

اثرات خشکسالی‌های اقلیمی بر مخاطرات توفان ماسه‌ای مطالعه موردی: بندریگ کاشان

زهرا حجازی‌زاده،^۱ مجتبی هدائی‌آرانی،^۲ ندا مجیدی‌راد^۳ و سعید رحیمی‌هرآبادی^۴
تاریخ وصول: ۱۳۹۲/۱/۲۸، تاریخ تایید: ۱۳۹۲/۴/۱۰

چکیده

یکی از وظایف عمده دانش ژئومورفولوژی کاربردی، بررسی موقعیت و ارزش محیط‌های انسانی آسیب‌پذیر در برابر انواع مخاطرات ژئومورفولوژیک است. مخاطرات ناشی از ماسه‌های روان و جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای از برجسته‌ترین مخاطرات ژئومورفیک در مناطق خشک محسوب می‌شود، که علاوه بر آسیب‌رسانی بر کاربری‌های زراعی، بر ساختمان‌ها، نواحی زیرکشت، راه‌ها و شبکه‌های حمل‌ونقل در مدفون شدن آن‌ها توسط ماسه‌های روان مشکلاتی جدی ایجاد می‌کند. در این ارتباط خشکسالی‌های اقلیمی و پیامدهای آن، نقش موثری در تشدید وقوع مخاطرات ماسه‌های روان دارد. از طرفی به دلیل وقوع خشکسالی‌های اقلیمی متناوب در ناحیه‌ی آران و بیدگل و اطراف و از سوی دیگر مجاورت این نواحی با تپه‌های ماسه‌ای (بندریگ) این محدوده تبدیل به یکی از مستعدترین مناطق خشک در برابر مخاطرات ماسه‌های روان شده است. از آنجا که هدف از این تحقیق بررسی میزان تاثیر خشکسالی‌های اقلیمی بر تشدید جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای در بندریگ کاشان است. درگام نخست با استفاده از شاخص‌های مختلف اقلیمی شامل RIA، PNPI، SPI و Z score به پایش خشکسالی در منطقه در یک دوره سی‌ساله پرداخته شد و در مرحله بعد میزان ارتباط آن با فراوانی طوفان‌های ماسه از طریق تحلیل‌های آماری (ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن) مشخص گردید. نتایج نشان داد که خشکسالی در منطقه بر اساس تجزیه و تحلیل‌های آماری صورت گرفته دارای درجه متوسط تا شدیدی است و همبستگی مثبتی بین وقوع خشکسالی‌های اقلیمی و مخاطرات ماسه‌های روان توسط طوفان ماسه دیده می‌شود.

کلیدواژگان: مخاطرات ماسه‌های روان، تپه‌های ماسه‌ای، خشکسالی اقلیمی، بندریگ کاشان، شاخص‌های خشکسالی.

۱. استاد جغرافیای دانشگاه خوارزمی

۲. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه تبریز

۳. دانشجوی دکتری تغییرات آب و هوایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی

۴. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی

مقدمه

یکی از وظایف عمده دانش ژئومورفولوژی کاربردی، شناخت محیط‌های انسانی آسیب‌پذیر در برابر انواع مخاطرات ژئومورفیک است. پدیده مخاطرات در ژئومورفولوژی ناشی از ناپایداری در فرایندهای بیرونی و درونی سطح زمین است (آیالا، ۲۰۰۲) که به دلیل دخالت انسان و زیرساخت‌های بشری به حوادثی مخاطره آمیز تبدیل می‌شود (کرمی، ۱۳۸۶). یکی از انواع مخاطرات ژئومورفیک که هر ساله باعث وارد آمدن خسارات زیادی به ویژه در مناطق خشک و بیابانی دنیا می‌شود، طوفان‌های ماسه‌ای است (امیدوار، ۱۳۸۵: ۴۴). حرکت ماسه‌های روان در نتیجه جابجایی ریگزارها است (نیکولا^۱ و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۸۰) به طور کلی باد در حدود ۲۸ درصد از مناطق خشک را فرسایش می‌دهد و طوفان‌های ماسه‌ای و همچنین حرکت ماسه در سطح زمین نه تنها در ایران؛ بلکه، در سایر کشورها نیز موجب بروز خسارات فراوانی می‌شود (لین، ۲۰۰۲). در نواحی خشک ایران مرکزی به دلیل شرایط خاص محیطی زمینه برای وقوع انواع فرسایش بادی بسیار مساعد می‌باشد. شرایط خشک و فراخشک حاکم بر بخش وسیعی از ایران با بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلی متر در سال موجب شده است که در حدود ۸۰ میلیون هکتار از مساحت ایران را تپه‌های ماسه‌ای با پوشش گیاهی ناچیز پوشانند، که از این مساحت حدود ۶ میلیون هکتار آن تپه‌های ماسه‌ای فعال است (رفاهی، ۱۳۸۳: ۸). در این اراضی اشکال مختلفی توسط فرایندهای بادی شکل می‌گیرند از جمله تپه‌های ماسه‌ای، کلوت‌ها، ریپل مارک‌ها و... در ابعاد مختلف و از سوی دیگر این فرایند می‌تواند به دلیل کاربری‌های اراضی و بهره‌برداری‌های نامتجانس و یا تشدید وقوع برخی مخاطرات مانند خشکسالی‌ها تبدیل به یک بلا یا برای محیط‌های انسانی (خسارت به شهرها، راه‌های ارتباطی، اراضی زراعی شود (هوگت^۲، ۲۰۰۷: ۳۱۵)؛

از سوی دیگر، خشکسالی یک پدیده اقلیمی است که از ویژگی‌های اصلی و تکرار شونده اقلیم‌های متفاوت به‌شمار می‌آید و اثرات آن صرفاً به نواحی خشک و نیمه خشک محدود نمی‌شود؛ بلکه، خشکسالی هم در نواحی خشک و هم نواحی مرطوب به وقوع می‌پیوندد

1. Nichola
2. Huggett

(دراکاپ^۱ و همکاران، ۱۹۸۰: ۲۹۹). در واقع خشکسالی‌ها از کاهش غیرمنتظره بارش در مدتی معین در منطقه‌ای که لزوماً خشک نیست حکایت دارد (علیجانی، ۱۳۸۴: ۲۶۸). این مخاطره به صورت خزنده بوده و به آرامی گسترش می‌یابد و به توپوگرافی و اقلیم خاصی محدود نمی‌شود (محمدی، ۱۳۸۷: ۱۱۲). ویژگی خشکسالی‌ها بستگی به مدت، استمرار، شدت و وسعت منطقه تحت تاثیر دارد و برخلاف سایر مخاطرات به آرامی آغاز شده، پیشروی نموده و موجب نابودی منابع می‌شود (کردوانی، ۱۳۸۰: ۲۳) نکته مشترک در تعریف خشکسالی عامل بارش است. بنابراین انواع مختلف خشکسالی در ارتباط با یکدیگر به وقوع می‌پیوندد (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۰: ۴۹) (جدول ۱).

