مقاله کامل علمی- پژوهشی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و هفتم، شماره سوم، ۱۳۹۹
۲۱۳-۲۲۸
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2020.16535.3189

بررسی روند متغیرهای آب و هواشناختی حوضه هیرمند و تأثیر آن بر تخریب زمین در دشت سیستان

کامیار شکوهی رازی[۱]، *محمد رحیمی[۲] و علی‌اصغر ذوالفقاری[۳]

[۱]دانشجوی دکتری گروه بیابان‌زدایی، دانشگاه سمنان، [۲]دانشیار گروه بیابان‌زدایی، دانشگاه سمنان،
[۳]دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه سمنان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۹

چکیده

سابقه و هدف: خشک شدن تالاب‌های بین‌المللی هامون و توفان‌های گردوغبار ایجادشده از بستر این تالاب‌ها در دو دهه اخیر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های زیست‌محیطی شرق کشور مطرح بوده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی ارتباط بین متغیرهای هواشناختی دما، بارش و دبی آب ورودی رودخانه هیرمند با میزان تخریب زمین در بستر هامون‌ها در یک بازده زمانی ۲۱ ساله (۱۹۹۶-۲۰۱۶) انجام‌شده است.

مواد و روش‌ها: به این منظور داده‌های هواشناختی دما و بارش در سه ایستگاه سینوپتیک قندهار، فراه و زابل اخذ و داده‌های بارش TRMM و داده‌های دمای ERA از طریق سایت مربوطه تهیه شد. بررسی تخریب زمین در بستر هامون‌ها بر اساس مدل مدالوس و معیارهای پنج‌گانه فرسایش بادی، کیفیت خاک، کیفیت اقلیم، کیفیت مدیریت و پوشش گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان همبستگی داده‌های دما، بارش و دبی با تخریب زمین تعیین شد.

یافته‌ها: بررسی‌ها نشان داد که دبی آب ورودی رودخانه هیرمند به بستر هامون‌ها طی دوره بازده زمانی ۲۱ ساله (۱۹۹۶-۲۰۱۶) روند نزولی داشته و کلاس تخریب زمین در طی مدت موردنظر در تمام واحدهای کاری از کلاس خطر متوسط به کلاس خطر خیلی شدید افزایش‌یافته است. هم‌چنین میزان ضریب همبستگی داده‌های دما با دبی آب ورودی و تخریب زمین به‌ترتیب ۰/۵۸۷- (سطح متوسط) و ۰/۷۳۵ (سطح قوی) بوده، درحالی‌که همبستگی دبی با بارش با میزان ۰/٦٦ در سطح متوسط قرار داشته است. همبستگی بین متغیر بارش و دبی با تخریب زمین به‌ترتیب با مقادیر ۰/۹۰ و ۰/۸٤ در سطح قوی قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که تخریب زمین در بستر هامون‌ها همبستگی مناسبی با تغییرات دما، بارش و دبی ورودی هیرمند دارد. میزان همبستگی محاسبه‌شده، نشان‌دهنده وجود یک ارتباط غیرهم‌جهت بین تخریب زمین با دبی ورودی و میزان بارش است و در خصوص دما این همبستگی به‌صورت هم‌سو است. بین سال‌های ۱۹۹٦ الی ۲۰۰۲ با

* مسئول مکاتبه: mrahimi@semnan.ac.ir

افزایش مقدار دما، کاهش میزان بارش‌ها و به طبع آن کاهش دبی ورودی رودخانه هیرمند به هامون‌ها، میزان کلاس تخریب زمین افزایش‌یافته و در سطح خیلی شدید قرار می‌گیرد. در سال ۲۰۰۳ با کاهش میزان دما و افزایش میزان بارش‌ها، مقدار دبی ورودی رودخانه هیرمند افزایش‌یافته و درنهایت شاهد کاهش شدت تخریب زمین در واحدهای کاری به سطح شدید و متوسط هستیم. در سال ۲۰۰٤ تا ۲۰۱٦ میزان بارش‌ها در حوضه هیرمند با کاهش روبرو بوده که به دنبال آن مقدار دبی ورودی به تالاب‌های هامون با کاهش مجدد مواجه شده و شدت تخریب زمین در واحدهای کاری در سطح خیلی شدید قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: تالاب هامون، تخریب زمین، تغییر اقلیم، سیستان، مدالوس

مقدمه

تعاریف مختلفی از تخریب سرزمین در منابع علمی وجود دارد. ولی اکثر تعاریف تخریب سرزمین را کاهش قابلیت تولید منابع سرزمین در اثر فرآیندهایی مانند فرسایش تشدیدی خاک توسط آب و باد، رسوب‌گذاری، کاهش میزان و تنوع پوشش گیاهی، کاهش مواد مغذی خاک، افزایش خشکی، شوری و سدیمی شدن خاک می‌دانند (۱۸).

تخریب سرزمین پدیده‌ای مخرب است که می‌تواند اثرات منطقه‌ای و حتی فرا منطقه‌ای محیطی فراوانی را موجب شود. کاهش پوشش گیاهی مراتع، افزایش فرسایش سطحی و ... ازجمله اثرات منفی این پدیده بر امنیت غذایی و شرایط زیست‌محیطی است و به همین دلیل همواره برنامه‌ریزان کشور به دنبال یافتن راه‌کارهای پیشگیری و کنترل آن هستند (۲۲).

دشت سیستان با وسعتی حدود ۱۵,۱۹۷ کیلومترمربع، انتهایی‌ترین قسمت حوضه بزرگ هیرمند با وسعت ۳۳,٦٦۸ کیلومترمربع است که با بارشی حدود ٦۵ میلی‌متر (۱۳٦۵-۱۳۹۵، ایستگاه سینوپتیک زابل) و تبخیروتعرق متوسط سالانه ۵۰۰۰ میلی‌متر (۱۳۷۰-۱۳۹۵، ایستگاه سینوپتیک زابل)، حیات آن کاملاً وابسته به آورد رودخانه هیرمند هست. این مهم باعث شده است که بسیاری از پدیده‌های طبیعی در دشت سیستان وابسته به این رودخانه بوده و نوسانات هیدرولوژیکی رودخانه هیرمند در طی سنوات گذشته همواره باعث بروز مشکلات بزرگی هم‌چون سیل و خشک‌سالی در این ناحیه شود (۱٤).

رودخانه هیرمند به‌عنوان اصلی‌ترین تأمین‌کننده نیاز آبی تالاب‌های هامون از رشته‌کوه‌های هندوکش افغانستان سرچشمه گرفته و پس از طی مسافتی حدود ۱۱۰۰ کیلومتر به دشت سیستان و دریاچه هامون وارد می‌شود که در سنوات گذشته کاهش مقدار آورد این رودخانه معضلات زیست‌محیطی و اجتماعی را برای مردم منطقه به وجود آورده است (۷).

پژوهشگران به‌طورکلی دلایل گوناگونی را برای پدیده خشک شدن تالاب‌های هامون بیان کرده‌اند که همه این نظرات را می‌توان در دودسته قرار داد؛ گروه اول خشک شدن هامون‌ها و کاهش دبی هیرمند را متأثر از مدیریت آب در بالادست حوضه دانستند و گروه دوم ریشه این مشکل را در تغییرات اقلیمی حوضه هیرمند می‌دانند (۲).

