه‌های روان را در بیابان‌های غربی مصر ارزیابی کردند. نتیجه‌ی پژوهش صورت گرفته نشان‌دهنده‌ی آن است که ماسه‌های روان در فاصله‌ی زمانی بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷ بین ۳ تا ۹ متر جابه‌جا شده‌اند و این جابه‌جایی در آینده متوجه سکونتگاه‌های روستایی خواهد بود. رافت و همکاران (Raafat et al., ۲۰۱۳)، به تدوین برنامه‌هایی برای کاهش آسیب‌های ناشی از هجوم ماسه‌های روان در کویت پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که، برای مدیریت اراضی خشک و کاهش آسیب‌های وارده بر اثر حرکت ماسه‌های روان، اجرای برنامه‌هایی نظیر مدیریت خطرهای خشک‌سالی و کاهش خشک‌سالی هیدرولوژیکی، مدیریت جابه‌جایی و کاهش خطرهای ماسه‌های روان الزامی است. امیراحمدی و همکاران (۲۰۱۴) نیز تغییرات و جابه‌جایی‌های تپه‌های ماسه‌ای جنوب غرب سبزوار را مطالعه کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تپه‌های ماسه‌ای در طول هفت سال بین ۱۲ تا ۶۲ متر به سمت غرب و جنوب غرب در حال جابه‌جایی است. از طرف دیگر، نتایج پژوهش غریب و معتمد (۱۳۸۲)، درباره‌ی تپه‌های ماسه‌ای استان سیستان و بلوچستان نشان‌دهنده‌ی آن است که فرسایش و حرکت تپه‌های ماسه‌ای مشکلات فراوانی را برای ساکنان این منطقه ایجاد کرده است. همچنین، فاضل‌نیا و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی انطباق الگوی بومی توسعه کالبدی - فیزیکی روستای تمبکای شهرستان زابل با جهت حرکت طوفان‌های شن و ماسه پرداختند. نتایج این پژوهش بیانگر این است که وضعیت کالبدی روستای تمبکا هم‌سازی و تطبیق مناسبی برای کاهش آسیب‌شن و ماسه‌های روان دارد. نتیجه‌ی پژوهش صبوری و صیدایی (۱۳۹۱) درباره‌ی آسیب‌پذیری روستاهای ساحلی دریای عمان در برابر حرکت ماسه‌های روان نیز نشان می‌دهد که ۱۷ روستا در محدوده‌ی مطالعه در طبقه‌ی سکونتگاه‌های با آسیب‌پذیری زیاد و ۱۶ روستا در طبقه‌ی سکونتگاه‌های با آسیب‌پذیری متوسط و ۲۲ روستا در طبقه‌ی سکونتگاه‌های با آسیب‌پذیری کم قرار دارند. همچنین، مقصودی و همکاران (۱۳۹۱) به تحلیل مخاطرات ناشی از ماسه‌های روان بر سکونتگاه‌های غرب دشت لوت (مطالعه‌ی موردی: روستای حجت آباد در شرق شهداد) پرداختند.

با توجه به پیشینه‌ی تحقیق، بیشتر تحقیق‌های انجام‌شده درباره‌ی ماسه‌های روان مربوط به حوزه‌های مطالعاتی دیگر (مثل آبخیزداری، بیابان‌زدایی و خاک‌شناسی) است و کمتر به آسیب‌های ناشی از ماسه‌های روان بر سکونتگاه‌های روستایی پرداخته‌اند. از این رو، پژوهش حاضر در چارچوب نگرش سیستمی، ضمن تحلیل آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان هیرمند در برابر هجوم ماسه‌های روان، در پی پاسخ به سؤال‌های اساسی زیر است:

الف) روستاهای شهرستان هیرمند از نظر شدت آسیب‌پذیری در برابر هجوم ماسه‌های روان چه اختلافی با یکدیگر دارند؟

ب) تأثیرگذاری ماسه‌های روان در روستاهای محدوده‌ی مطالعه در چه ابعادی شدیدتر است؟

داده‌ها و روش کار

شهرستان هیرمند در شمال شرق استان سیستان و بلوچستان و از شهرستان‌های واقع در منطقه‌ی سیستان است. محدوده‌ی مطالعه از شرق و شمال با کشور افغانستان و از جنوب و غرب به ترتیب با شهرستان‌های زهک و زابل هم‌جوار است. این شهرستان دارای ۲ بخش، ۵ دهستان و ۳۰۳ آبادی است که بر طبق سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، حدود ۱۴۸۵۷ خانوار و ۶۵۴۷۱ نفر جمعیت (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰) و وسعتی معادل ۱۱۰۰ کیلومتر مربع (استاندارداری سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۰: ۴۸) را شامل می‌گردد.

روش تحقیق حاضر توصیفی - تحلیلی و مبتنی بر بررسی منابع اسنادی، بررسی‌های میدانی و تکمیل پرسش‌نامه‌های روستا و خانوار است. جامعه‌ی آماری تحقیق کل روستاهای شهرستان هیرمند است. در اجرای تحقیق، ابتدا ضمن مصاحبه با کارشناسان بنیاد مسکن انقلاب اسلامی و مصاحبه با دهیاران، اعضای شوراهای و خبرگان محلی، روستاهای دارای مشکل ماسه‌های روان شناسایی گردید. همچنین، براساس نتایج حاصل از بررسی منابع اسنادی و متناسب با گستره‌ی جغرافیایی محدوده‌ی مطالعه و شرایط حاکم بر روستاهای این شهرستان، مجموعه‌ای از مؤلفه‌ها و شاخص‌ها در دو سطح تأثیرگذار و تأثیرپذیر برای بررسی شدت آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی از ماسه‌های روان (حاصل از فرسایش بادی) تعیین گردید (جداول ۱ و ۲).