جدول ۱: طبقه‌بندی انواع خشکسالی

انواع خشکسالی	نشانه‌ها، آثار و پیامدها
اقلیمی	میزان بارندگی سالانه کمتر از میانگین درازمدت باشد؛
هیدرولوژیک	کاهش جریان آب رودخانه و افت سطح آب زیرزمینی؛
کشاورزی	کاهش یافتن رطوبت قابل دسترس برای کشاورزی و پژمردگی گیاه و کاهش تولید؛
اقتصادی- اجتماعی	در نتیجه‌ی تداوم خشکسالی اقلیمی، هیدرولوژیک و کشاورزی، به وجود آمدن قحطی، مرگ و میر و مهاجرت‌های دسته جمعی؛

منبع: عزیزی و روشنی، ۱۳۸۰ با تغییرات.

ویژگی لندفرم‌های تحت تسلط سیستم‌های اقلیمی نواحی خشک در واقع حاصل پویایی و تحول‌پذیری خاص آنهاست. در نواحی خشک عوارض گوناگونی وجود دارند که هر یک از آنها از نظر فرایندهای شکل‌زا، وسعت، نحوه استقرار و پراکندگی با هم متفاوتند. یکی از شاخص‌ترین لندفرم‌های حاصل از فرایند بادی، تپه‌های ماسه‌ای هستند. به هنگام فراهم بودن شرایط به‌ویژه شرایط اقلیمی و ژئومرفیک، عوارض ماسه‌ای از پویاترین آنها هستند مهمترین این

شرایط عبارتند از: وجود باد غالب با سرعت بیش از ۴/۵ متر بر ثانیه، خشکی هوا، تراکم اندک پوشش گیاهی، وجود عناصر ریزدانه و توپوگرافی مناسب (مقصودی، ۱۳۸۵: ۱۵۰). وقوع خشکسالی‌های متناوب از ویژگی‌های بارز اقلیمی در منطقه کاشان، آران و بیدگل، نوش‌آباد و نواحی اطراف آن است، که این مسئله به علت مجاورت این مناطق با تپه‌های ماسه‌ای (بندریگ) اهمیت خاصی دارد. در تحقیق حاضر اقدام به شناخت میزان ارتباط وقوع خشکسالی و مخاطرات ماسه‌های روان توسط طوفان‌های ماسه در منطقه شده است. تپه‌های ماسه‌ای در نتیجه ضرورت بررسی مخاطرات ناشی از فرسایش بادی و ارتباط با آن پدیده خشکسالی دلیل تدوین این مقاله را افزایش می‌دهد. از این رو درک ارتباط خشکسالی و مخاطرات ناشی از جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای، با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های آماری و شاخص‌های خشکسالی صورت گرفته است.

با توجه به اهمیت این پدیده در مدیریت محیط، مطالعات متنوعی در این زمینه صورت پذیرفته که به نمونه‌هایی از آن‌ها اشاره می‌شود: الدابی و همکاران (۱۹۹۸) با استفاده از تصاویر چندزمانه به بررسی و کنترل تغییرات تپه‌های شنی شمال غرب کویت از نظر شکل و حرکت پرداخته‌اند. در این مطالعه ۴ تصویر لندست انتخاب گردیده و با آنالیزهایی چون افزایش کنتراست و فیلتر تصاویری حاصل شده است که از طریق تفسیر بصری^۱ تهیه نقشه تپه‌ها و روند تغییرات را امکان‌پذیر کرده است. داله‌زیوس و همکاران (۲۰۰۰)^۱ براساس تحلیل منحنی‌های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی، نقشه‌های هم‌شدت خشکسالی را برای یونان ترسیم کردند و نتیجه گرفتند که نواحی شمالی یونان نسبت به نواحی جنوبی آن از خشکسالی شدیدتری برخوردار است. ایفن الهارتی (۲۰۰۲)^۲ برآورد خطر زمینی تپه‌های ماسه‌ای بین جده و اللیته غرب عربستان سعودی را مورد مطالعه قرار داد. نامبرده جهت حرکت تپه‌های ماسه‌ای و ارتباط آنها با باد غالب را در منطقه بررسی کرد و سپس یک رابطه تجربی بین پارامترهای ارتفاع تپه، عرض تپه، طول باد رفت، طول سطح شیب و سرعت حرکت تپه‌های ماسه‌ای برقرار نمود و خطراتی که این تپه‌های ماسه‌ای به جاده‌ها، ساختمان‌ها، روستاها در عرصه مطالعاتی وارد می‌نمود را مورد بررسی قرارداد و در

1. Dalezios
2. Al-Harthi

نهایت با نمونه‌برداری از رسوبات، غرب عربستان سعودی را منشاء خطرات تپه‌های ماسه‌ای این منطقه معرفی نمود. وانگ و همکاران (۲۰۰۸) علل وقوع توفان گرد و غبار بر روی آب و هوای چین را گرمایش زمینی در پهنه کشور مغولستان و سرمایش زمینی در شمال کشور چین به ویژه حوضه تاریم می‌داند. حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۸۲) به پایش خشکسالی در استان چهار محال بختیاری با استفاده از نمایه بارش استاندارد در بازه‌های زمانی ۴۸، ۲۴، ۱۲، ۶، ۳ ماهه پرداختند و به این نتیجه رسیدند فراوانی رخداد خشکسالی کوتاه مدت در همه ایستگاه‌ها بیش از خشکسالی بلندمدت است. نگارش و لطیفی (۱۳۸۷) در تحلیل ژئومورفولوژیک روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرق دشت سیستان در خشکسالی‌ها به این نتیجه رسیدند که منابع آبی چاه نیمه که تنها منبع آب شرب مردم سیستان می‌باشد، در چند سال آینده مورد تهدید جدی ماسه‌های روان قرار خواهد گرفت. نگارش و لطیفی (۱۳۸۸) به بررسی خسارات ناشی از حرکت ماسه‌های روان در شرق زابل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند و به این نتیجه رسیدند که حرکت ماسه‌های روان که بیشتر متأثر از بادهای صد و بیست روزه سیستان بوده باعث ایجاد خساراتی بر روی راه‌های ارتباطی، مزارع، قنات‌ها، روستاها، تأسیسات صنعتی و همچنین پرشدن کانال‌های آبیاری داشته که این روند طی سال‌های اخیر روند افزایشی داشته است. علیجانی و بابائی (۱۳۸۸) در بررسی تحلیل فضایی خشکسالی‌های کوتاه مدت ایران به این نتایج رسیدند که قسمت‌های شمال غرب، شمال و شمال شرق کشور خشکسالی‌ها بسیار شدید است در صورتی که در مناطق مرکز، جنوب و جنوب شرق خشکسالی‌ها متوسط و ملایم می‌باشد. به‌طور کلی در بازه‌های کوتاه مدت که عمدتاً بر روی وضعیت خاک اثر می‌گذارد، تمرکز خشکسالی‌ها در نیمه شمالی کشور بیشتر بوده است. رامشت و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی میزان گسترش تپه‌های ماسه‌ای شرق جاسک در بازه زمانی (۱۳۸۳-۱۳۶۹) با استفاده از RS و GIS به این نتیجه دست یافتند که مساحت تپه‌های ماسه‌ای در محدوده زمانی مورد مطالعه افزایشی معادل ۱۰/۱۶۹ کیلومتر مربع داشته است.