طبق بررسی‌های انجام‌گرفته، سدهای اصلی احداث‌شده بر روی رودخانه هیرمند دو سد کجکی و کمال خان هستند که ظرفیت این دو سازه بر روی‌هم در حدود ۲/٤ میلیارد مترمکعب بوده و هدف اصلی از احداث آن‌ها کنترل سیل، آبیاری و تولید الکتریسیته است. درواقع با توجه به شرایط نامناسب اقتصادی و اجتماعی حاکم بر افغانستان امکان توسعه و تکمیل و

لایروبی این سازه‌ها وجود نداشته است. بنابراین حجم ذخیره این سازه‌ها در طول این سال‌ها با توجه به شیب زیاد حوضه و عدم اجرای اقدامات کنترل رسوب در بالادست نه‌تنها افزایش نداشته، بلکه می‌تواند با کاهش هم همراه بوده باشد. بنابراین با توجه به این موضوع می‌توان عنوان داشت که در صورت وجود آب مازاد بر ۲/٤ میلیارد مترمکعب، سرریز شده و وارد دشت سیستان خواهد شد. طبق اعلام سازمان جهانی خواروبار جهانی در سال ۲۰۱۲ میلادی، ظرفیت متوسط سالانه آب در هیرمند و سرشاخه‌هایش ٦/٥ میلیارد مترمکعب است. بنابراین هرگونه بارش بالاتر از نرمال می‌تواند باعث افزایش رواناب و جاری شدن آن به سمت سیستان شود (۱۷).

علی‌رغم این‌که خشک شدن تالاب‌های هامون و تخریب سرزمین ناشی از آن همواره موردتوجه پژوهشگران داخلی و خارجی قرار داشته، اما هیچ‌گاه در ریشه‌یابی این مشکلات به تغییرات وقوع یافته در کل حوضه آبخیز هیرمند نگاه نشده است. ازاین‌رو جامعیت این مطالعه می‌تواند پاسخ مناسبی برای یافتن منشأ تخریب سرزمین در بستر هامون‌ها و مبنایی برای برنامه‌ریزی جهت احیاء تالاب‌های بین‌المللی هامون شود.

این پژوهش متغیرهای اقلیم، تخریب زمین و دبی هیرمند را به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر شرایط حال حاضر تالاب هامون در یک فضای کلی مورد ارزیابی قرار می‌دهد تا ضمن ارائه دلایل اصلی تخریب زمین در بستر هامون‌ها و راهکارهای کاربردی، در هدف‌گذاری دیپلماسی آب کشورمان در سطح بین‌المللی نقش مؤثری داشته باشد.

اونق و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی عوامل پیشران اجتماعی مؤثر بر بیابان‌زایی در دشت سیستان پرداختند و دریافتند که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تخریب زمین و بیابان‌زایی به‌ترتیب فقدان نظام بهره‌برداری از محصولات و خدمات تالاب هامون، شخم اراضی بایر، کشت و کار سنتی، عدم اعتماد بهره‌برداران به دانش کارشناسان مرتبط، ترجیح کشت زراعی به باغی و عدم بهره‌گیری از دانش بومی همزیستی با طبیعت است (۱۱). سپهر و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی به ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس در دشت سگزی اصفهان پرداختند. در این مطالعه معیارهای اصلی شش‌گانه موردبررسی قرار گرفت و درنهایت عنوان داشتند که معیار اقلیم بیش‌ترین تأثیر را بر روی افزایش کلاس بیابان‌زایی در منطقه داشته است و معیار مدیریت در رتبه بعدی قرار گرفته است (۱).

میری و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی و مقایسه آماری داده‌های بارش TRMM و GPCP با داده‌های بارشی ایران پرداختند. درمجموع مشخص شد که برآورد بارش با TRMM-3B43V7 در بیش‌تر ایستگاه‌های موردبررسی دقت خوبی دارد (۹). موسوی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی، پاسخ هیدرولوژیکی جریان رودخانه حوزه سد دز به تغییر اقلیم را موردبررسی قرار دادند. ایشان دریافتند که تغییرات جریان چه به‌صورت تدریجی و چه ناگهانی عمدتاً در جهت کاهش پتانسیل رواناب حوزه است و بررسی جریان‌های آینده نیز با سناریوهای مختلف کاهش جریان تحت‌تأثیر تغییر اقلیم همخوانی دارد (۱۰). جنتیان و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی، به بررسی چهارچوب آماری برای تخمین دما سطح زمین با استفاده از داده‌های دمای سطح زمین MODIS پرداختند. دراین‌ارتباط مشخص شد که در باندهای مختلف میزان تأثیر پوشش گیاهی ناچیز بوده و مدل آماری مذکور در ارتفاعات کم بهتر عمل می‌کند (۵). مهابادی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی، خطر تخریب اراضی با استفاده از روش مدالوس در حوضه سیاه‌پوش استان اردبیل را مورد ارزیابی قرار دادند. در

این خصوص دو معیار کیفیت مدیریت و کیفیت اقلیم به‌ترتیب با متوسط وزنی ۱/۹۱ و ۱/٦۲ بیش‌ترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشته‌اند. معیار کیفیت خاک، در کلاس متوسط و معیار کیفیت پوشش گیاهی، در کلاس باکیفیت بالا قرار دارد (۲۳).

لیو و همکاران (۲۰۰۳) به مقایسه داده‌های بارش TRMM با سایر داده‌های ماهواره‌ای پرداختند که درنهایت با استفاده از داده‌های زمینی مناطقی مانند افغانستان به این نتیجه رسیدند که به‌طورکلی داده‌های پایگاه TRMM مقدار بارش را در این مناطق کمتر از مقدار واقعی گزارش کرده است (۸).

جهان زب و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی کالیبراسیون داده‌های بارش TRMM با دو روش آنالیز رگرسیونی و دیفرانسیل جغرافیایی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در مناطقی با داده‌های زمینی محدودتر روش کالیبراسیون دیفرانسیل جغرافیایی دارای نتایج بهتری است (٦).

راجش و همکاران (۲۰۱٤) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی عوامل مختلف تخریب سرزمین پرداختند. در این پژوهش تأثیر تغییر اقلیم بر روی فرسایش آبی و بادی، سطح مواد آلی خاک، اسیدیته خاک، سطح نیترات و سولفات خاک و ساختمان خاک را موردبررسی قراردادند که درنهایت مشخص شد که ازاین‌بین بیشترین تأثیر تغییر اقلیم بر روی اسیدیته خاک هست و سایر موارد متأثر از تغییرات این پارامتر خاک است (۱۲).

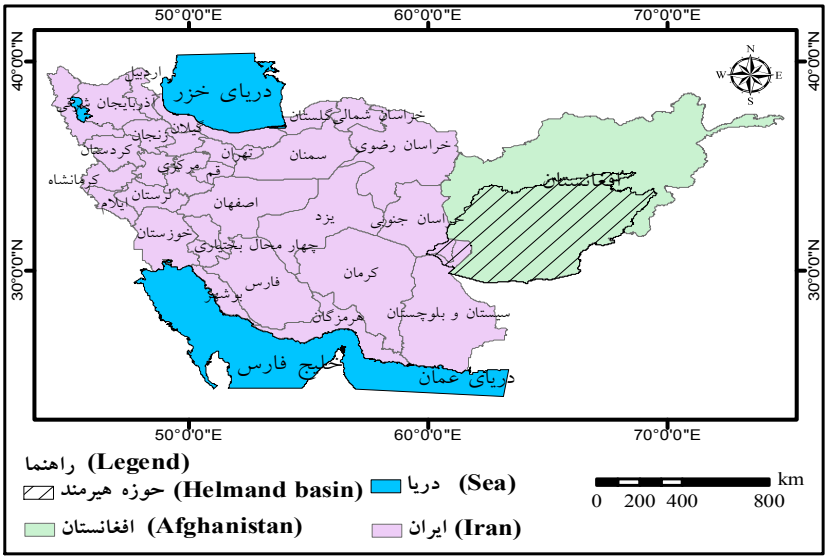
اتحاد (۲۰۱۰) در پژوهشی تحت عنوان دیپلماسی آب در حوضه بین‌المللی هیرمند عنوان می‌دارد که عدم ثبات امنیتی در بخش اعظم حوضه هیرمند باعث شده که تلاش‌ها جهت توسعه کشاورزی در این بخش موفق نباشد (٤).