در پژوهش حاضر، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به دلیل استفاده‌ی هم‌زمان از داده‌های کمی و کیفی و انعطاف‌پذیری و دقت آن استفاده شد. بنابراین، به کمک روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) با به کارگیری مجموعه‌ای از ۵۴ شاخص، وزن‌دهی به هر کدام در سطوح گوناگون و ترکیب آن‌ها به شناسایی سکونتگاه‌های آسیب‌پذیر و طبقه‌بندی آن‌ها اقدام گردید. در این زمینه، برای تعیین اهمیت نسبی شاخص‌های مؤثر در سطح تأثیرگذاری ماسه‌های روان، از مقایسه‌ی دوبه‌دوی عوامل استفاده شد. در این مطالعه، گروه‌های تصمیم‌ساز شامل ۱۲ نفر از نخبگان (اساتید دانشگاه)، کارشناسان یا مدیران توسعه‌ی روستایی و کشاورزی بودند. براین اساس، ضمن مقایسه‌ی دوبه‌دوی عوامل مؤثر در سطح تأثیرگذاری ماسه‌های روان (براساس آرای دریافتی از نخبگان، کارشناسان یا مدیران)، اهمیت نسبی عوامل مطرح در سطح تأثیرگذاری ماسه‌های روان تعیین گردید. برای تعیین شدت آسیب‌پذیری ناشی از هجوم ماسه‌های روان در سطح روستاها، براساس مدل استفاده‌شده، مراحل گوناگونی شامل تشکیل ماتریس ارزیابی، تعیین وزن شاخص‌های مرتبط (در محیط Expert Choice) و استاندارد کردن داده‌ها (در محیط ArcGIS) صورت گرفت. برای تبدیل داده‌های خام به نمره‌های استاندارد شده، از فرمول‌های زیر استفاده شده است:

$$Y_{ij} = (X_{ij} - X_j^{\min}) / (X_j^{\max} - X_j^{\min}) \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

$$Y_{ij} = (X_j^{\max} - X_{ij}) / (X_j^{\max} - X_j^{\min}) \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

برای جمع‌بندی داده‌ها نیز از روش ترکیب وزنی^۱ استفاده شد که رابطه‌ی استفاده‌شده در این روش به صورت زیر است:

$$Z_i = \sum_j W_j X_{ij}$$

؛ $(i = 1, 2, 3, \dots, m)$ Z_i = شدت آسیب‌پذیری ارزیابی شده برای روستای i

۱. Additive Weighting Method

W_j = وزن شاخص j ؛

X_{ij} = نمره‌ی استاندارد شده شاخص j در روستای i .

پس از تعیین شدت آسیب‌پذیری ناشی از هجوم ماسه‌ها در محیط ArcGIS، روستاهای بررسی شده برحسب مقادیر محاسبه شده به گروه‌های گوناگونی تفکیک شدند و نقشه‌ی پراکنش روستاها به تفکیک شدت آسیب‌پذیری تهیه گردیدند.

جدول ۱: مؤلفه‌ها و شاخص‌های محیطی توجه‌شده در بررسی سطح تأثیرگذاری ماسه‌های روان

مؤلفه‌ها	شاخص‌ها
ژئومورفولوژی	وجود ماسه‌های روان در سطح روستا، نوع تپه‌های ماسه‌ای موجود، ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای، حجم تپه‌های ماسه‌ای، شیب تپه‌های ماسه‌ای، جهت تپه‌های ماسه‌ای، تراکم تپه‌های ماسه‌ای
آب و هوا	میزان بارش، میزان خشکی هوا، سرعت باد، جهت باد، فراوانی روزهای توأم با گردوغبار ناشی از ماسه‌ها، تأثیر باد بر فرسایش خاک و حرکت ماسه‌های روان.
منابع آب	وجود آب سطحی (رودخانه‌ها)، وجود آب زیرسطحی (چاهک‌ها)، کیفیت آب‌های زیرسطحی
پوشش گیاهی	میزان سبزی‌نگی اراضی روستا، تراکم پوشش درختی در سطح روستا، میزان سبزی‌نگی اراضی مرتبط به روستا

جدول ۲: مؤلفه‌ها و شاخص‌های کالبدی فضایی توجه‌شده در بررسی سطح تأثیرپذیری از ماسه‌های روان

مؤلفه‌ها	شاخص‌ها
کاربری فعلی اراضی	میزان اراضی زراعی خانوار، درصد اراضی زراعی زیر پوشش ماسه‌های روان، میزان اراضی باغی خانوار، میزان اراضی باغی زیر پوشش ماسه‌های روان، میزان اراضی بایر، میزان اراضی رهاشده بر اثر ماسه‌ها، میزان گسترش اراضی استفاده‌نشده در ده سال گذشته، میزان خسارات (به تفکیک نوع اراضی)
مساکن روستا	فراوانی مساکن آسیب‌دیده از ماسه‌ها، میزان خسارت به مساکن، میزان خسارت مالی بر کارکرد معیشتی مسکن (جایگاه پخت نان، دام و...)، میزان خسارات بناهای مربوط به نگهداری دام، میزان خسارت به بناهای مربوط به نگهداری محصولات کشاورزی، هزینه‌ی تخلیه‌ی ماسه‌ها، فراوانی مساکن رهاشده
تأسیسات زیربنایی و رفاهی	میزان خسارت به تأسیسات برق روستا، میزان خسارت به مخابرات روستا، میزان آسیب به واحدهای تجاری روستا (مغازه‌ها و...)، تأثیر بر شبکه‌های زهکشی روستا، تأثیر بر واحدهای آموزشی، تأثیر بر خانه بهداشت یا درمانگاه
شبکه معابر و راه‌های ارتباطی	سابقه‌ی مسدودشدن معابر، سابقه مسدودشدن جاده‌های مرتبط به روستا، ایجاد مشکل در تردد وسایل نقلیه، ایجاد مشکل در رفت‌وآمد مردم در سطح معابر، میزان هزینه برای نگهداری جاده‌ها و معابر، میزان خسارت به تابلوها و علائم رانندگی، میزان هزینه‌های پاک‌سازی معابر روستا، میزان هزینه‌های پاک‌سازی جاده‌های مرتبط به روستا
منابع آب و شبکه‌های آبرسانی	تأثیر ماسه‌ها بر نهرها و کانال‌های آبرسانی، هزینه‌های لای‌روبی انهار و کانال‌ها، تأثیر ماسه‌ها در دفن چاهک‌ها، تأثیر ماسه‌ها بر میزان دسترسی به منابع آب سطحی