محدوده مورد مطالعه

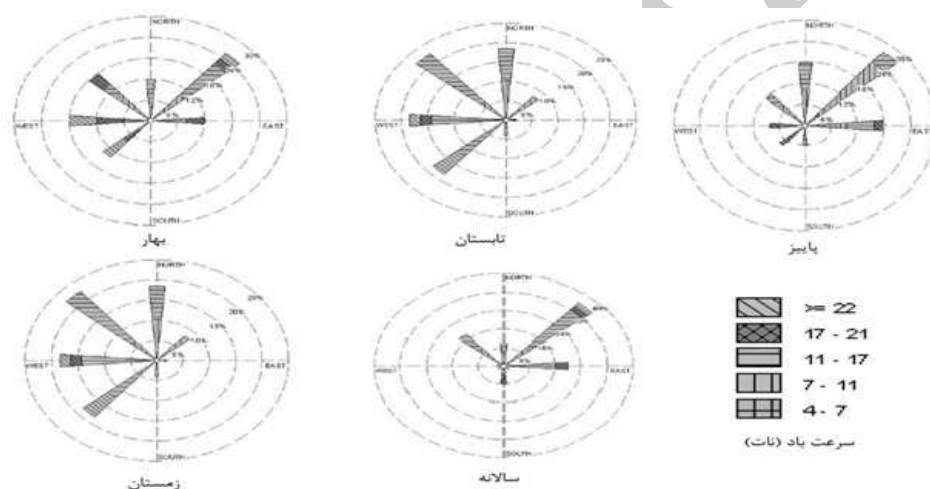
مجموعه ماسه‌ای بندریگ یکی از معدود ریگ‌های ایران محسوب می‌شود که در چاله مسیله و درست در حاشیه جنوبی دریاچه‌ی نمک قرار گرفته است و شهرهایی چون کاشان، آران بیدگل و تعداد زیادی از آبادی‌ها همچون ابوزیدآباد در حاشیه جنوب غربی آن قرار گرفته‌اند. بندریگ به صورت یک قوس هلالی شکل، با تحدبی غربی می‌باشد طول تحدب خارجی آن با احتساب پیش تپه‌های ماسه‌ای شمال غربی، حدود ۱۱۵ کیلومتر و طول قوس داخلی آن حدود ۴۰ کیلومتر است. این توده‌ی ماسه‌ای از امتداد جنوبی به رشته‌ی ماسه‌ای ریگ اردستان می‌پیوندد (یمانی، ۱۳۸۱: ۱۳۵). مجموعه ماسه‌ای بندریگ در طول ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه و عرض ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه قرار گرفته است. بر اساس اندازه‌گیری از روی نقشه توپوگرافی مساحت این توده حدود ۸۳۱ کیلومترمربع پست‌ترین نقطه‌ی آن با ارتفاع ۷۸۳ متر در مرنجاب و بلندترین نقطه آن حدود ۱۱۰۰ متر ارتفاع دارد، با این حساب دامنه ارتفاعی آن حدود ۱۷۰ متر است با توجه به ارقام ارتفاعی مذکور حجم تقریبی ماسه موجود با فرض مسطح‌بودن بستر آن حدود ۶ میلیارد مترمکعب برآورد می‌گردد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی مجموعه‌ی ماسه‌ای بندریگ

یافته‌های تحقیق

اثر سرعت و جهت باد غالب مهم‌ترین عامل جابجائی تپه‌های ماسه‌ای است. با بررسی‌های حاصل از داده‌های ایستگاه سینوپتیک کاشان به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه به بندریگ نشان می‌دهد که جهت باد غالب منطقه غربی است و در راستای حرکت تپه‌های ماسه‌ای بیشتر از غرب به شرق است و بادهای با سرعت بیش از ۵ گره قادر به تغییر شکل اشکال ماسه‌ای هستند (شکل ۳). در بررسی حاضر فراوانی بادهای دارای طوفان‌های ماسه در طول سال‌های آماری مورد تحلیل قرار گرفت (جدول ۲).

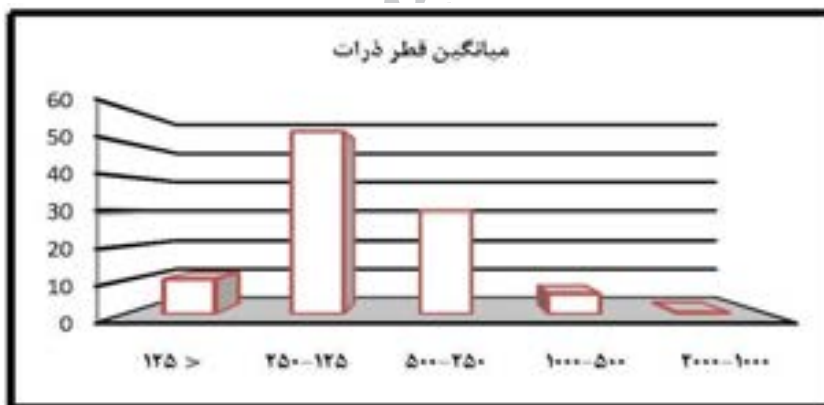


شکل ۲: گلباد فصلی و سالانه ایستگاه سینوپتیک کاشان طی سال‌های ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵

جدول ۲: فراوانی طوفانهای ماسه و میانگین سالانه و فراوانی خشکسالی در دوره‌ی ۳۰ ساله

منبع: ایستگاه سینوپتیک کاشان

سال	فراوانی طوفان‌های ماسه	میانگین سالانه	فراوانی خشکسالی	سال	فراوانی طوفان‌های ماسه	میانگین سالانه	فراوانی خشکسالی
۱۹۷۵	۳	۳	۱	۱۹۹۱	۲	۲	۳
۱۹۷۶	۳	۳	۲	۱۹۹۲	۲	۲	۲
۱۹۷۷	۳	۳	۲	۱۹۹۳	۲	۲	۲
۱۹۷۸	۱	۱۸	۲	۱۹۹۴	۲	۴	۱
۱۹۷۹	۱	۱۷	۱	۱۹۹۵	۱	۷	۱
۱۹۸۰	۱	۹	۲	۱۹۹۶	۲	۳	۲
۱۹۸۱	۱	۱۵	۲	۱۹۹۷	۲	۰	۱
۱۹۸۲	۱	۲	۲	۱۹۹۸	۲	۱	۲
۱۹۸۳	۱	۵	۲	۱۹۹۹	۲	۳	۲
۱۹۸۴	۳	۳	۱	۲۰۰۰	۱	۹	۲
۱۹۸۵	۱	۲	۱	۲۰۰۱	۲	۰	۱
۱۹۸۶	۲	۳	۲	۲۰۰۲	۲	۱	۲
۱۹۸۷	۱	۵	۱	۲۰۰۳	۲	۰	۲
۱۹۸۸	۱	۱۷	۱	۲۰۰۴	۲	۱	۲
۱۹۸۹	۳	۲	۱	۲۰۰۵	۲	۰	۱
۱۹۹۰	۲	۴	۱	-	-	-	-