همه پژوهش‌های حاضر همواره تأثیر معیارهای مختلف مؤثر بر روی تخریب سرزمین را در سطح محلی و با اولویت تأثیر تغییرات بارش موردبررسی قرار می‌دهند و تأثیر عوامل غیر محلی بر فرایند تخریب را همزمان موردبررسی و ارزیابی قرار نداده‌اند. درحالی‌که در بررسی تغییرات یک اکوسیستم باید همه عوامل مؤثر بر آن را در نظر داشت و ابعاد مختلف مؤثر بر پدیده در نظر داشت. پژوهش حاضر ضمن بررسی عوامل مختلف محلی مانند آورد رودخانه هیرمند و معیارهای مختلف مؤثر بر ارزیابی تخریب سرزمین، به دریاچه هامون به‌عنوان بخشی از حوضه بزرگ هیرمند نگاه شده است و تغییرات متغیرهای دما و بارش در سطح این حوزه نیز مورد ارزیابی قرارگرفته است تا بتوان برحسب نتایج حاصل در خصوص برنامه‌ریزی برای مدیریت و کنترل این پدیده اقدامات لازم را صورت داد.

مواد و روش‌ها

با توجه به هدف پژوهش ابتدا محدوده حوضه آبخیز هیرمند با استفاده از نرم‌افزار تحلیل اطلاعات جغرافیایی ArcGIS استخراج شد و فایل رقومی آبراهه‌های حوضه هیرمند از سایت Map cruzin[1] تهیه شد. در گام بعدی به‌منظور تعیین پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی موقعیت آن‌ها که شامل فراه، قندهار، مزار شریف و زابل بودند از سایت هواشناسی ایران[2] و وزارت کشاورزی و مال داری افغانستان[3] تهیه و در داخل محدوده حوضه جانمایی شدند (شکل ۱).

1- http://www.mapcruzin.com/free-afghanistan-maps.htm
2- http://www.irimo.ir/far
3- http://mail.gov.af/fa

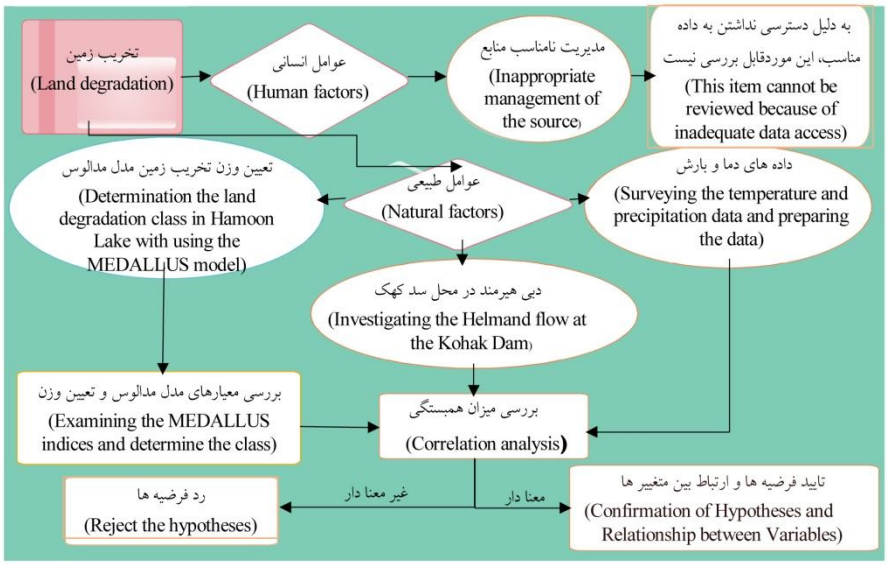


شکل ۱- حوضه آبخیز هیرمند.

Figure 1. Helmand watershed basin.

در گام بعدی با توجه به بررسی معیار تخریب زمین در محدوده تالاب‌های بین‌المللی هامون، محدوده این تالاب‌ها در پرآب‌ترین شرایط (سال ۱۳۷۵) توسط نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از تصویر ماهواره لندست تعیین حدود شدند تا بتوان به‌عنوان محدوده بررسی تخریب زمین بهره‌برداری شود (شکل ۲).

با توجه به این‌که دشت سیستان وابستگی زیادی به آورد رودخانه هیرمند دارد، تغییرات میزان این آورد می‌تواند نقش مؤثری بر تغییرات طبیعی این منطقه مخصوصاً وضعیت تالاب‌های بین‌المللی هامون داشته باشد (۱۵) و تغییر پارامترهای اقلیمی دما و بارش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر میزان این آورد می‌تواند به منشأیابی این تغییرات کمک شایانی نماید.



شکل ۲- فلوچارت اجرای تحقیق.

Figure 2. Flowchart to conduct research.

ازاین‌رو داده‌های اقلیمی موجود دما و بارش در یک دوره ۲۱ ساله (سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۹۶) از سه ایستگاه سینوپتیک فراه و قندهار و زابل تهیه شد. دراین‌ارتباط، دسترسی به داده‌های مناسب اقلیمی جهت دست‌یابی به نتایج بی‌نقص از اهمیت زیادی برخوردار است، بنابراین در مواقعی که داده مناسب ایستگاهی در بازه زمانی موردنظر موجود نباشد، می‌توان از داده‌های ماهواره‌ای و راداری بهره جست. به‌دلیل شرایط نامناسب سیاسی و امنیتی کشور افغانستان در دهه‌های گذشته اطلاعات ایستگاه سینوپتیک فراه، قندهار و مزار شریف یا موجود نیست یا کامل نیستند. در این راستا اطلاعات ایستگاه مزار شریف به‌طور کامل موجود نبوده و همچنین داده‌های ایستگاه‌های قندهار و فراه تنها در مدت ۱۷ سال موجود است. جهت جبران این خلأهای آماری از داده‌های جهانی سایت‌های آماری هواشناسی PERSIANN[1] یا TRMM[2] و ERA بهره‌گیری شد. به‌منظور اعتبارسنجی داده‌های مذکور ضریب تعیین داده‌های بارش و دما در سه ایستگاه فراه، قندهار و زابل به‌صورت سالانه در مدت ۱۷ سال و داده‌های سالانه بارش PERSIANN (۲۱) و TRMM (۱۹) و ERA (۲۰) در نرم‌افزار SPSS انجام شد تا بهترین بانک اطلاعاتی مورداستفاده قرار گیرد.

برای تعیین وضعیت تخریب زمین از مدل مدالوس[3] بهره‌گیری شد. این مدل دارای پنج معیار کلیدی شامل کیفیت خاک، کیفیت اقلیم، کیفیت پوشش گیاهی، کیفیت مدیریت و کیفیت فرسایش است (جدول ۱) که هر معیار نیز دارای شاخص‌هایی است که درواقع لایه‌های اطلاعاتی آن معیار را تشکیل می‌دهند (۳). جهت امتیازدهی به کلیه معیارها و کمی‌سازی شاخص‌ها نیاز است تا در ابتدا واحدهای کاری در بستر تالاب هامون تعیین شود. به این منظور بر اساس نقشه ژئومورفولوژی هامون‌ها که توسط پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون دانشگاه زابل (۲۰۱۵) تهیه شده (۱۶)؛ واحدهای زمین‌شناسی QT2 (رسوبات آبرفتی نسبتاً قدیمی) و QT3 (رسوبات آبرفتی جدید) و QPLMS (ماسه‌سنگ آهکی نازک لایه) و PLC (ماسه‌سنگ با دانه‌بندی متوسط) به‌عنوان واحدهای کاری در نظر گرفته شد (شکل ۳).