شرح و تفسیر نتایج

الف) سطح آسیب‌پذیری روستاها و چگونگی توزیع فضایی آن‌ها

براساس یافته‌های پژوهش، از کل روستاهای دارای مشکل ماسه‌های روان، ۵۵/۳۵ درصد آن‌ها در سطح آسیب‌پذیری کم یا خیلی کم و ۳۰/۳۸ درصد آن‌ها نیز در سطح آسیب‌پذیری شدید یا بسیار شدید هستند (جدول ۳).

جدول ۳. فراوانی روستاها به تفکیک سطح آسیب پذیری آنها از ماسه های روان.

طبقات	سطح آسیب پذیری	تعداد روستاها	درصد
طبقه ی اول	خیلی کم	۱۴	۲۵
طبقه ی دوم	کم	۱۷	۳۰/۳۵
طبقه ی سوم	متوسط	۸	۱۴/۲۷
طبقه ی چهارم	شدید	۶	۱۰/۷۴
طبقه ی پنجم	بسیار شدید	۱۱	۱۹/۶۴

بررسی چگونگی پراکنش روستاهای مطالعه شده برحسب شدت آسیب پذیری ناشی از هجوم ماسه های روان نشان می دهد روستاهای دارای آسیب پذیری خیلی کم تا کم عمدتاً در قسمت های مرکزی و غرب محدوده ی مطالعه پراکنده اند. این گروه از روستاها عمدتاً به دلیل وجود منابع آب، وجود درخت گز (که نهادهای دولتی در مسیرهای حرکت ماسه های روان کاشته اند) و دوری از بستر خشک تالاب هامون شدت آسیب پذیری کمی دارند. از طرف دیگر، روستاهای دارای آسیب پذیری شدید و خیلی شدید نیز عمدتاً در قسمت های شمالی محدوده ی مطالعه و مجاور تالاب هامون واقع شده اند (شکل ۱).

در این گروه از روستاها، عوامل محیطی نظیر متوقف شدن جریان آب ورودی به تالاب هامون، وزش بادهای ۱۲۰ روزه، فعالیت ژئومورفولوژیکی گسترده ماسه های روان و کاهش شدید تراکم پوشش گیاهی و درختی در اطراف و سطح روستاها به علت خشک سالی نقش اساسی در سطح آسیب پذیری سکونتگاه های روستایی دارند. علاوه بر موارد مذکور، منطبق نبودن بافت کالبدی فیزیکی روستاها با جهت حرکت ماسه های روان سبب انباشته شدن ماسه ها در سطح روستاها می گردد که این عامل نیز در شدت آسیب پذیری بسیاری از سکونتگاه های روستایی تأثیرگذار است. در این گروه از روستاها، تخریب مساکن و مسدود شدن راه های ارتباطی و مواصلاتی با ماسه ها جریان عادی زندگی را مختل می کند. در این باره، می توان به آسیب های وارده به بیش از ۳۰ درصد واحدهای مسکونی در روستاهای آس حاجی، ریگموری و سیدخان اشاره کرد (شکل ۲). همچنین، در بخشی از روستاهای شمالی که به سرشاخه های رودخانه ی هیرمند نزدیک هستند، به دلیل فعالیت گسترده ی ماسه های روان، آسیب های جدی به انهار سنتی وارد گردیده است که استفاده ی مجدد آنها مستلزم لایروبی با ماشین آلات مخصوص است. روستاهای قرقری و کتمک در این گروه از روستاها قرار دارد (شکل ۳).

علاوه بر این، روستاهای با آسیب پذیری متوسط از ماسه های روان، عمدتاً به صورت پراکنده در قسمت های مرکزی محدوده ی مطالعه (جنوب شرق دهستان مارگان) واقع شده اند. در این گروه از روستاها، بادهای ۱۲۰ روزه سیستان به راحتی با حرکت بر روی اراضی بایر در شمال روستاهای سرتیپ و غلامعلی جعفر سبب تشکیل تپه های ماسه ای (از نوع طولی) به صورت کریدورهایی از ماسه های روان شده است. این عامل زمینه را برای هجوم ماسه های روان به سکونتگاه های روستایی دیگر فراهم کرده است. گفتنی است که در شرایط کنونی بیش از ۷۰ درصد زمین های کشاورزی روستاهای غلامعلی جعفر و سرتیپ زیر پوشش ماسه های روان دفن شده است.



شکل ۱: پراکنش روستاهای محدوده‌ی مطالعه به تفکیک شدت آسیب پذیری.



شکل ۳: آسیب ماسه‌های روان به انهار روستایی (روستای کتمک).