شکل ۳: نمودار میانگین قطر ذرات ریگ بلند (منبع: یمانی، ۱۳۸۰: ۱۱۹)

استفاده از شاخص‌های خشکسالی در تحلیل خشکسالی اقلیمی بندریگ

شاخص ناهنجاری بارش

اساس شاخص ناهنجاری بارندگی، محاسبه انحراف مقادیر بارندگی از نرمال می‌باشد (سبزی‌پور

و کاظمی، ۱۳۸۹). مراحل محاسبه این شاخص به صورت زیر است:

۱. محاسبه میانگین دراز مدت بارندگی در ایستگاه های مورد نظر (\bar{P})
۲. استخراج میانگین ۱۰ مورد از بزرگترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی (m)
۳. استخراج میانگین ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی (x)
۴. مقایسه داده‌های بارندگی (P) با میانگین درازمدت بارندگی \bar{P} ، چنانچه $\bar{P} < P$ یا ناهنجاری مثبت باشد، شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RAI = 3[(P - \bar{P}) / (m - \bar{P})]$$

۵. واگر $P < \bar{P}$ یا ناهنجاری منفی باشد، شاخص ناهنجاری بارندگی بصورت رابطه زیر خواهد بود:

$$RAI = 3[(P - \bar{P}) / (x - \bar{P})]$$

۶. نسبت دادن آستانه‌های +۳ و -۳- بهتر تیب به میانگین ۱۰ مورد از شدیدترین ناهنجاری‌های مثبت و منفی به دست آمده از شاخص ناهنجاری بارندگی.
۷. نهایتاً، با مقیاس‌گذاری بر روی مقادیر حاصل از شاخص ناهنجاری بارندگی، ۹ طبقه ناهنجاری با دامنه‌ای از شرایط ترسالی بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید تعیین می‌شود.

شاخص درصد نرمال بارش

این شاخص از ساده‌ترین روشهای تعیین خشکسالی است و برای بیان اولیه خشکسالی مفید است. در این روش بارش نرمال برای هر منطقه ۱۰۰ درصد در نظر گرفته می‌شود (ابرقویی و همکاران ۱۳۷۹). شاخص PNPI از فرمول زیر محاسبه می‌شود که در این فرمول:

$$PNPI = P_i * 100 / \bar{P}$$

P_i : بارش سال مورد نظر، \bar{P} : بارش نرمال سال مورد نظر

شاخص بارش استاندارد شده

از جامع‌ترین و در عین حال ساده‌ترین روش مطالعه خشکسالی و ترسالی و خصوصیات آنها محسوب می‌شود. اساس این شاخص انحراف از میانگین نسبت به انحراف معیار داده‌های آماری است. به عبارت دیگر در این روش علاوه بر انحراف از میانگین بارش‌های رخ داده در

طی یک دوره آماری، انحراف معیار داده‌ها نیز مورد استفاده است، به طوری که نسبت اختلاف میانگین جامعه یا نمونه از مقدار بارندگی هر سال آماری به انحراف معیار جامعه یا نمونه محاسبه می‌شود (حبیبی و همکاران ۱۳۸۶). و معادله آن به صورت زیر می‌باشد.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD}$$

که در آن P_i بارندگی سال i و SD انحراف معیار بارش در طول دوره آماری، \bar{P} میانگین بارندگی بلندمدت می‌باشد.

شاخص Z-Score (ZSI)

اساس این شاخص انحراف از میانگین نسبت به انحراف معیار داده‌های آماری است و معادله آن به صورت زیر است (حجازی‌زاده و جوی‌زاده، ۱۳۸۹).

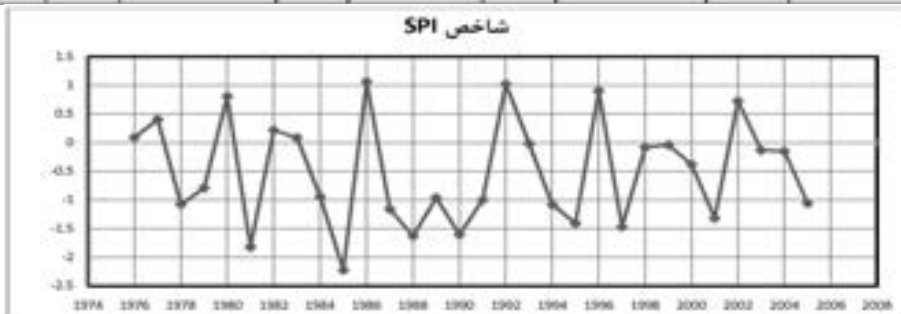
$$ZSI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD}$$

که در آن P_i بارندگی سال i و SD انحراف معیار بارش در طول دوره آماری، \bar{P} میانگین بارندگی بلندمدت می‌باشد (قاسمی و همکاران ۱۳۸۷).

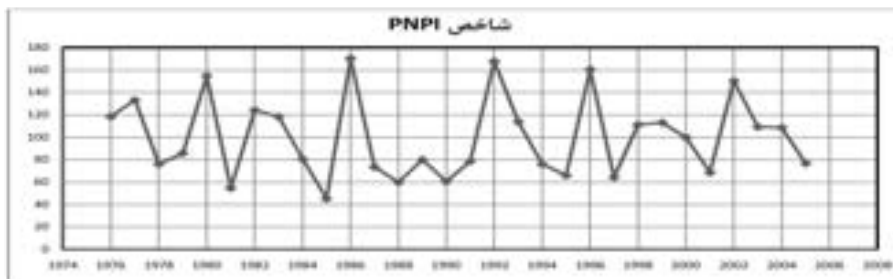
در ادامه نتایج حاصل از محاسبات داده‌های مورد بحث بدست آمد (جدول ۳) و (اشکال ۴، ۵، ۶ و ۷).