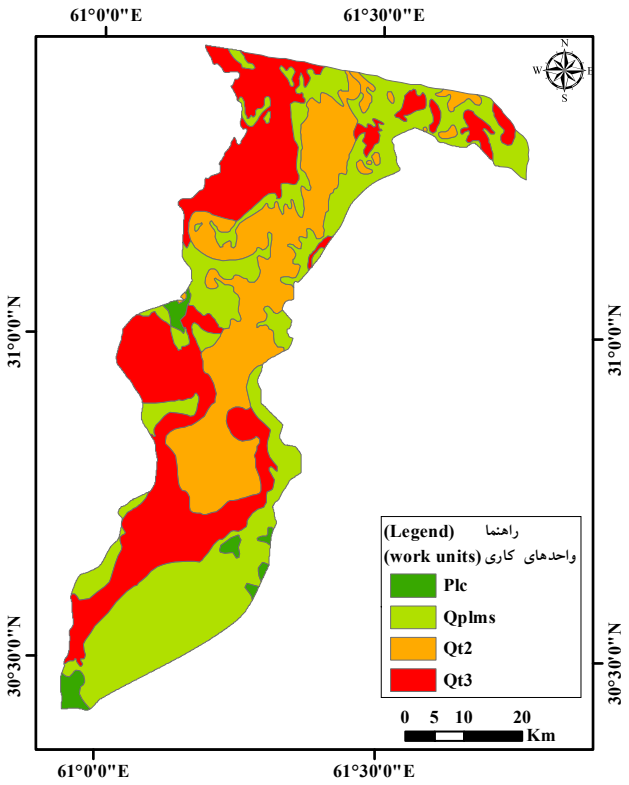
جدول ۱- شاخص‌های استفاده‌شده در مدل مدالوس.

Table 1. Indicators used in MEDALUS model.

معیار (Index)	شاخص (Indicator)
کیفیت خاک (Soil quality)	درصد پوشش سنگریزه (Gravel Percentage)، بافت خاک (Soil texture)، عمق خاک (Soil depth)، هدایت الکتریکی (EC)، شیب (Slope)
کیفیت اقلیم (Climate quality)	بارندگی (Rainfall)، خشکی (Aridity index)، تبخیروتعرق (EP)
کیفیت پوشش گیاهی (Vegetation cover quality)	خطر آتش‌سوزی (Fire risk)، محافظت در برابر خشک‌سالی (Drought resistance)، دوام و پایداری در برابر فرسایش (Erosion protection)، درصد پوشش گیاهی (Plant cover)
کیفیت مدیریت (Anthropic quality)	فشار جمعیت (Population density)،تراکم و فشار چرا (Grazing pressure)، سیاست‌های اجرایی (Executive Policies)، کاربری اراضی (Land uses)
کیفیت فرسایش (Erosion quality)	فرسایش بادی (Wind erosion)

1- Precipitation Estimation from Neural Remotely Sensed Information using Artificial Climate Predict
2- Tropical rainfall measuring mission
3- MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Uses)

درنهایت برحسب وضعیت هرکدام از شاخص‌ها در هر واحدکاری امتیازدهی موردنظر انجام گرفت و با میانگین‌گیری هندسی وضعیت آن معیار مشخص و وزن تخریب زمین و کلاس آن تعیین شد. در این مرحله باید همه امتیازات مربوط به پنج معیار ارزیابی وضعیت تخریب زمین در هر واحدکاری جمع‌بندی و درنهایت تبدیل به وضعیت تخریب زمین در هر واحدکاری شود (جدول ۲). جهت جمع‌بندی نهایی روابط بین دبی رودخانه هیرمند و متغیرهای اقلیمی در حوضه هیرمند و وزن تخریب زمین با استفاده از آزمون همبستگی مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۳- نقشه واحدهای کاری بستر هامون.

Figure 3. Map of land unit in Hamoon bed.

جدول ۲- تعیین کلاس تخریب زمین در مدل مدالوس.

Table 2. Determining of Land degradation class in MEDALUS model.

نوع (Type)	کلاس تخریب زمین (Land degradation class)			
کیفی (Quality)	خفیف (Low)	متوسط (Average)	شدید (Severe)	خیلی شدید (Very severe)
کمی (Quantity)	1-1.22	1.23-1-37	1.38-1.53	1.54-2
رتبه (Class)	1	2	3	4

نتایج و بحث

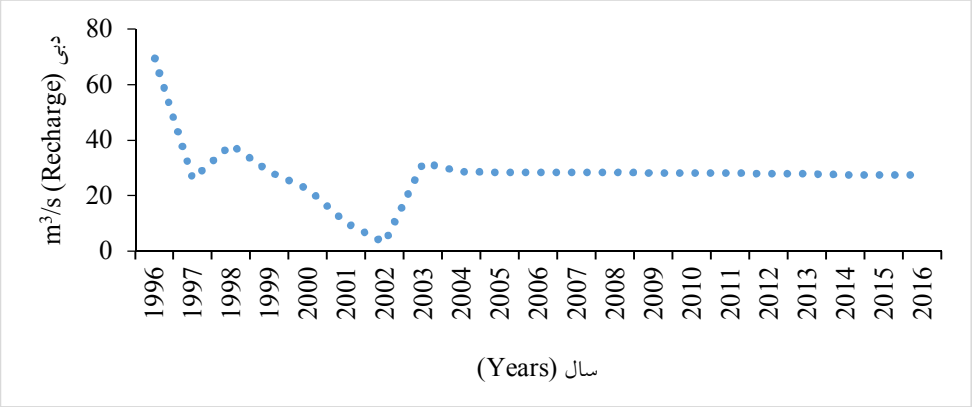
پژوهش حاضر به بررسی داده‌های دبی رودخانه هیرمند، پارامترهای اقلیمی حوضه هیرمند و وضعیت تخریب زمین در بستر دریاچه هامون می‌پردازد تا میزان اثرپذیری این متغیرها از همدیگر را به‌صورت کمی بررسی کند. بنابراین نیاز است تا داده‌های مورداشاره مورد ارزیابی قرارگرفته و درنهایت همبستگی آن‌ها با همدیگر تعیین شود.

ایستگاه هیدرومتری کهک در ابتدایی‌ترین محل ورود آب به دشت سیستان قرارگرفته و داده‌های دبی ثبت‌شده آن می‌تواند مبنای دبی سالانه هیرمند باشد. بدین‌منظور اطلاعات مربوط به این ایستگاه برای بازه زمانی سال‌های ۱۹۹٦ الی ۲۰۱٦ میلادی از شرکت آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان تهیه شد که شکل ٤ روند تغییرات دبی ورودی را در مدت موردنظر نشان می‌دهد (۱۳). در این بخش برای انتخاب داده بارش مناسب از بین داده‌های PERSIAN و TRMM از آزمون ضریب تعیین استفاده شد تا داده‌هایی را که دارای بیش‌ترین میزان ضریب همبستگی هستند، به‌عنوان پایگاه داده مناسب مورداستفاده قرار گیرد که درنهایت برحسب نتایج، داده‌های TRMM و ERA دارای بیش‌ترین ضریب تعیین بوده که مبنای مطالعه قرار گرفته‌اند (جدول ۳)؛ همان‌گونه که ملاحظه می‌شود بیش‌ترین ضریب تعیین در خصوص داده‌های دما مربوط به داده‌های ERA و در خصوص داده‌های بارش مربوط به داده‌های TRMM است.