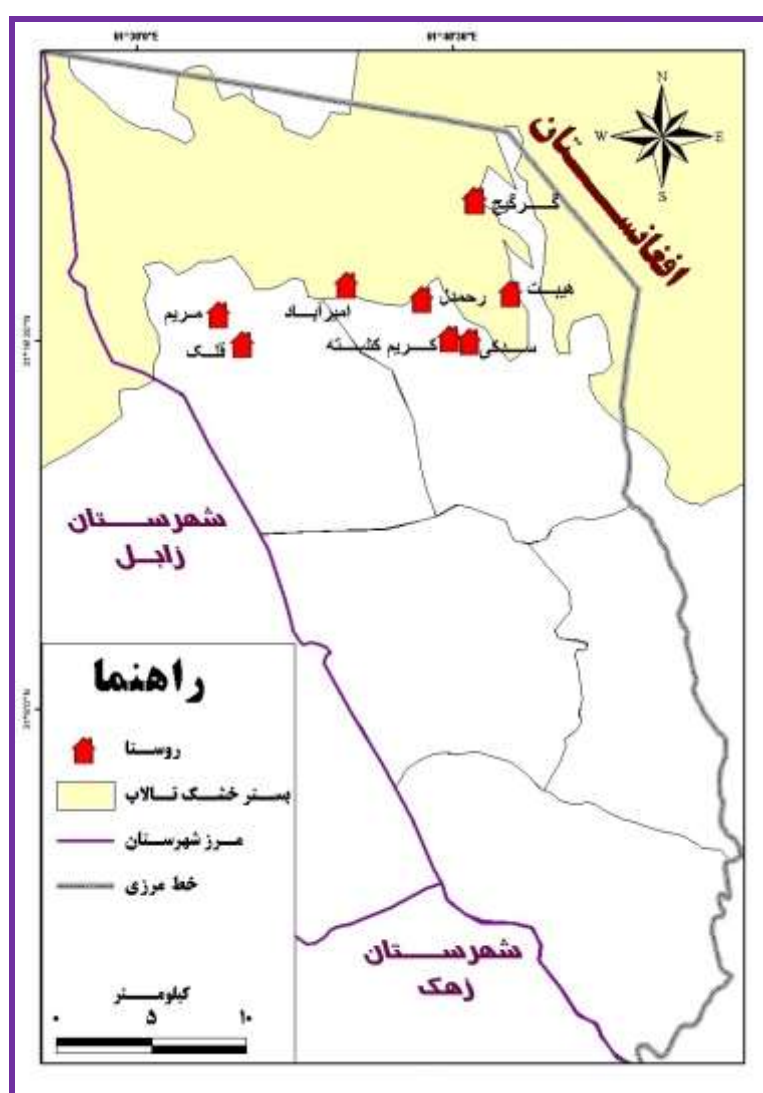


شکل ۲: وجود ماسه‌های روان در مجاورت مسکن روستایی (روستای ریگموری).

در کنار توجه به آسیب‌های ناشی از ماسه‌های روان در سطح روستاها، نقش بارز خدمات‌رسانی دولت در کاهش آسیب‌های وارد شده در کل شهرستان هیرمند حائز اهمیت است. در این زمینه، ساخت سیل‌بند، که به صورت کمربندی در اطراف تالاب بین‌المللی هامون قرار دارد، سبب شده که ماسه‌های روان در پشت آن‌ها انباشت شوند و این اقدام از

شدت آسیب‌های وارده و خطرهای احتمالی ناشی از هجوم ماسه‌های روان به عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر کاسته است.

از یافته‌های دیگر پژوهش، شناسایی روستاهایی است که ماسه‌های روان در تخریب و متروک شدن آن‌ها نقش اساسی داشته‌اند. بررسی چگونگی پراکنش هشت روستای شناسایی شده نشان می‌دهد که همه‌ی آن‌ها در قسمت شمالی محدوده‌ی مطالعه و در مجاورت بستر خشک تالاب هامون واقع شده‌اند (شکل ۴). طبق مشاهدات میدانی و مصاحبه با ساکنین روستاهای مجاور، مشخص گردید که در این روستاها، حجم عظیم ماسه‌های روان مربوط به فرسایش سالیانه‌ی بستر خشک تالاب هامون سبب مدفون شدن اراضی کشاورزی، مسدود شدن کوچه‌ها و معابر روستاها، خسارت‌های به منازل و، نهایتاً، متروک شدن آن‌ها شده است.



شکل ۴: موقعیت روستاهای تخلیه‌شده بر اثر هجوم ماسه‌های روان.

ب) برآورد خسارت‌های ناشی از ماسه‌های روان در روستاهای محدوده‌ی مطالعه

برآورد تقریبی حجم ماسه‌های روان موجود در سطح معابر روستاها نشان می‌دهد که مجموع ماسه‌های قابل برداشت از سطح روستاهای محدوده‌ی مطالعه ۳۵۷۵ متر مکعب است که هزینه‌ی تقریبی برای تخلیه‌ی آن‌ها بالغ بر ۱۴۴ میلیون

تومان خواهد بود (جدول ۴). با توجه به شرایط حاکم بر منطقه، حتی در صورت پاک‌سازی معابر روستاهای محدوده‌ی مطالعه، ورود مجدد ماسه‌ها به معابر این روستاها امری بدیهی خواهد بود. به‌این ترتیب، برنامه‌ی تخلیه‌ی ماسه‌ها سالیانه و حتی در برخی از روستاها چند بار در سال باید اجرا گردد. این در حالی است که حجم ماسه‌های موجود در سطح اراضی کشاورزی، نهرها و کانال‌ها، ده‌ها برابر حجم فعلی برآوردشده برای شبکه‌های معابر روستاهای محدوده‌ی مطالعه است که عملاً تصور پاک‌سازی کامل آن‌ها با توجه به وجود بادهای ۱۲۰ روزه و امکان فرسایش و شکل‌گیری مجدد آن‌ها ناممکن خواهد بود.

نتایج حاصل از برآورد خسارت‌های ناشی از ماسه‌های روان در سکونتگاه‌های روستایی نشان می‌دهد که دهستان‌های مجاور بستر تالاب هامون (قرقری و اکبرآباد) دارای بیشترین خسارت هستند و، در این زمینه، انهار و کانال‌ها و زمین‌های کشاورزی در بخش قرقری با ۱۷۰ میلیون تومان بیشترین خسارت را در بین دهستان‌های دیگر این شهرستان متحمل شده‌اند (جدول ۵).