جدول ۳: نتایج حاصل از محاسبات شاخص های خشکسالی در داده‌های ۳۰ ساله

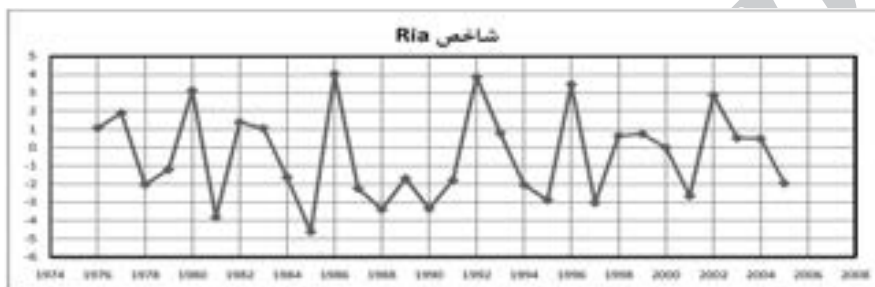
تاریخ	شاخص SPI	سختی خشکسالی	شاخص PNNI	سختی خشکسالی	شاخص Rla	سختی خشکسالی	شاخص Z Score	سختی خشکسالی
۱۹۷۶	-۰.۹	نزدیک نرمال	۱۱۸/۵۵	نرمال	۱/۰۶	نرمال	-۱۵۱	نرمالی متوسط
۱۹۷۷	-۰.۴	نزدیک نرمال	۱۲۳	نرمال	۱/۵۹	نرمال	۲۹۲	نرمالی متوسط
۱۹۷۸	-۱/۰۷	خشکسالی متوسط	۷۹/۱۱	خشکسالی خفیف	-۲/۰۱	خشکسالی متوسط	-۱۳۶	خشکسالی متوسط
۱۹۷۹	-۰/۳۹	نزدیک نرمال	۲۵/۷۴	نرمال	-۱/۱۲	خشکسالی متوسط	-۱۲۹	نزدیک نرمال
۱۹۸۰	-۱/۰۰	نزدیک نرمال	۱۵۳/۷۰	نرمال	۲/۱۲	نرمال	۱/۵۲	بسیار مرطوب
۱۹۸۱	-۱/۵۸	به شدت خشک	۵۲/۸۰	خشکسالی شدید	-۲/۸۱	خشکسالی شدید	-۱۲۶	خشکسالی متوسط
۱۹۸۲	-۰/۲۱	نزدیک نرمال	۱۲۳/۲۰	نرمال	۱/۳۸	نرمال	۱۳۷	نرمالی متوسط
۱۹۸۳	-۰/۰۸	نزدیک نرمال	۱۱۸/۲۹	نرمال	۱/۰۴	نرمال	-۱۵۱	نرمالی متوسط
۱۹۸۴	-۰/۴۲	نزدیک نرمال	۸/۱۳۲	نرمال	-۱/۳۲	خشکسالی متوسط	-۱۵۴	خشکسالی متوسط
۱۹۸۵	-۲/۲۲	خشکسالی شدید	۴۵/۳۹	خشکسالی شدید	-۴/۶۱	خشکسالی شدید	-۱۵۲	به شدت خشک
۱۹۸۶	۱/۰۶	خشکسالی متوسط	۱۷/۳۲	نرمال	۹/۰۲	نرمال	۱/۹۶	بسیار مرطوب
۱۹۸۷	-۱/۱۶	خشکسالی متوسط	۷۳/۴۸	خشکسالی خفیف	-۲/۲۴	به شدت خشک	-۱۲۹	خشکسالی متوسط
۱۹۸۸	-۱/۳۲	به شدت خشک	۵۹/۸۳	خشکسالی متوسط	-۳/۳۹	خشکسالی شدید	-۱۱۲	خشکسالی متوسط
۱۹۸۹	-۰/۳۶	نزدیک نرمال	۷۹/۰	خشکسالی خفیف	-۱/۶۹	خشکسالی متوسط	-۱۵۶	خشکسالی متوسط
۱۹۹۰	-۰/۱۶	به شدت خشک	۶/۱۲۹	خشکسالی متوسط	-۲/۲۲	خشکسالی شدید	-۱/۱	خشکسالی متوسط
۱۹۹۱	-۰/۳۹	نزدیک نرمال	۷۸/۷۲	خشکسالی خفیف	-۱/۷۹	خشکسالی متوسط	-۱۵۹	خشکسالی متوسط
۱۹۹۲	۱/۰۲	خشکسالی متوسط	۱۶۳/۳۲	نرمال	۲/۸۶	نرمال	۱/۸۹	بسیار مرطوب
۱۹۹۳	-۰/۰۱	نزدیک نرمال	۱۱۳/۹۱	نرمال	-۰/۹۹	نرمال	-۱۲۸	نزدیک نرمال
۱۹۹۴	-۱/۰۸	خشکسالی متوسط	۷۵/۰۹	خشکسالی خفیف	-۲/۰۳	خشکسالی متوسط	-۱۳۲	خشکسالی متوسط
۱۹۹۵	-۰/۱۲	خشکسالی متوسط	۶۶/۰۶	خشکسالی متوسط	-۲/۸۶	به شدت خشک	-۱۹۹	خشکسالی متوسط
۱۹۹۶	-۰/۰۹	نزدیک نرمال	۱۶/۲۹	نرمال	۲/۲۵	نرمال	۱/۹۸	بسیار مرطوب
۱۹۹۷	-۱/۲۶	خشکسالی متوسط	۶۹/۶۹	خشکسالی متوسط	-۲/۰۱	خشکسالی شدید	-۱۹۹	خشکسالی متوسط
۱۹۹۸	-۰/۰۸	نزدیک نرمال	۱۱۱/۱۴	نرمال	-۰/۳۲	نرمال	-۰/۲۱	نزدیک نرمال
۱۹۹۹	-۰/۰۲	نزدیک نرمال	۱۱۳/۰۶	نرمال	-۰/۷۴	نرمال	-۰/۲۶	نزدیک نرمال
۲۰۰۰	-۰/۳۷	نزدیک نرمال	۹۹/۹	نرمال	-۰/۰	نزدیک نرمال	-۰/۰	نزدیک نرمال
۲۰۰۱	-۱/۳۱	خشکسالی متوسط	۶۸/۶۶	خشکسالی متوسط	-۲/۳۲	به شدت خشک	-۱۸۷	خشکسالی متوسط
۲۰۰۲	-۰/۲۲	نزدیک نرمال	۱۵/۱۸	نرمال	۲/۸۷	نرمال	۱/۴	نرمالی متوسط
۲۰۰۳	-۰/۱۲	نزدیک نرمال	۱۰۹/۲۴	نرمال	-۱/۵۲	نرمال	-۰/۲۵	نزدیک نرمال
۲۰۰۴	-۰/۲۵	نزدیک نرمال	۱۰۸/۵۱	نرمال	-۰/۲۸	نرمال	-۰/۲۲	نزدیک نرمال
۲۰۰۵	-۱/۰۵	خشکسالی متوسط	۷۷/۷۶	خشکسالی خفیف	-۱/۶۶	خشکسالی متوسط	-۱۳۴	خشکسالی متوسط



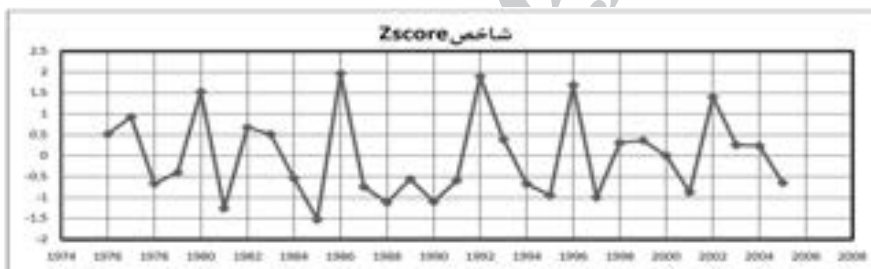
شکل ۴: نمودار شاخص خشکسالی SPI در ایستگاه کاشان