جدول ۳- ضریب تعیین داده‌های راداری و ایستگاهی بارش و دما.

Table 3. The determination Coefficient of precipitation and temperature radar and station data.

شاخص (Title)	ضریب تعیین (Coefficient of Determination)
داده‌های بارش TRMM و ایستگاهی فراه (TRMM & Farah Station Precipitation data)	0.9969
داده‌های بارش TRMM و ایستگاهی قندهار (TRMM & Station Precipitation data of Kandahar)	0.9993
داده‌های بارش TRMM و ایستگاهی زابل (TRMM & Station Precipitation data of Zabol)	0.9856
داده‌های بارش PERSIANN و ایستگاهی فراه (PERSIANN & Station Precipitation data of Farah)	0.9382
داده‌های بارش PERSIANN و ایستگاهی قندهار (PERSIANN & Station Precipitation data of Kandahar)	0.9080
داده‌های بارش PERSIANN و ایستگاهی زابل (PERSIANN & Station Precipitation data of Zabol)	0.9203
داده‌های دما ERA و ایستگاهی فراه (ERA & Station Temperature data of Farah)	0.9408
داده‌های دما ERA و ایستگاهی قندهار (ERA & Station Temperature data of Kandahar)	0.9282
داده‌های دما ERA و ایستگاهی زابل (ERA & Station Temperature data of Zabol)	0.9195



شکل ٤- تغییرات زمانی دبی (m^3/s) در طی سال‌های ۱۹۹٦-۲۰۱٦.

Figure 4. Recharge temporal changes (m^3/s) over the years 1996-2016.

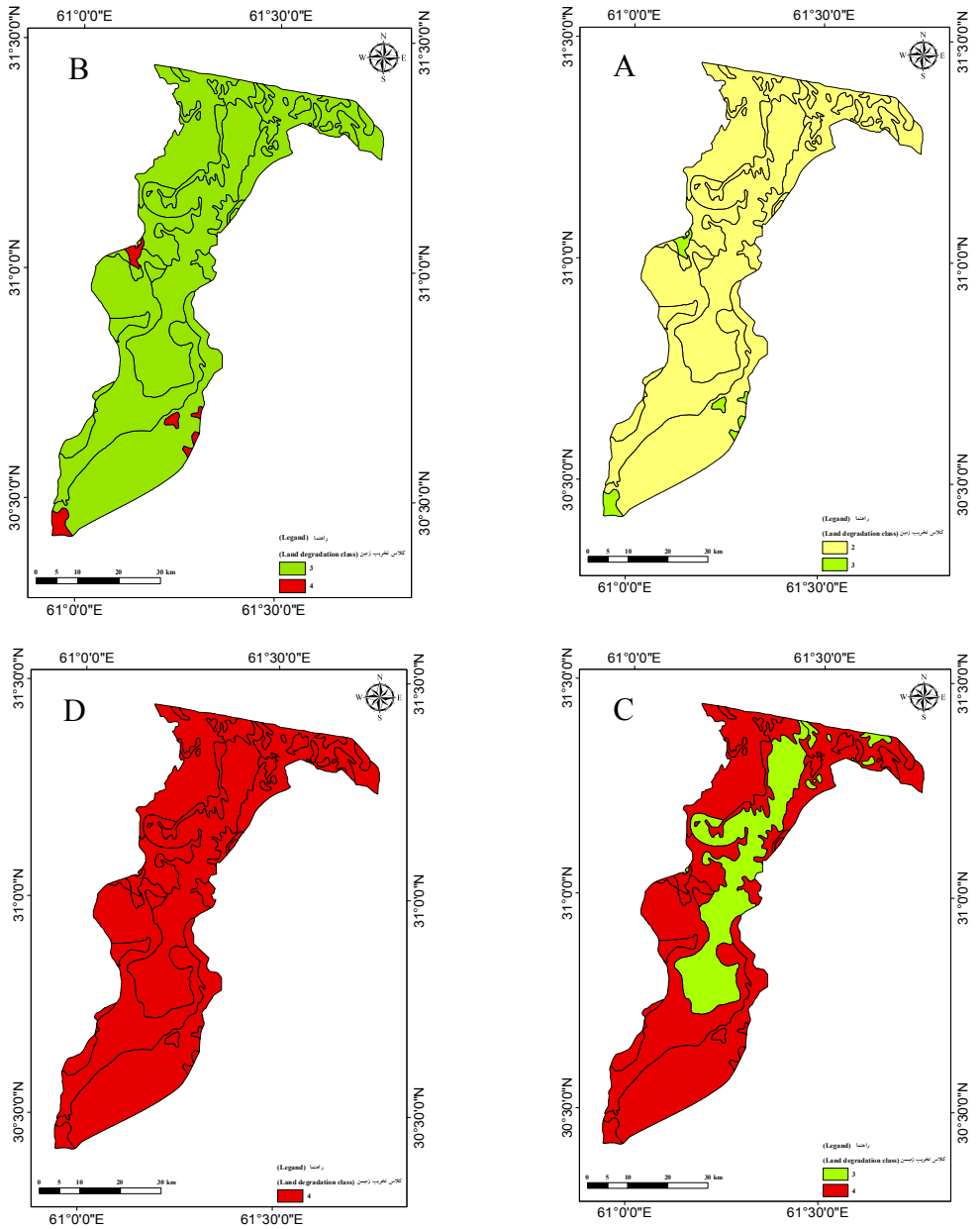
کلاس تخریب زمین درواقع برآیند همه امتیازات معیارهای پنج‌گانه در هر واحدکاری است. درواقع، این امتیازها از میانگین هندسی شاخص‌های هرکدام از معیارها محاسبه می‌شوند و درنهایت وضعیت تخریب سرزمین در هر واحدکاری در سال موردنظر به دست می‌آید. بر اساس خروجی‌ها، معیار کیفیت خاک با میانگین امتیازی ۱/۸ و شاخص‌هایی چون درصد پوشش سنگریزه، بافت خاک، عمق خاک، هدایت الکتریکی و شیب بیش‌ترین نقش و کیفیت اقلیم کم‌ترین نقش را در تغییر کلاس تخریب زمین در پی دوره موردمطالعه داشته‌اند. کیفیت خاک با توجه به ورود خاک‌های حاصل از فرسایش بادی با شوری متوسط تا زیاد در کریدورهای فرسایشی منطقه و ورود خاک‌های با بافت ماسه‌ای ریزدانه حاصل از ورود رودخانه فراورود و دیگر رودخانه‌های فصلی منطقه باعث فرسایش‌پذیر شدن خاک‌های عرصه هامون‌ها گردیده است و با وزش باد، طوفان‌های گردوغبار را موجب شده است. کیفیت اقلیم نیز به‌دلیل کم‌ترین تغییرات و ثبات حاکم بر دشت سیستان کم‌ترین تأثیر را در تغییرات میزان تخریب زمین هامون داشته است. بنابراین در هر سال برای واحدهای کاری مختلف، کلاس تخریب سرزمینی به‌دست می‌آید (جدول ٤).