جدول ۴: حجم ماسه‌های برآوردشده در معابر روستاهای مورد مطالعه و هزینه‌های تقریبی تخلیه‌ی آن‌ها

بخش	دهستان‌ها	تعداد روستاهای مورد هجوم ماسه‌ها	حجم ماسه‌های برآوردشده در معابر روستاها (متر مکعب)	هزینه‌ی برآوردشده برای تخلیه‌ی ماسه‌ها (میلیون تومان)
قرقری	قرقری	۱۶	۲۲۵۰	۹۰
	اکبرآباد	۱۰	۵۹۰	۲۴
مرکزی	دوست محمد	۱	۰	۰
	مارگان	۲۷	۶۹۰	۲۸
	جهان‌آباد	۲	۴۵	۲
جمع کل		۵۶	۳۵۷۵	۱۴۴

جدول ۵: برآورد خسارت‌های واردشده بر اثر ماسه‌های روان در سطح دهستان‌های مورد مطالعه (مقادیر برحسب میلیون تومان)

دهستان‌ها	جاده	انهار و کانال‌ها	زمین کشاورزی	مسکن
قرقری	۶	۸۰	۹۰	۶۵
اکبرآباد	۳	۶۰	۱۳	۶
دوست محمد	۲	۵	۷	۰
مارگان	۱	۱۳۰	۳۵	۹
جهان‌آباد	۰	۱۰	۲	۰
میزان کل خسارت	۱۲	۲۸۵	۱۴۷	۸۰

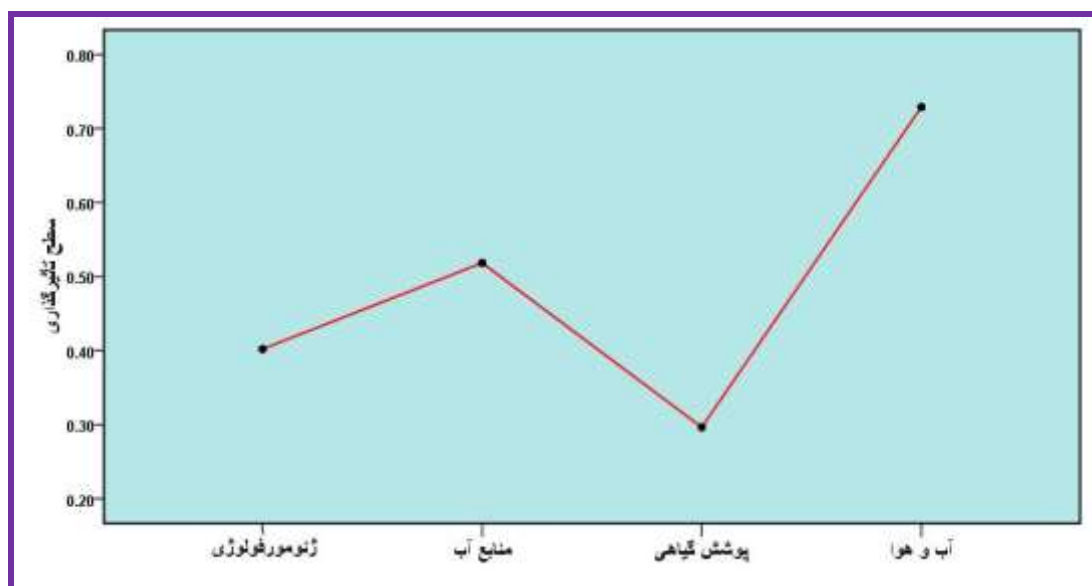
ج) مقایسه سطح تأثیرگذاری عوامل محیطی مؤثر در بروز یا تشدید آثار ماسه‌های روان

در این تحقیق برای مقایسه‌ی سطح آثار عوامل مطرح در بروز یا تشدید نابسامانی‌های ناشی از ماسه‌های روان از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده شد. نتایج آزمون گواه آن است که، با سطح اطمینان ۹۹ درصد، اختلاف معناداری بین سطح تأثیرگذاری عوامل گوناگون وجود دارد (جدول ۶).

جدول ۶: نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه بر سطح تأثیرگذاری عوامل محیطی مطرح در بروز یا تشدید آثار ماسه‌های روان در نقاط روستایی محدوده

شدت تأثیرگذاری	جمع مجذورات	درجه‌ی آزادی (df)	میانگین مجذورات	F	سطح معناداری (Sig.)
بین گروه‌ها	۶۴/۴۹۲	۷	۸/۵۵۴	۱/۳۵۷	۰/۰۰۰
درون گروه‌ها	۱۶/۵۷۳	۲۳۶۶	۰/۰۰۷		
کل	۸۱/۰۶۵	۲۲۷۶			