شکل ۵: نمودار شاخص خشکسالی PNPI در ایستگاه کاشان



شکل ۶: نمودار شاخص خشکسالی RIA در ایستگاه کاشان



شکل ۷: نمودار شاخص خشکسالی Z-Score در ایستگاه کاشان

در ادامه میانگین حاصل از شاخص‌های ۴ گانه مورد مطالعه بدست آمد (شکل ۸):



شکل ۸: میانگین توزیع سالانه سرعت باد در ایستگاه کاشان

اثرات خشکسالی بر جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن برای تحلیل اثرات خشکسالی بر مخاطرات ماسه‌های روان ابتدا اقدام به رتبه‌بندی اعداد بدست آمده از شاخص‌های مورد مطالعه گردید (جدول ۴):

جدول ۴. رتبه‌بندی اعداد بدست آمده از شاخص‌ها

سال	رتبه بندی Spi	رتبه بندی Z score	رتبه بندی Popi	رتبه بندی Ria	میانگین رتبه بندی	میانگین سالانه موسم پانزدهم مربع
۱۳۷۶	۳	۵	۳	۳	۳/۲۵	۱
۱۳۷۷	۳	۳	۳	۳	۳	۵
۱۳۷۸	۷	۸	۸	۷	۷/۲۵	۱۰
۱۳۷۹	۳	۷	۷	۳	۳/۷۵	۵
۱۳۸۰	۱	۳	۳	۳	۱/۷۵	۳
۱۳۸۱	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۹/۷۵	۶
۱۳۸۲	۳	۳	۳	۳	۳/۷۵	۸
۱۳۸۳	۳	۵	۵	۳	۳/۲۵	۶
۱۳۸۴	۷	۸	۸	۷	۷/۲۵	۶
۱۳۸۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۶
۱۳۸۶	۱	۱	۱	۱	۱	۶
۱۳۸۷	۷	۸	۸	۸	۷/۷۵	۱۰
۱۳۸۸	۹	۹	۹	۹	۹	۹
۱۳۸۹	۷	۸	۸	۷	۷/۲۵	۵
۱۳۹۰	۹	۹	۹	۹	۹	۳
۱۳۹۱	۷	۸	۸	۷	۷/۲۵	۳
۱۳۹۲	۱	۱	۱	۱	۱	۳
۱۳۹۳	۳	۵	۵	۳	۳/۲۵	۳
۱۳۹۴	۷	۸	۸	۸	۷/۷۵	۵
۱۳۹۵	۸	۹	۹	۸	۸/۲۵	۸
۱۳۹۶	۱	۱	۱	۱	۱	۳
۱۳۹۷	۸	۹	۹	۹	۸/۷۵	۶
۱۳۹۸	۵	۵	۵	۳	۵	۵
۱۳۹۹	۳	۵	۵	۳	۳/۲۵	۵
۲۰۰۰	۵	۶	۶	۵	۵/۲۵	۹
۲۰۰۱	۸	۹	۹	۸	۸/۲۵	۸
۲۰۰۲	۳	۳	۳	۳	۳	۸
۲۰۰۳	۳	۵	۵	۵	۳/۷۵	۳
۲۰۰۴	۳	۵	۵	۵	۳/۷۵	۳
۲۰۰۵	۷	۸	۸	۷	۷/۲۵	۱۰

باید توجه داشت که در بین پدیده‌ها به خصوص پدیده‌های جغرافیایی همبستگی کامل امری نادر است ولی گاهی رابطه همبستگی بین دو پدیده نسبتاً معنادار است. شدت خشکسالی‌های مشاهده شده در کلیه شاخص‌های مورد مطالعه تا حدی با هم هماهنگ هستند، به طوری که در جداول زیر دیده می‌شود، عدد فراوانی‌های بدست آمده از شدت‌های مختلف خشکسالی برای شاخص‌ها نزدیک بهم و در مواردی کاملاً بر هم منطبق‌اند. بیشترین خشکسالی از نوع "بسیار شدید" و "شدید" مربوط به شاخص RAI بوده و نشان‌دهنده حساسیت بیشتر این شاخص نسبت به دو

شاخص دیگر است. شاخص PNPI شامل ملایم‌ترین خشکسالی‌ها بوده و بیشترین حالات "نرمال" و خشکسالی "ضعیف" را دارا می‌باشد. نتایج حاصل از همبستگی به روش رتبه‌ای اسپیرمن نشان داد رابطه بین خشکسالی و بادهای سریع، مثبت، مستقیم ناقص و نسبتاً معنی‌دار است (جدول ۵).

در نهایت نتایج حاصل از روش رتبه‌ای اسپیرمن در جداول فوق یعنی ضریب همبستگی میان سرعت باد و خشکسالی بدست آمد. در جدول ۶ میانگین این اعداد نیز محاسبه شد (جدول ۶).

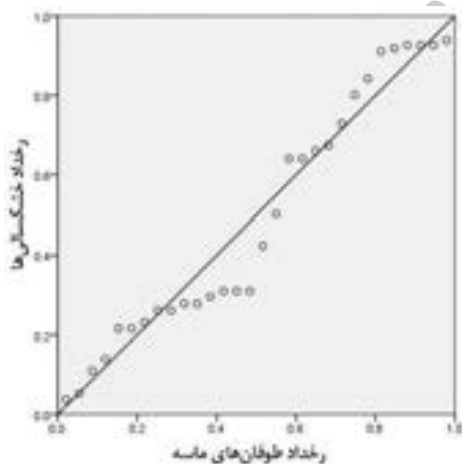
جدول ۵: ضریب همبستگی شاخص‌های خشکسالی در ارتباط با بادهای سریع به روش رتبه‌ای اسپیرمن

		SPI	باد
SPI	ضریب همبستگی	1.000	.480**
	Sig. (2-tailed)	.	.007
	تعداد داده‌ها	30	30
باد	ضریب همبستگی	.480**	1.000
	Sig. (2-tailed)	.007	.
	تعداد داده‌ها	30	30
		PNPI	باد
PNPI	ضریب همبستگی	1.000	.476**
	Sig. (2-tailed)	.	.008
	تعداد داده‌ها	30	30
باد	ضریب همبستگی	.476**	1.000
	Sig. (2-tailed)	.008	.
	تعداد داده‌ها	30	30
		RIA	باد
RIA	ضریب همبستگی	1.000	.459*
	Sig. (2-tailed)	.	.011
	تعداد داده‌ها	30	30
باد	ضریب همبستگی	.459*	1.000
	Sig. (2-tailed)	.011	.
	تعداد داده‌ها	30	30
		Z score	باد
Z score	ضریب همبستگی	1	.460*
	Sig. (2-tailed)	.	.011
	تعداد داده‌ها	30	30
باد	ضریب همبستگی	.460*	1
	Sig. (2-tailed)	.011	.
	تعداد داده‌ها	30	30

جدول ۶: ضریب همبستگی شاخص خشکسالی میانگین شاخص‌ها در ارتباط با بادهای سریع

			dry	باد
روش رتبه‌ای اسپیرمن	DRY	ضریب همبستگی	1.000	.472**
		Sig. (2-tailed)	.	.008
		تعداد داده‌ها	30	30
	باد	ضریب همبستگی	.472**	1.000
		Sig. (2-tailed)	.008	.
		تعداد داده‌ها	30	30