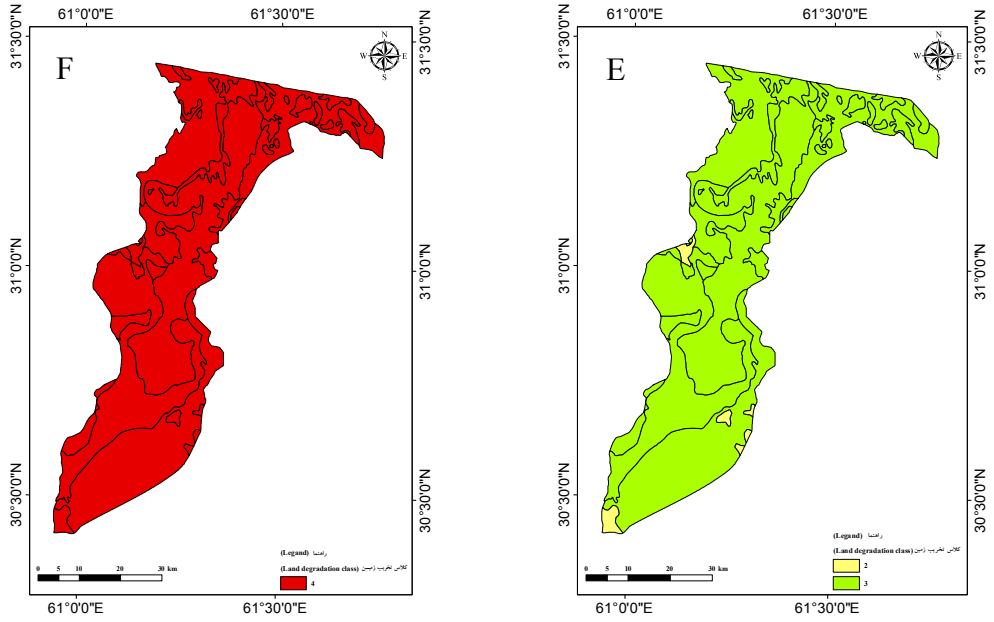
همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود در سال‌های ۱۹۹٦ و ۱۹۹۷ بیش‌ترین میزان تخریب زمین در واحدکاری PLC واقع‌شده است (کلاس خطر شدید) که این واحدکاری در سال ۱۹۹۸ وضعیت آن تشدید یافته و در کلاس خیلی شدید قرار می‌گیرد و سایر واحدهای کاری در کلاس شدید قرار می‌گیرند. از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۲ تنها واحدکاری QT2 در کلاس شدید قرار دارد و سایر واحدها در کلاس خیلی شدید هستند. در سال ۲۰۰۳ با تغییر شرایط اقلیمی و آورد رودخانه هیرمند به دریاچه هامون واحدکاری PLC در کلاس متوسط و سایر واحدهای کاری با کاهش کلاس تخریب زمین در سطح شدید قرار می‌گیرند. از سال ۲۰۰٤ تا ۲۰۱٦ مجدداً به دنبال کاهش آورد رودخانه هیرمند همه واحدهای کاری در کلاس خیلی شدید قرار می‌گیرند (شکل ۵).

جدول ٤- کلاس‌های تخریب زمین در واحدهای کاری در منطقه موردمطالعه (۲۰۱٦-۱۹۹٦).

Table 4. The land degradation classes in the working units in the study area (1966-2016).

واحدکاری (Work unit)	کلاس واحدهای کاری در سال (Land units class in every year)																				
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
QT2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
QT3	2	2	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
QPLMS	2	2	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
PLC	3	3	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4





شکل ۵- تغییرات کلاس تخریب سرزمین واحدهای کاری سال‌های: (A) ۱۹۹۶و۱۹۹۷، (B) ۱۹۹۸، (C) ۱۹۹۹، (D) ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۲، (E) ۲۰۰۳، (F) ۲۰۰٤ الی ۲۰۱٦.

Figure 5. Land degradation classes' variations in land units in (A) 1997 & 1998, (B) 1999, (C) 2000-2002, (D) 2003, (E) 2003, (F) 2004-2016.

همان‌طور که عنوان شد یکی از مهم‌ترین فرضیات پژوهش تأثیرپذیری تخریب زمین در بستر هامون‌ها از عوامل سه‌گانه دما، بارش و دبی آب ورودی به دشت سیستان است که جهت بررسی صحت این فرضیه نیاز است تا میزان همبستگی بین آن‌ها موردبررسی قرار گیرد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها (آزمون کلوموگروف-اسمیرنوف) از آزمون کرامر برای تعیین میزان همبستگی روابط دما، بارش و دبی با تخریب زمین و از آزمون پیرسون برای تعیین همبستگی روابط بین دما و بارش و دبی استفاده شد (جدول ۵).

جدول ۵- میزان همبستگی شاخص‌های انتخابی.

Table 5. The correlation coefficients of selected indexes.

شاخص (Index)	ضریب همبستگی کرامر (Cramer correlation coefficient)	ضریب همبستگی پیرسون (Pearson correlation coefficient)	درجه معناداری (Significant level)
دما- دبی (Recharge- temperature)	-	-0.587	0.041
بارش- دبی (Recharge - Precipitation)	-	0.666	0.033
تخریب زمین- دبی (Recharge -Land degradation)	0.843	-	0.031
دما (هیرمند)- تخریب زمین (Land degradation- temperature)	0.735	-	0.013
دما (زابل)- تخریب زمین (Land degradation- temperature)	0.896	-	0.022
بارش- تخریب زمین (Land degradation- Precipitation)	0.901	-	0.011

این نتایج نشان می‌دهد که همبستگی بین شاخص‌های دما، بارش، دبی آب ورودی هیرمند و تخریب زمین در حدود معناداری قرار دارند و دما با تخریب زمین همبستگی قوی داشته، ولی دما و دبی آب ورودی هیرمند دارای همبستگی متوسط می‌باشند. همان‌طور که مشخص است دبی آب ورودی با میزان بارش‌ها نیز دارای همبستگی با سطح متوسط است. ولی عامل تخریب زمین با شاخص‌های بارش و دبی آب ورودی هیرمند دارای همبستگی قوی می‌باشند.

نتیجه‌گیری کلی

تالاب هامون به‌عنوان یکی از حساس‌ترین اکوسیستم‌های موجود در جنوب شرق کشور علی‌رغم دارا بودن اهمیت بین‌المللی، به‌علت رخ دادن خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی مکرر رودخانه هیرمند بخصوص در سال‌های اخیر دستخوش تغییرات شده و متأسفانه ضررهای غیرقابل جبرانی را متحمل شده است.

بررسی پارامترهای اقلیمی دما و بارش در حوضه هیرمند می‌تواند دلیل موثقی برای اتفاقات روی‌داده در طی دوره موردمطالعه باشد. طی بررسی انجام‌شده مشخص شد که میزان بارش‌ها دارای روند نزولی بوده است و هم‌سویی بین کاهش بارش و کاهش دبی آب ورودی هیرمند وجود دارد و به طبع آن خشک شدن هامون‌ها و تخریب زمین در بستر تالاب‌ها متأثر از این موضوع است. نتایج همبستگی بین بارش و تخریب زمین در بستر هامون‌ها خود مبین وابستگی وقوع این پدیده‌ها در یک‌زمان است.