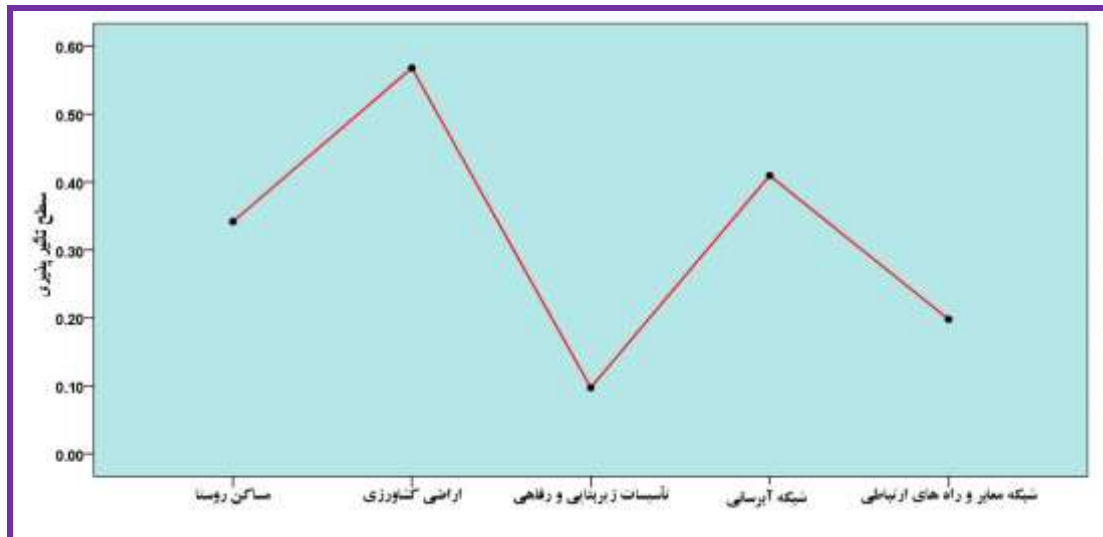
در این باره، نتایج حاصل از مقایسه‌ی سطح تأثیرگذاری عوامل محیطی مطرح در بروز یا تشدید آثار ماسه‌های روان در روستاهای مورد مطالعه نشان‌دهنده‌ی آن است که آثار عوامل آب‌وهوایی و محدودیت‌های آب ناشی از بروز خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی (که در طی آن جریان آب ورودی رودخانه‌ی هیرمند به محدوده‌ی مطالعه قطع یا به شدت کاهش می‌یابد) در کنار وجود بادهای تابستانه (۱۲۰ روزه) و زمستانه (معروف به بادهای گاوکش) در بروز یا تشدید فرسایش خاک و تشکیل ماسه‌های روان و آثار آن بارزتر از سایر عوامل است (شکل ۵).



شکل ۵: مقایسه‌ی سطح تأثیرگذاری عوامل محیطی مطرح در بروز یا تشدید آثار ماسه‌های روان در نقاط روستایی محدوده

مقایسه‌ی سطح تأثیرپذیری مؤلفه‌های گوناگون کالبدی - فضایی

از سوی دیگر، نتایج حاصل از مقایسه‌ی سطح تأثیرپذیری مؤلفه‌های گوناگون کالبدی - فضایی در روستاهای محدوده‌ی مطالعه حاکی از آن است که تأثیرپذیری اراضی کشاورزی و «شبکه‌های آبرسانی» از ماسه‌های روان بیشتر از سایر مؤلفه‌هاست (شکل ۶).



شکل ۶: مقایسه‌ی سطح تأثیرپذیری مؤلفه‌های گوناگون کالبدی - فضایی از ماسه‌های روان در نقاط روستایی محدوده

ه) مقایسه‌ی سطح آسیب‌پذیری روستاهای مجاور تالاب هامون با سایر روستاها

مقایسه‌ی روستاهای واقع در دهستان‌های مجاور تالاب هامون (روستاهای شمالی) با سایر روستاها این شهرستان نشان می‌دهد که، از ۸۰ روستای واقع در دهستان‌های مجاور تالاب هامون، ۱۷ روستا (معادل ۲۱/۲۵ درصد کل روستاهای واقع در این دهستان‌ها) دارای آسیب‌پذیری شدید تا خیلی شدید هستند. در حالی که از تعداد ۲۳۱ روستای واقع در سایر دهستان‌های محدوده‌ی مطالعه، هیچ‌کدام از روستاها در طیف آسیب‌پذیری شدید یا خیلی شدید نیستند. در این باره، بالاترین شدت آسیب‌پذیری (با ضریب ۰/۹۱) مربوط به یکی از روستاهای واقع در دهستان‌های مجاور تالاب هامون (روستای ریگموری) و پایین‌ترین شدت آسیب‌پذیری مربوط به یکی از روستاهای واقع در دهستان‌های جنوبی (روستای ملکی) است.

از طرف دیگر، مقایسه‌ی میانگین شدت آسیب‌پذیری روستاهای واقع در دهستان‌های مجاور تالاب هامون با شدت آسیب‌پذیری سایر روستاهای شهرستان هیرمند گواه آن است که میانگین شدت آسیب‌پذیری روستاهای مجاور بستر خشک تالاب هامون ۳/۹۳۹ و در سایر روستاهای شهرستان هیرمند ۲/۴۸۱ است (جدول ۷).

جدول ۷: خروجی آمار توصیفی آزمون t برای دو گروه از روستاهای محدوده‌ی مطالعه

گروه‌های مورد مطالعه	تعداد روستاها	میانگین	انحراف معیار	خطای متوسط استاندارد
روستاهای واقع در دهستان‌های مجاور تالاب هامون	۳۴	۳/۹۳۹	۰/۳۳۱	۰/۰۶۴
سایر روستاها	۳۰	۲/۴۸۱	۰/۴۳۵	۰/۱۱۲

با توجه به نتیجه آزمون لون^۱، سطح معنی‌داری بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است (جدول ۸). در نتیجه، فرض برابری واریانس‌ها رد نمی‌شود و از آنجایی که سطح معنی‌داری برای آزمون مقایسه‌ی میانگین دو گروه کوچک‌تر از ۰/۰۵ است، با سطح اطمینان ۹۵ درصد، تفاوت معنی‌داری بین شدت آسیب‌پذیری روستاهای واقع در دهستان‌های مجاور تالاب هامون (قرقری و اکبرآباد) با سایر روستاهای شهرستان هیرمند وجود دارد. بدون تردید، خشک‌سالی‌های اخیر در

۱. Levene

منطقه‌ی سیستان و خشک شدن تالاب هامون در بروز یا تشدید آثار ماسه‌های روان در روستاهای محدوده‌ی مطالعه نقش اساسی دارند.