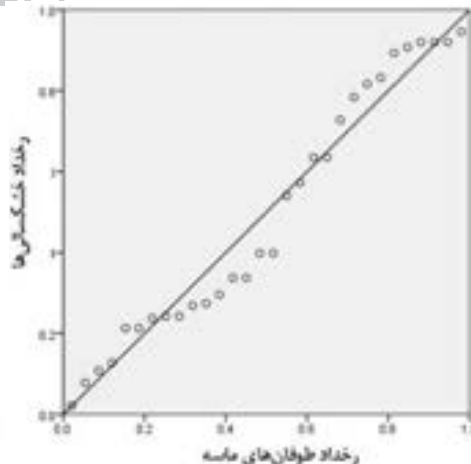
به طور کلی هدف از هر مطالعه جغرافیایی پیش‌بینی وقایع از لحاظ مکانی و زمانی است. نتایج حاصل از رگرسیون خطی به پیش‌بینی اثرات خشکسالی بر وقوع بادهای سریع می‌پردازد و رابطه را به صورت کمی بیان می‌دارد. در زیر نمودارهای رگرسیون خطی بر هر کدام از شاخص‌های مورد بررسی ارائه شده است:



$$y = .41x + 3.55$$

شکل ۱۰: نمودار پراکنندگی رگرسیون خطی برای متغیر

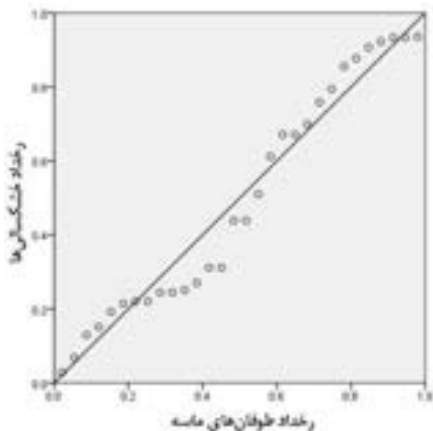
شاخص PNPI در ارتباط با باد



$$y = .44x + 3.66$$

شکل ۹: نمودار رگرسیون خطی برای متغیر شاخص SPI

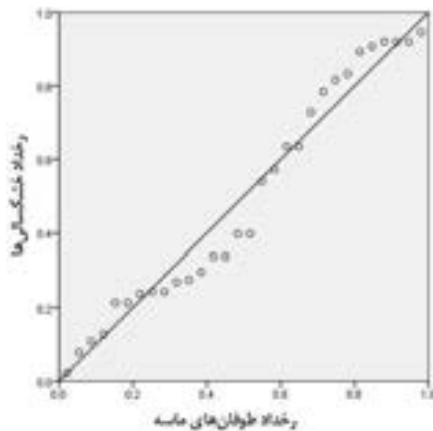
در ارتباط با باد



$$y = .409x + 3.714$$

شکل ۱۲: نمودار رگرسیون خطی برای متغیر

شاخص z score در ارتباط با باد

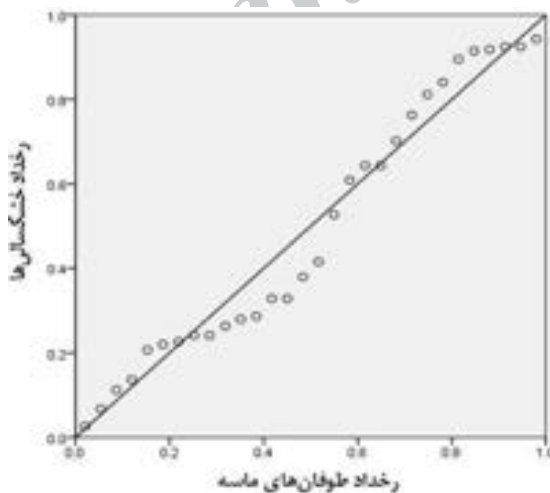


$$y = .408x + 3.546$$

شکل ۱۱: نمودار رگرسیون خطی برای متغیر

شاخص RIA در ارتباط با باد

نمودارهای فوق نشان می‌دهد با تغییر رخداد خشکسالی چه اتفاقی برای روند باد و رخداد طوفان‌های ماسه‌ای خواهد افتاد و رابطه بین این دو برای بررسی احتمال وقوع بادهای سریع را بیان می‌کند. در انتها میانگین شاخص‌ها برای درک کمی از ارتباط نتایج شاخص‌ها و ارتباط آن با سرعت باد و مخاطرات ماسه‌های روان بدست آمد (شکل ۱۳):



$$y = .499x + 3.581$$

شکل ۱۳: نمودار رگرسیون خطی برای متغیر

میانگین شاخص‌ها در ارتباط با باد



شکل ۱۴: پیشروی احتمالی تپه‌های ماسه‌ای به سازه‌های انسانی در شهر آران و بیدگل در مجاورت بندریگ

نتیجه‌گیری

با توجه به این که شرایط اقلیمی مناطق خشک در احتمال وقوع پدیده خشکسالی نقش دارد. در این نوشتار بند ریگ کاشان با توجه به تحلیل‌های آماری خشکسالی منطقه از جمله تحلیل شاخص‌های متعدد، مورد مطالعه قرار گرفت که حکایت از درجه خشکی متوسط تا شدید در این منطقه را دارد و نیز قرارگرفتن این منطقه در طبقه مناطق خشک و احتمال وقوع خشکسالی در سال‌های مختلف از دیگر مسائلی است که احتمال وقوع آن در این منطقه را بیان می‌کند. در ادامه با توجه به جدول ضریب همبستگی بدست آمده و ترسیم نمودار پراکندگی از مقادیر طوفان ماسه‌ای و مقادیر رگرسیون خطی شاخص‌های SPI، PNPI، RIA و شاخص Z Score در ایستگاه کاشان، می‌توان گفت که ضریب همبستگی قابل تاملی میان خشکسالی و وقوع بادهای سریع در نتیجه جابه‌جایی و تغییر در مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای وجود دارد. از این رو، با افزایش خشکسالی در منطقه که دارای مقادیر خشکی متوسط تا شدیدی است، تپه‌های ماسه‌ای جابه‌جایی بیشتری را بر اثر وقوع خشکسالی خواهند داشت. در نتیجه نیازمند مدیریت و برنامه‌ریزی پایداری در ارتباط با توسعه‌ی فعالیت‌ها و مسائل مختلف مدیریت محیط در این منطقه روبرو خواهیم بود. از این رو برنامه‌ریزی جامع با توجه به شرایط موجود می‌تواند نقش اساسی در مدیریت خشکسالی و نیز ناپایداری‌های ناشی از حرکات و پیشروی‌های تپه‌های ماسه‌ای داشته باشد. در این راستا اقدامات موثر بر کنترل خشکسالی و پایداری محیط‌های انسانی (سکونتگاه‌ها، جاده‌ها و...) مجاور با مجموعه ماسه‌ای بندریگ و شناخت آستانه‌های بحرانی وقوع مخاطرات ماسه‌های روان و جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای و محافظت سازه‌های انسانی در برابر این مخاطرات از مهمترین اقدامات پیشگیرانه در مدیریت محیط قلمداد می‌شود.