طبق بررسی‌هایی که در مورد دبی رودخانه هیرمند در محل سد کهک انجام گرفت مشخص گردیده که دبی رودخانه از سال ۱۹۹٦ روند کاهشی داشته است و در سال ۲۰۰٦ میلادی به مقدار حداقلی در حدود ۲۷ مترمکعب در ثانیه می‌رسد که روند نشان از کاهش آورد رودخانه در ورود به دشت سیستان دارد که درنهایت موجب خشکی هامون‌ها شده است. در سال‌های اخیر عامل قابل‌بررسی دیگر که می‌تواند بر روی این آورد رودخانه مؤثر باشد، عوامل اقلیمی می‌باشند. دراین‌ارتباط بارش و دما در حوضه هیرمند مورد ارزیابی قرار گرفت و شواهد بعد از رسم نمودارها نمایانگر کاهش مقدار بارش‌ها در طول مدت موردمطالعه است. تحلیل همبستگی بین دما و بارش با میزان دبی رودخانه هیرمند مقدار ۰/۵۸۷- برای رابطه دما-دبی و مقدار ۰/۵۲٦ برای رابطه بارش-دبی محاسبه شده است که نشان از همبستگی متوسط بین بارش- دبی با جهت مثبت و هم‌چنین دما-دبی با جهت منفی است. این موضوع تا حدود زیادی فرضیه هم سویی تغییرات دبی را با دما و بارش در مدت بین سال‌های ۱۹۹٦ الی ۲۰۱٦ میلادی تائید می‌کند و این هم سویی می‌تواند موضوع تأثیرپذیری دبی رودخانه هیرمند از میزان بارش و دما در حوضه را بیان کند. درواقع در زمان‌هایی که بارش‌های جوی در محدوده حوضه با افزایش روبرو است، ما شاهد افزایش میزان دبی متوسط سالانه ثبت‌شده رودخانه هیرمند در محل ورود به دشت سیستان هستیم و با افزایش دما و کاهش میزان نزولات جوی این متغیر نیز با کاهش روبرو شده است. بنابراین با توجه به کم‌رنگ بودن عوامل کنترلی منابع آب هیرمند در طی بازه زمانی موردمطالعه در بالادست حوضه و هم‌چنین همبستگی قوی بین بارش و تخریب زمین در بستر هامون‌ها، می‌توان از عوامل اقلیمی دما و بارش به‌عنوان عوامل اصلی تأثیرگذار بر روی تخریب در دشت سیستان نام برد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود تخریب زمین در بستر هامون‌ها همبستگی مناسبی با تغییرات دما، بارش و دبی ورودی هیرمند دارد. این میزان همبستگی به شکلی است که مبین ارتباط غیرهمسوی میزان

تخریب زمین با مقدار دبی ورودی و بارش‌های ثبت‌شده دارد و در خصوص دما این همبستگی به‌صورت هم‌سو است. همان‌طور که مشاهده شد در طول مدت موردمطالعه با کاهش مقدار بارش‌ها و افزایش دما شاهد افزایش مقدار کلاس تخریب زمین در واحدهای کاری هستیم. بین سال‌های ۱۹۹٦ الی ۲۰۰۲ با کاهش میزان بارش‌ها، افزایش مقدار دما و به طبع آن کاهش دبی ورودی، میزان کلاس تخریب زمین افزایش می‌یابد. بر اساس مدل مدالوس معیار کیفیت و تخریب خاک با توجه به تغییرات بافت، شوری و قلیائی در سطح بستر هامون به‌دلیل ورود بادرفت‌های شور و آبرفت‌های ریزدانه فراوان باعث فرسایش‌پذیری زیاد خاک شده است به‌گونه‌ای که واحدهای کاری PLC، QT3، QPLMS در سطح خیلی شدید ازنظر تخریب زمین قرار می‌گیرند و واحدکاری QT2 در سطح شدید قرار می‌گیرد. در سال ۲۰۰۳ با افزایش میزان بارش‌ها و کاهش میزان دما مقدار دبی ورودی هیرمند افزایش‌یافته و درنهایت شاهد کاهش کلاس تخریب زمین در واحدهای هستیم و PLC از کلاس خیلی‌شدید به کلاس متوسط کاهش می‌یابد و واحدهای کاری QT2، QT3، QPLMS به کلاس شدید می‌رسند. در سال ۲۰۰٤، شاهد کاهش دوباره میزان بارش‌ها در حوضه هیرمند و افزایش مقدار دما هستیم که به دنبال آن مقدار دبی ورودی با کاهش مجدد مواجه شده و هم‌چنین، کلاس تخریب زمین در واحدهای کاری در سطح خیلی شدید قرار می‌گیرد و این روند با توجه به ماندگاری این شرایط اقلیمی تا سال ۲۰۱٦، کلاس تخریب زمین در سطح خیلی شدید باقی می‌ماند.

تخریب بستر هامون‌ها همواره در پژوهش‌های مختلف به‌صورت جزئی و منطقه‌ای و به‌صورت کیفی مورد ارزیابی قرار گرفته بود که این پژوهش‌ها در سنوات گذشته همواره روند رو به رشد بیابان‌زایی در منطقه را نشان داده‌اند. طبق بررسی‌هایی که با استفاده از مدل مدالوس در بستر دریاچه هامون انجام شد درنهایت مقدار کمی تخریب زمین در طی مدت ۲۱ سال مورد ارزیابی قرار گرفت و هم‌چنان که از نتایج و نقشه‌های تولیدشده مشخص است همه واحدهای کاری با افزایش کلاس بیابانی شدن روبرو بوده و این نتایج در کنار نشان‌های طبیعی در سال‌های اخیر، این روند قهقرایی را تائید می‌کنند.

خشک شدن هامون‌ها درواقع برآیند همه عوامل مؤثر بر روی دبی هیرمند خواهد بود و با توجه به بررسی آزمون همبستگی بین وضعیت تخریب زمین و متغیرهای اقلیمی، همبستگی زیادی برقرار شده است و درواقع تخریب زمین شکل‌گرفته در بستر هامون‌ها مستقیماً ناشی از کم‌آبی هیرمند و به‌صورت غیرمستقیم متأثر از کاهش نزولات جوی و افزایش دما در حوضه هیرمند باشد.

در بررسی‌های مختلف صورت گرفته در خصوص خشک شدن این تالاب بین‌المللی و مشکلات محیط زیستی ناشی از تخریب سرزمین در بستر آن، اکثراً دلیل اصلی خشک شدن هامون‌ها را عوامل مدیریتی دولت افغانستان با ایجاد سدها بر روی رودخانه هیرمند دانسته‌اند و در دیپلماسی نیز بر این موضوع تأکید داشته‌اند. این در حالی است همان‌طور که عنوان شد به دلایل مشکلات امنیتی و سرمایه‌گذاری امکان افزایش سدها و حتی لایروبی آن‌ها توسط دولت افغانستان در سنوات گذشته فراهم نبوده است و وقوع سیل در دشت سیستان در زمان وقوع بارش‌های سیلابی یکی از شواهد عینی این موضوع هست. این در حالی است که با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و اثبات روابط بین تغییر متغیر بارش و دما با میزان تخریب زمین در بستر هامون‌ها، می‌توان به این موضوع اشاره کرد که تنها در صورتی امکان افزایش آورد هیرمند و احیاء دوباره

هامون‌ها وجود دارد که میزان بارش‌های این حوضه بالاتر از حد نرمال واقع شود که روند تغییرات کنونی نشان از این مهم نمی‌دهد. بنابراین با توجه به نتایج حاصله و این‌که دلیل اصلی کاهش آورد رودخانه هیرمند به دشت سیستان و تشدید تخریب زمین در این منطقه، تغییر پارامترهای اقلیمی حوزه هیرمند در سنوات اخیر است رایزنی‌های بین‌المللی در خصوص افزایش میزان حقابه ورودی مثل سنوات گذشته به‌دلیل عدم کنترل قابل‌توجه دولت افغانستان بر روی هیرمند بی‌نتیجه خواهد بود و بهترین و منطقی‌ترین اقدام و راهبرد برنامه‌ریزی مناسب برحسب منابع موجود آبی و مدیریت بحران است. ضمن این‌که مدیریت مناسب آب ورودی به دشت سیستان می‌تواند بسیاری از مشکلات بخش کشاورزی و محیط‌زیست را مرتفع نماید و حتی با مدیریت مناسب تبخیر آب چاه‌نیمه‌های سیستان با روش‌های نوین و رایج جهان می‌تواند در تخصیص حقابه زیست‌محیطی تالاب هامون گام مؤثری برداشت و امکان توسعه و احیاء بیولوژیک و جلوگیری از تخریب بستر هامون‌ها را فراهم آورد.