جدول ۸: خروجی آمار استنباطی آزمون t برای دو گروه از روستاهای محدوده‌ی مطالعه

آزمون t برای تساوی میانگین‌ها							آزمون تساوی واریانس لون		
فاصله‌ی اطمینان ۹۵ درصد برای اختلاف		خطای استاندارد اختلاف	میانگین اختلاف	سطح معناداری	درجه‌ی آزادی (df)	t	سطح معناداری	F	
کران بالا	کران پایین								
۰/۶۸۸۷	۰/۰۵۲۷	۰/۱۵۷۰	۰/۳۷۰۷	۰/۰۲۰	۶۳	۲/۴۲۴	۰/۰۹۳	۴/۵۳۴	فرض برابری واریانس‌ها
۰/۶۸۹۲	۰/۰۵۲۲	۰/۱۵۷۰	۰/۳۷۰۷	۰/۰۲۰	۳۶/۴۰۷	۲/۴۲۴			فرض نابرابری واریانس‌ها

نتیجه‌گیری

حرکت و پیشروی ماسه‌های روان در شهرستان هیرمند از مسائل مهم ناشی از خشک شدن تالاب هامون است که سکونتگاه‌های روستایی این شهرستان را تهدید می‌کند و خطر عمده‌ای برای زندگی مردم محسوب می‌شود. از این رو، در تحقیق حاضر، سطح آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی به ماسه‌های روان بررسی شد. نتایج بررسی نشان می‌دهد که ۳۰/۳۸ درصد از روستاهایی که با مشکل ماسه‌های روان شهرستان هیرمند مواجه‌اند دارای آسیب‌پذیری شدید یا بسیار شدید هستند. در بروز این نابسامانی‌ها، عوامل محیطی (آب‌وهوا، پوشش گیاهی، وضعیت ژئومورفولوژیکی و منابع آب) نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند که در بین عوامل محیطی گوناگون، نقش آب‌وهوا و محدودیت‌های آب در بروز یا تشدید آثار ماسه‌های روان بارزتر از سایر عوامل است. در این زمینه، وزش بادهای ۱۲۰ روزه بر بستر خشک تالاب هامون و اراضی زراعی بایر سبب شده تا ذرات خاک به راحتی جدا و جابه‌جا شوند و در مناطق مختلف رسوب کنند و شرایط سخت محیطی در سطح روستاهای محدوده‌ی مطالعه به وجود آورند. نیروی مذکور در تخلیه‌ی جمعیتی برخی از روستاهای واقع در دهستان‌های مجاور تالاب هامون نقش فراوانی داراست.

به هر حال، با توجه به این که در سال‌های اخیر کاهش یا توقف جریان آب ورودی رودخانه‌ی هیرمند به سیستان سبب وقوع خشک‌سالی‌های پی‌درپی، خشک شدن تالاب هامون، تشدید خشکی محیط، کاهش پوشش گیاهی و افزایش فرسایش خاک شده است، این عوامل در کنار وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان شرایط مناسبی را برای افزایش طوفان‌های گردوغبار و حرکت ماسه‌های روان به سوی روستاهای این منطقه مهیا کرده است و، به نظر می‌رسد، با توجه به وضعیت افغانستان و افزایش جمعیت و کنترل بیشتر آب‌های سطحی در این کشور، مشکلات سیستان در آینده تشدید خواهد گردید.

با توجه به این که شهرستان هیرمند دارای مرز مشترک با کشور افغانستان است، کاهش جمعیت و تخلیه‌ی جمعیتی روستاهای این محدوده زنگ خطر و هشدار برای مسئولین است، زیرا برای حفظ و نگهداری از مرزها بهترین سربازان خود روستاییان مرزنشین هستند. بر این اساس، برای تعدیل یا کاهش آسیب‌های ناشی از هجوم ماسه‌های روان و بهبود شرایط حاکم بر روستاهای محدوده‌ی مطالعه، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- با توجه به تخلیه‌ی روزافزون روستاهای حاشیه‌ی تالاب خشک هامون، پیگیری دولت برای دریافت حق‌آبه‌ی منطقه و تالاب بین‌المللی هامون از افغانستان در چارچوب حقوق بین‌الملل ضروری است.
- با توجه به شناسایی روستاهای دارای آسیب‌پذیری شدید تا خیلی شدید ناشی از هجوم ماسه‌های روان و با توجه به این‌که مقصد بعدی ماسه‌های روان عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر است، ضروری است که دستگاه‌های اجرایی با احداث بادشکن در اطراف روستاهای تحت تأثیر شدید تا خیلی شدید ماسه‌ها (مثل آس حاجی، کرق شاه جان و اسک)، از حرکت ماسه‌ها به عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر و تخریب روستاهای مرتبط جلوگیری کنند.