کتاب‌شناسی

۱. ابرقویی ح (۱۳۷۹)، بررسی تغییرات و فراوانی خشکسالی استان یزد، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راه‌کارهای مقابله با کم‌آبی و خشکسالی جهاد دانشگاهی استان کرمان، صص ۸۳۰-۸۳۵؛
۲. امیدوار، ک. (۱۳۸۵)، بررسی و تحلیل سینوپتیکی طوفان‌های ماسه در دشت یزد- اردکان، تحقیقات جغرافیایی تابستان ۱۳۸۵، شماره ۸۱، صص ۴۳-۵۸؛
۳. حبیبی، ح. خضری قرائی؛ ح. حبیبی، س (۱۳۸۶)، پایش پدیده خشکسالی در استان کرمان بر اساس شاخص SPI. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر کرمان- بهمن ۱۳۸۶؛
۴. حجازی‌زاده، ز؛ فتاحی، ا. قائمی، ه (۱۳۸۲)، پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده، مطالعه موردی استان چهارمحال بختیاری، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال اول، صص ۲۵-۴۸؛
۵. حجازی‌زاده، زهرا؛ جوی‌زاده، سعید (۱۳۸۹)، مقدمه‌ای بر خشکسالی و شاخص‌های آن، تهران: انتشارات سمت؛
۶. رامشت م، ح؛ سیف، ع؛ محمودی، ش (۱۳۹۲)، بررسی میزان گسترش تپه‌های ماسه‌ای شرق جاسک در بازه زمانی (۱۳۸۳-۱۳۶۹) با استفاده از RS و GIS، جغرافیا و توسعه شماره ۳۱، تابستان ۱۳۹۲، صص ۱۲۱-۱۳۶؛
۷. رفاهی، ح (۱۳۸۳)، فرسایش بادی و کنترل آن، تهران: انتشارات دانشگاه تهران. چاپ چهارم؛
۸. سبزی‌پور ع؛ ا. کاظمی آ (۱۳۸۹)، ارزیابی تطبیقی ۷ نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیلی خوشه‌ای، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دوازدهم، شماره ۱؛
۹. عزیزی، ق؛ روشنی، ع، ا (۱۳۸۰)، بررسی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و امکان پیش‌بینی آنها با استفاده از مدل سری زمانی حالت ویتزر در استان هرمزگان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۶۱؛
۱۰. قاسمی، ح؛ مقدم‌نیا، ع؛ آرمجو، ا؛ محمدزاده خانی، ه. (۱۳۸۷)، پایش خشکسالی با استفاده از شاخصهای CZI و MCZI در زابل. اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب-اسفند ۸۷؛
۱۱. کاویانی، م؛ علیجانی، ب؛ مبنای آب و هواشناسی تهران: انتشارات سمت؛
۱۲. کردوانی، پ (۱۳۸۰)، خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در ایران، تهران: انتشارات دانشگاه تهران؛
۱۳. کرمی، ف (۱۳۸۶)، مخاطرات ژئومورفولوژیک ناشی از ساخت و توسعه راه‌های روستایی با تاکید بر حرکات توده‌ای و ایجاد خندق (مطالعه‌ی موردی: روستاهای شهرستان سراب)، فضای جغرافیایی، سال ششم، شماره ۱۶، صص ۸۵-۱۰۵؛
۱۴. محمدی، ح (۱۳۸۷)، مخاطرات جوی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران؛

۱۵. مقصودی، م (۱۳۸۵)، شناخت فرایندهای موثر بر توسعه و تحول عوارض ماسه‌ای (مطالعه‌ی موردی عوارض ماسه‌ای چاله سیرجان)، پژوهشهای جغرافیایی، شماره ۵۶؛
۱۶. نگارش ح. لطیفی ل (۱۳۸۷)، تحلیل ژئومورفولوژیک روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرق دشت سیستان در خشکسالی‌های اخیر - جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، پاییز و زمستان ۱۳۸۷؛
۱۷. نگارش ح. لطیفی، ل (۱۳۸۸)، بررسی خسارات ناشی از حرکت ماسه‌های روان در شرق زابل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۶۷، صص ۷۳-۸۷؛
۱۸. یمانی، م (۱۳۷۹)، ارتباط قطرذرات ماسه و فراوانی سرعت‌های آستانه‌ی باد در منطقه‌ی بندریگ کاشان، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۸؛
۱۹. یمانی، م (۱۳۸۱)، نقش سلول‌های کم فشار محلی در استقرار مجموعه‌های ماسه‌ای ایران (مطالعه موردی بندریگ کاشان)، مدرس علوم انسانی، دوره ۶، شماره ۴؛

20. Al Harthi, A, A. (2002), Geohazard Assessment of Sand Dunes Between Jeddah and Al-Lith, Western Saudi Arabia, *Environmental Geology* 16 (2), PP 297-302;
21. Al-Dabi, H., Maghali, El-Baz, F. and Al-Sarawi, M (1998), Mapping and monitoring sand dune patterns northwest Kuwait using Landsat TM image, In: Sustainable Development in Arid Zones (eds Omar, S.A.S. Misak, R. & Sattelite Al- Ajami, D.), Vol Balkema and wet periods in Greece, *Hydrology Seie*, 45(5), PP 751-768;
22. Ayala, I. A., (2002), *Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries*, *Geomorphology*, No. 47, PP. 107-124;
23. Dalezios, N. R., et al (2000), severity duration frequency analysis of droughts;
24. Dracup. J. A, et al (1980), on the definition of drought, *water Resource Res*;
25. Huggett, R, J. (2007), *Fundamentals of Geomorphology*, Routledge pub, Second Edition;
26. Lin, Guanghui. (2002), Dust bowl in the 1930' sand storms in the USA, *Global Alarm, Dust and sand storms from the world's dry lands*. United Nations, 31 (1):pp. 84 – 91;
27. McKee T.B. Doesken N.J. Kleist J. 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Proc. 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, California, PP. 179-184;
28. Nicholas P. Webb, Hamish A. McGowan, Stuart R. Phinn and Grant H. Mc Tainsh. (2006). AUSLEM (Australian Land Erodibility Model): A Tool for Identifying wind Erosion Hazard in Australia. *Geomorphology*, volume 78, pp 179-200;

29. Van Rooy M.P. 1965, A Rainfall anomaly index (RAI) independent of time and space. *Notos*, No. 14, PP. 43–48;
30. Wang, X., Xia, D., Wang, T., Xue, X., Li, J., 2008, Dust Sources in Arid and Semiarid China and Southern Mongolia: Impacts of Geomorphological Setting and Surface Materials, *Sciencedirect*, pp:583–600;
31. Willeke K. Lin X.J. Grinshpun S.A. 1998. Improved aerosol collection by combined impaction and centrifugal motion. *Aerosol Science and Technology*, Vol. 28, No. 5, PP. 439–456.

Archive of SID