منابع

1. Bakhshandehmehr, L., Soltani, S., and Sepehr, A. 2013. Assessment of present status of desertification and modifying the MEDALUS model in Segzi plain of Isfahan. J. Range Water. Manage. 66: 1. 27-41. (In Persian)
2. Department of Environment of Islamic Republic of Iran. 2014. towards a solution for Iran's drying wetlands; conclusions and recommendations. International technical round table on dry lands. Tehran. Pp: 11-15. (In Persian)
3. Ekhtesasi, M., and Sepehr, A. 2011. Methods and models of desertification assessment and mapping. Yazd University press, 286p. (In Persian)
4. Ettehad, E. 2010. Hydropolitics in Hirmand/Helmand International River Basin. Master's Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. Pp: 30-35.
5. Janatian, N., Sadeghi, M., Sanaeinejad, H., Bakhshian, E., Farid, A., Hasheminia, M., and Ghazanfari, S. 2017. A statistical framework for estimating air data with MODIS land surface temperature data. Inter. J. Climatol. 37: 3. 1181-1194. (In Persian)
6. Jehanzeb, M., Cheema, M., and Rajers, M. 2012. Local calibration of remotely sensed rainfall from the TRMM satellite for different periods and spatial scales in the Indus Basin. Inter. J. Rem. Sens. 33:8. 2603-2627.
7. Khosravi, M. 2009. Temporal and spatial analysis of the stability of the Hamoon lakes. J. Iran Water Resour. Res. 6: 3. 235-244. (In Persian)
8. Liu, Zh., Chiu, L., Teng, W., and Rui, H. 2003. Online inter comparison of TRMM and global gridded precipitation products. 17th Conference on Hydrology. Pp: 41-59.
9. Miri, M., Azizi, G., Mohammadi, H., and Rahimi, M. 2017. Evaluation statistically of temperature and precipitation datasets with observed data in Iran. Iran-Watershed Management Science & Engineering. 10: 35. 39-51. (In Persian)
10. Mosavi, R., and Marofi, S. 2017. Investigation of the hydrologic response of river flow to climate change (Case study: Dez Dam Basin). J. Water Soil Cons. 23: 6. 333-348. (In Persian)
11. Ownegh, M., Sargazi, H., and Barani, H. 2019. Investigation and ranking of social driver's factors of desertification in Sistan plain. J. Water Soil Cons. 25: 6. 159-173. (In Persian)
12. Rajesh, K., Jyoti Das, A. 2014. Climate change and its impact on land degradation. J. Climatol. Weather Forecast 2: 1. 16-19.
13. Regional Water Company of Sistan and Baluchistan. 2016. Annual report Sistan 1995-2015. 6p. (In Persian)

14. Salighe, M., Khosravi, M., and Podineh, E. 2010. Effect of Hamoon lake surface changes on Sistan local climate. 4th International congress of the Islamic world Geographers. Sistan and Baluchistan University. Pp: 68-79. (In Persian)
15. Sharifikia, M. 2010. Monitoring water level changes in Hamoon Lake based on the temporal analysis of remote sensing imageries. Space planning and survey. 14: 3. 155-176. (In Persian)
16. Sistan-Baluchistan Regional Water Company. 2015. Report on the status of water resources in Sistan and Baluchistan province. Sistan & Baluchistan Regional Water Company Publications. 41p. (In Persian)
17. Sistan Water and Soil Resources Development Company. 2011. Sistan water resources study. 94p. (In Persian)
18. United Nation Development Program. 2014. Land degradation trend assessment and effects on Ecosystem services, Hableh-roud. 4p.
19. URL1: https://disc.gsfc.nasa.gov/. US National Aeronautics and Space Administration.
20. URL2: https://ecmwf.int/. European Center for Medium Term Weather forecast.
21. URL3: http://www.ncdc.noaa.gov/. US National Oceanic and Atmospheric Administration.
22. Wessels, K.J., Van den Bergh, F., and Scholes, R.J. 2012. Limits to detectability of land degradation by trend analysis of vegetation index data. J. Rem. Sens. Environ. 125: 10-22.
23. Yaghmaeian Mahabadi, N., Asadi, H., and Rezaei, S. 2017. Mapping and assessment of land degradation risk using MEDALUS model in Siyahpoush catchment, Ardabil province. J. Water Soil Cons. 24: 1. 173-187. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Research Full Paper

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 27(3), 2020
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2020.16535.3189

Investigation of hydrometric variables in Hirmand basin and its impact on land degradation in the Sistan Plain

K. Shokouhi Razi[1], *M. Rahimi[2] and A.A. Zolfaghari[3]
[1]Ph.D. Student, Dept. of Combat Desertification, University of Semnan,
[2]Associate Prof., Dept. of Combat Desertification, University of Semnan,
[3]Associate Prof., Department of Arid Lands Management, University of Semnan
Received: 05.07.2019; Accepted: 04.28.2020

Abstract

Background and Objectives: The drying up of Hamoon International Wetlands and the dust storms created by these wetlands in the last two decades have been one of the most important environmental concerns in the east of the country. The aim of this research is to investigate the relationship between meteorological variables such as temperature, rainfall and discharge of water of the Hirmand River with the severity of land degradation in the Hamoon in a 21-year period (1996-2016).

Materials and Methods: For this purpose, the data of temperature and precipitation were obtained from three synoptic stations of Kandahar, Farah and Zabol, beside TRMM rainfall data and ERA temperature. Considering five criteria of wind erosion, soil quality, climate quality, management quality and vegetation, a land degradation model was evaluated based on the MEDALUS in Hamoon basin. The correlation between temperature, precipitation and evacuation data of Helmand with land degradation status was investigated.

Results: The findings in this research showed that the inflow of Hirmand River discharge to the Hamoon basin decreased during this period, and the land degradation class severity increased very drastically in all working units from the middle class severity to the severe class. Also, the correlation of temperature data with inlet water discharge and land degradation were -0.558 (moderate level) and 0.735 (high level), respectively. Meanwhile the correlation of discharge with precipitation was about 0.666. Correlations between precipitation and discharge with land degradation were high about 0.901 and 0.843, respectively.

Conclusion: The results showed a significant correlation between land degradation, temperature changes, precipitation, and discharge. This correlation shows that there is an indirect relationship between the intensity of land degradation and discharge, precipitation and temperature. From 1996 to 2002, the rate of land degradation increased and reached a very severe level by increasing temperature, decreasing precipitation and consequently reducing the inflow rate of the Hirmand River to the Hamoon. In 2003, along with the decrease of temperature and the increase in precipitation, the inflow rate of the Hirmand River increased and finally the severity of land degradation was reduced in the medium to high intensity units. From 2004 to 2016, the amount of rainfall in the Hirmand basin declined, as a result, the amount of discharge to the Hamoon wetlands declined again and the severity of land degradation in the work units was at a very high level.

Keywords: Climate Change, Hamoon Wetland, Land Degradation, MEDALUS, Sistan

* Corresponding Author; Email: mrahimi@semnan.ac.ir