منابع

- استاندارداری سیستان و بلوچستان. ۱۳۹۰. *سال‌نامه‌ی آماری استان سیستان و بلوچستان*، دفتر آمار و اطلاعات استانداری سیستان و بلوچستان، زاهدان.
- ایرانمنش، فاضل؛ محمود عرب‌خدری و مجتبی اکرم. ۱۳۸۴. «بررسی مناطق برداشت ذرات گردوغبار و ویژگی‌های انتشارات آن‌ها در طوفان‌های منطقه‌ی سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای»، *نشریه‌ی پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، ۶۷: ۲۵-۳۳.
- خسروی، محمود. ۱۳۸۷. «تأثیرات محیطی اثرکنش نوسان‌های رودخانه‌ی هیرمند با بادهای ۱۲۰ روزه سیستان»، *فصل‌نامه‌ی تحقیقات جغرافیایی*، ۹۱: ۴۸-۱۹.
- رنجبر، محسن؛ فاضل ایرانمنش و علیرضا دهقان. ۱۳۸۴. «نقش پلایاهای سیستان در گسترش طوفان‌های غبارزا (با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای)»، *جغرافیا (نشریه‌ی علمی - پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران)*، ۶: ۶۹-۸۱.
- راشکی، علیرضا؛ مجتبی گنجعلی؛ عباس درخشانی و رحمان میرشکار. ۱۳۸۹. «بررسی غلظت طوفان‌های گردوغبار منطقه‌ی سیستان و بار رسوبی حمل‌شده توسط آن‌ها»، *دومین همایش فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار*، دانشگاه یزد.
- رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا؛ نرگس وزین و مهدی پورطاهری. ۱۳۸۸. «فرایند مدیریت بلایای طبیعی در دو شیوه بومی و جدید: روستاهای بخش خورش رستم (شهرستان خلخال)»، *فصلنامه برنامه ریزی و آمایش فضا*، ۱: ۶۳-۹۴.
- رفاهی، حسینقلی. ۱۳۸۳. *فرسایش بادی و کنترل آن*، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، چ سوم.
- زنگ‌آبادی، علی و زهرا اسماعیلیان. ۱۳۹۱. «تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر خطر بلایای طبیعی (مطالعه‌ی موردی: شهر اصفهان)»، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۴: ۱۱۳-۱۲۹.
- شرکت مهندسین مشاور تهران سحاب. ۱۳۷۲. *طرح بهره‌برداری بهینه از آب سیستان*، سازمان آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان، ۲۵۳ صفحه.
- شرکت مهندسین مشاور و احیای کشاورزی تاک سبز. ۱۳۸۱. *طرح شناسایی کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و تعیین اولویت‌های اجرایی در ۱۴ استان بیابانی کشور*، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۲۰۱ صفحه.
- صبوری، محمد و سیداسکندر صیدایی. ۱۳۹۱. «تحلیلی بر آسیب‌پذیری روستاهای ساحلی دریای عمان در برابر حرکت ماسه‌های روان»، *پژوهش‌های جغرافیای روستایی*، ۲: ۷۵-۹۶.

غریب، محمدرضا و احمد معتمد. ۱۳۸۲. «بررسی تغییرات تپه‌های ماسه‌ای ساحلی استان سیستان و بلوچستان (از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۷۲)»، فصل‌نامه‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۶: ۳۵-۴۷.

فاضل‌نیا، غریب؛ اکبر کیانی؛ محمود علی خسروی و میثم بندانی. ۱۳۹۰. «بررسی انطباق الگوی بومی توسعه‌ی کالبدی فیزیکی روستای تمبکای شهرستان زابل با جهت طوفان‌های شن و ماسه»، فصل‌نامه‌ی مسکن و محیط روستا، ۱۳۶: ۱۶-۳.

مرکز آمار ایران. ۱۳۹۰. نتایج سرشماری نفوس و مسکن استان سیستان و بلوچستان (شهرستان زابل)، تهران.

معتمد، احمد. ۱۳۷۹. ژئومورفولوژی، انتشارات سمت، تهران، ج سوم.

مقصودی، مهران؛ سعید باقری و سجاد نگهبان. ۱۳۹۱. «تحلیل مخاطرات ناشی از ماسه‌های روان بر سکونتگاه‌های غرب دشت لوت (مطالعه‌ی موردی: روستای حجت آباد - شرق شهداد)»، مجله‌ی جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱: ۸۳-۹۶.

نگارش، حسین و لیلا لطیفی. ۱۳۸۷. «تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرق دشت سیستان در خشک‌سالی‌های اخیر»، فصل‌نامه‌ی جغرافیا و توسعه. ۱۲: ۴۳-۶۰.

نگارش، حسین و لیلا لطیفی. ۱۳۸۸. «بررسی خسارات‌های ناشی از حرکت ماسه‌های روان در شرق زابل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای»، فصل‌نامه‌ی پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۳: ۶۷-۸۷.

- Al-Harthi, A. ۲۰۰۲. Geohazard assesment of sand dunes between Jeddah and Al-lith in Western Saudi Arabia. Environmental geology, ۴۲: ۳۶۰-۳۶۹.
- Amirahmadi, A. ; Aliabadi, K. and Biongh, M. ۲۰۱۴. Evaluation of changes in sand dunes in southwest Of Sabzevar By Satellite Images. International Journal of Scientific & Technology Research, ۳: ۱۲۰-۱۲۸.
- Dyke, G.; Gill, S.; Davies, R.; Betorz, F.; Andalsvik, Y. ; Cackler, J.; DosSantos, W. ; Dunlop, K. ; Ferreira, I.; Kebe F.; Lamboglia, E.; Matsubara, Y. ; Nikolaidis, V. ; Ostoja-Starzewski, S.; Sakita, M. and Verstappen, N. ۲۰۱۱. Dream project: Applications of earth observations to disaster risk management. Acta Astronautica, ۶۸: ۳۱۰-۳۱۵.
- Ghadiry, M.; Shalaby, A. and Koch, B. ۲۰۱۲. A new GIS-based model for automated extraction of sand dune encroachment (Case study: Dakhla Oases, western desert of Egypt). Journal of Remote Sensing and Space Science, ۱۵: ۵۳-۶۵.
- Hugenholtz, C. H.; Bender, D. and Wolfe, C. A. ۲۰۱۰. Declining sand dune activity in the southern Canadian prairies: Historical. Context, controls and ecosystem implications. Journal of Aeolian Research, ۲: ۷۱-۸۲.
- Malczewski, J. ۱۹۹۹. GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley and Sons INC., New York.
- Raafat, F. M.; Fikry, I.K. and Samira, O. ۲۰۱۳. Developments in soil classification, land use planning and policy implications (chapter ۴۱: Managing the hazards of drought and shifting sands in dry lands (The Case Study of Kuwait), chapter ۴۱: ۷۰۳-۷۲۹.
- Zhao, H. ; Yi, X.; Zhou, R.; Zhao, X.; Zhang, T. and Drake, S. ۲۰۰۶. Wind erosion and sand accumulation effects on soil properties in Horqin Sandy Farmland, Inner Mongolia. Journal of Catena. ۶۵: ۷۱-۷۹.